

†  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра екології та охорони довкілля

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: **Моделювання забруднення врожаю вівса важкими металами  
в умовах Одеської області**

Виконав студент групи Е-21і  
спеціальності 101 – Екологія  
Сливчук Максим Миколайович

Керівник доктор філософії  
Ільїна Анна Олександрівна

Рецензент к.геогр.н.  
Костюкевич Тетяна Костянтинівна

Одеса 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет природоохоронний  
Кафедра екології та охорони довкілля  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 101 - Екологія

(цифр і назва)

Освітньо-професійна програма Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування

(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля

Сафранов Т.А.

«01» травня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

Сливчука Максима Миколайовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання забруднення врожаю вівса важкими металами в умовах Одеської області

керівник роботи Льїна Анна Олександрівна, доктор філософії,

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від «24» листопада 2022 року № 218-«С»

2. Строк подання студентом роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані до роботи джерела інформації щодо вмісту забруднювальних елементів(важких металів) у ґрунтах Одеської області; дані щодо екологічного стану ґрунтів Одеської області; інформація щодо сучасних підходів оцінки стану забруднення території

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1) Загальна характеристика джерел забруднення навколишнього середовища важкими металами, вплив на ґрунтовий та рослинний покрив

2) Вивчення математичної моделі та методів проведення розрахунків

3) Аналіз забруднення важкими металами ґрунтів Одеської області;

4) Оцінка швидкості поглинання важких металів рослинами вівса в Одеській області

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

1) Адміністративно-територіальний поділ Одеської області (1 рис.).

- 2) Динаміка виробництва основних видів продукції зернових культур Одеського регіону за 2016-2020 рр (1 рис.).
- 3) Вміст важких металів в ґрунтах Одеської області, 2008-2013 рр. (1 рис.).
- 4) Вміст свинцю (Pb) на території Одеської області (1 рис.).
- 5) Вміст кадмію (Cd) на території Одеської області (1 рис.).
- 6) Вміст кадмію (Zn) на території Одеської області, (1 рис.).
- 7) Вміст кадмію (Cu) на території Одеської області (1 рис.).
- 8) Вміст ртуті (Hg) на території Одеської області (1 рис.).
- 9) Швидкість поглинання Pb корінням рослини вівса по районах Одеської області (1 рис.).
- 10) Швидкість поглинання Cd корінням рослини вівса по районах Одеської області (1 рис.).
- 11) Швидкість поглинання Zn корінням (1 рис.).
- 12) Швидкість поглинання Cu корінням рослини вівса по районах Одеської області (1 рис.).
- 13) Швидкість поглинання Hg корінням рослини вівса по районах Одеської області (1 рис.).

#### 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	немає		

7. Дата видачі завдання 01 травня 2023 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Оформлення супровідних документів до роботи. Складення змісту. Написання вступу.	01.05.23-04.05.23	85	4(добре)
2.	Ознайомлення з літературними джерелами за темою кваліфікаційної роботи. Збір вихідних даних.	05.05.23-20.05.23	85	4(добре)
3.	Вивчення математичної моделі та методів проведення розрахунків	13.05.23-21.05.23	85	4(добре)
	<b>Рубіжна атестація</b>	<b>22.05.23-26.05.23</b>	<b>85</b>	<b>4 (добре)</b>
4.	Проведення аналізу одержаних результатів, складання таблиць, побудова карти та графіків	27.05.23-02.06.23	85	4(добре)
5.	Узагальнення отриманих результатів. Складення висновків та переліку посилань. Підготовка презентаційних слайдів і доповіді до захисту.	03.06.23-11.06.23	85	4(добре)
6.	Подання роботи керівнику на перевірку, і підпис. Встановлення ступеня оригінальності та оформлення протоколу. Складення висновку керівником.	12.06.23-15.06.23	-	-
7.	Укладення авторського договору на розміщення роботи в репозитарії ОДЕКУ.	16.06.23-17.06.23	-	-
8.	Подання КРБ на перевірку завідувачу кафедри, в деканат природоохоронного факультету для перевірки, підготовки наказу і подання. Рецензування роботи.	18.06.23-25.06.23	-	-
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>85,0</b>	

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Сливчук .М.М.

(прізвище та ініціали)

Ільїна А.О.

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

**Сливчук М.М. Моделювання забруднення врожаю вівса важкими металами в умовах Одеської області.**

Виробництво сільськогосподарської продукції з найменшими витратами і мінімальним ризиком для навколишнього середовища – основна задача сучасного агропромислового комплексу кожної країни. Технології, що забезпечують зростання врожайності сільськогосподарських культур та якісної продукції, повинні включати в себе екологічні та ґрунтозахисні компоненти, які сприятимуть розширеному відтворенню родючості.

До технологій підвищення врожайності сільськогосподарських культур можна віднести внесення мінеральних добрив, до складу яких входить велика кількість важких металів. Забруднення ґрунтів важкими металами характеризується низькою швидкістю самоочищення ґрунту.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – встановити вплив основних важких металів (ртуть, кадмій, цинк, свинець) на продуктивність зернових культур (на прикладі рослин вівса) в умовах Одеської області.

Об'єкт дослідження стали рослини вівса в умовах Одеської області.

В якості вихідних даних для моделювання швидкості поглинання важких металів рослинами вівса в умовах Одеської області в роботі використано інформацію про вміст основних важких металів у ґрунтах районів Одеської області за 2008-2013 рр.

За результатами дослідження було виявлено, що за вмістом важких металів в ґрунтах Одеської області перше місце по всім районам займає свинець, на другому місці знаходиться мідь, на третьому – цинк. Концентрації найбільш екологічно небезпечних хімічних елементів в основному не перевищують ГДК. Виключення складає мідь – по всім районам Одеської області спостерігається перевищення ГДК в середньому у 2-2,5 рази.

Максимальна швидкість поглинання важких металів рослинами вівса спостерігається у південних районах області, а саме Ізмаїльському і Болградському. Мінімальна швидкість поглинання спостерігається у північних районах, а саме Подільському та Березівському.

Робота складається зі вступу, 3 основних розділів, висновку, переліку посилань та додатку. Обсяг роботи складає 51 с., в т.ч. 13 рис., 5 табл. та 33 літературні джерела.

**Ключові слова:** важкі метали, ґрунтово-рослинний покрив, швидкість поглинання, овес, ГДК

## ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ	9
1.1 Джерела забруднення навколишнього середовища важкими металами	9
1.2 Вплив на ґрунтовий покрив	12
1.3 Вплив на рослинний покрив	16
2 ОПИС ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ОБРАНОЇ КУЛЬТУРИ	21
2.1 Фізико-географічна характеристика одеської області.	21
2.2 Агропромисловий комплекс Одеської області	24
2.3 Агроекологічна характеристика зернової культури вівса	26
3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОГЛИНАЛЬНОЇ ЗДІБНОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВІВСОМ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ	30
3.1 Модель поглинальної здібності важких металів рослинами	30
3.2 Оцінка забруднення урожаю вівса важкими металами в умовах Одеської області	32
ВИСНОВКИ	44
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	46

## ВСТУП

Забруднення ґрунту важкими металами є актуальною та дуже серйозною екологічною проблемою, яка безпосередньо пов'язана із безпекою сільськогосподарської продукції. Ґрунт є одним із цінних ресурсів природи, який дає близько 96% необхідних для людини продуктів харчування. Як правило, як природні (вивітрювання, ерозія материнських порід, атмосферне осадження, вулканічна діяльність тощо), так і антропогенні (зрошення стічними водами, додавання гною, добрив і пестицидів тощо) є основними джерелами забруднення ґрунту та сільськогосподарських культур важкими металами.

Важкі метали зустрічаються в ґрунті в різних формах, які сильно відрізняються за розчинністю та біодоступністю. На геохімічну поведінку важких металів у ґрунті, їх поглинання рослинами та вплив на продуктивність сільськогосподарських культур впливають різні фізико-хімічні властивості ґрунту. Важкі метали в основному накопичуються в клітинах коренів рослин. Надмірне накопичення важких металів у тканинах рослин безпосередньо чи опосередковано порушує деякі біохімічні, фізіологічні та морфологічні функції рослин і, у свою чергу, перешкоджає продуктивності сільськогосподарських культур. Важкі метали знижують продуктивність сільськогосподарських культур, викликаючи шкідливий вплив на різні фізіологічні процеси в рослинах, включаючи проростання насіння, фотосинтез, ріст та розвиток рослин.

Зернове господарство – основна галузь сільського господарства України і в цілому відіграє ключову роль у розвитку національної економіки та забезпечення продовольчої безпеки країни. Овес є важливою зерновою культурою, що вирощується на території нашої країни, яка має великий вміст сирого протеїну та жиру, є джерелом магнію (Mg), кальцію (Ca), марганцю (Mn), заліза (Fe), міді (Cu), цинку (Zn) і селену (Se). Багато досліджень показали, що споживання вівса позитивно впливає на організм людини, а

саме може покращити стан шлунково-кишкового тракту, захистити від раку та серцево-судинних захворювань тощо.

Мета кваліфікаційної роботи бакалавра – встановити вплив основних важких металів (ртуть, кадмій, цинк, свинець) на продуктивність зернових культур (на прикладі рослин вівса) в умовах Одеської області.

Об'єкт дослідження стали рослини вівса в умовах Одеської області.

Предметом дослідження є накопичення важких металів в коренях рослин вівса.

Основні завдання роботи полягають у наступному:

- оцінити забруднення важкими металами сільськогосподарських ґрунтів Одеської області;
- оцінити вплив важких металів на ґрунтовий та рослинний покриви;
- за допомогою математичної моделі визначити параметри забруднення ґрунтово-рослинного покриву Одеської області важкими металами;
- виконати моделювання забруднення важкими металами урожаю вівса на території Одеської області та надати практичні рекомендації щодо зменшення негативного впливу важких металів на якість врожаю вівса.

При виконанні кваліфікаційної роботи в якості теоретичної основи використана модель забруднення урожаю сільськогосподарських культур важкими металами. В якості вихідної інформації кваліфікаційної роботи використовуються агрокліматичні дані, дані обстежень забруднення території України важкими металами.



# 1 ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ТЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Джерела забруднення навколишнього середовища важкими металами

Будь-яку речовину, здатну викликати негативний біологічний ефект, можна вважати токсичним агентом. Існує кілька різних і складних систем класифікації токсичних речовин – до токсикантів відносяться метали, неметали, кислоти і основи, а також органічні токсиканти. Також їх поділяють на леткі токсиканти, екстрактивні речовини, метали і металоїди. Таким чином, токсичність металу регулярно зустрічається в різноманітних формах, а аналітична оцінка важких металів (ВМ) дуже важлива в контексті безпеки живих організмів [1].

Важкі метали походять із геогенних (природних) та антропогенних (техногенних) джерел. Ці хімічні речовини можуть спричинити серйозне екологічне забруднення та погіршення навколишнього середовища через їхню високу токсичність і не підлягання процесам розпаданя. Згідно з класифікацією Реймерса, будь-який хімічний елемент з густиною  $>8 \text{ г/см}^3$  вважається ВМ. До таких металів належать: Ag, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, Ni, Zn, Mn, Fe, W, Au, B, Pb, Bi. За іншою класифікацією до ВМ відносяться хімічні елементи з атомною масою більше 50 (V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін.), з яких найбільш типові метали–забруднювачі – це Pb, Cd, Hg, Zn, Ni, Co, Sn, Ti, Cu, W, Mo [2].

Деякі важкі метали, такі як Co, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Zn, належать до мікроелементів, які потрібні для росту та розвитку рослин і тварин у невеликих кількостях. Однак надмірна кількість цих елементів може стати шкідливою для організму. Інші важкі метали, такі як Pb, Cd, Hg, не мають жодного сприятливого впливу на організми і тому вважаються «основною загрозою» [3].

Хоча хімічні форми важких металів можуть бути змінені, вони не підлягають хімічному/біологічному руйнуванню. Тому після потрапляння в навколишнє середовище вони є стійкими забруднювачами. Такі природні процеси, як вивітрювання корінних порід і ґрунту, вітрова та водна ерозія, вулканічна активність, бризки морської солі та лісові пожежі викидають важкі метали в навколишнє середовище.

Не зважаючи на те, що важкі метали мають і природне походження, антропогенні джерела класифікуються як основне джерело потрапляння важких металів в різні частини навколишнього середовища. Наслідки промислової та сільськогосподарської революції призвели до інтенсивного використання хімічних речовин для підвищення продуктивності в різних секторах. Насамперед це стосується видобутку металу, плавлення, ливарне виробництво та інших галузей промисловості, що базуються на металі, вилуговування металів із різних джерел, таких як звалища, звалища відходів, стоки, автомобілі та дорожні роботи. Крім того, різке зростання чисельності населення загострило попит промисловості на ресурси, що, у свою чергу, призвело до збільшення утворення стічних вод, багатих на важкі метали. Таким чином, забруднення навколишнього середовища важкими металами постійно призводило до деградації навколишнього середовища [4].

Кругообіг важких металів також збільшився завдяки таким видам діяльності, як сільське господарство, вирубка лісів, будівництво, днопоглиблення гаваней і утилізація муніципального мулу та промислових відходів. Використання важких металів у сільськогосподарській галузі було вторинним джерелом забруднення важкими металами, наприклад, використання пестицидів, інсектицидів, добрив тощо. Пестициди — це хімічні речовини або сполуки, призначені для знищення або припинення росту шкідників (грибів, бур'янів і комах тощо), гербіциди — для бур'янів, фунгіциди — для грибків та інсектициди — для комах [5]. При накопиченні в ґрунті важких металів в небезпечних концентраціях, забруднюючі речовини

здатні змінювати біологічні властивості ґрунту та негативно впливати на ґрунтову біоту, рослини і тварини.

До металів, які найбільш широко використовуються у виробничій діяльності та становлять серйозну небезпеку через свою біологічну активність і токсичність, відносять кадмій, свинець, ртуть, цинк, нікель, вісмут, кобальт, мідь, олово, сурму, миш'як. ванадій, марганець, хром тощо Деяка аналогія біохімічних властивостей певних важких металів дає змогу виявити загальні закономірності їх токсикологічної дії на навколишнє середовище та дозволяє поділити їх на групи (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 - Біогеохімічні властивості важких металів

Властивість	Cd	CO	Cu	Hg	Ni	Pb	Zn
Біохімічна властивість	В	В	В	В	В	В	В
Токсичність	В	П	П	В	П	В	П
Концерогенність	-	В	-	-	В	-	-
Збагачення аерозолів	В	Н	В	В	Н	В	В
Мінеральна форма розповсюдження	В	В	Н	В	Н	В	Н
Органічна форма розповсюдження	В	В	В	В	В	В	В
Рухомість	В	Н	П	В	Н	В	П
Тенденція до біоконцентрації	В	В	П	В	В	В	П
Ефективність накопичень	В	П	В	В	П	В	В
Комплексоутворююча властивість	П	Н	В	П	Н	Н	В
Схильність до гідролізу	П	Н	В	П	П	П	В
Розчинність зав'язків	В	Н	В	В	Н	В	В
Час життя	В	В	В	Н	В	Н	В

Де В – висока, П – помірна, Н – низька.

Так, наприклад, нікель та кобальт – біологічно активні та канцерогенні. Порівняно мала рухливість цих елементів зумовлює їх досить рівномірний розподіл у природних середовищах. Геохімічні особливості свинцю – мала рухливість і нетривалий час життя в атмосфері та фазі розчину природних вод. У поверхневих водах воно становить кілька років, а в глибинних – до 100 років. За хімічними властивостями та специфікою поведінки у різних природних середовищах кадмій схильний до активного біоконцентрування, що призводить у досить короткий час для його накопичення у надлишкових біодоступних концентраціях. Тому кадмій порівняно з іншими важкими металами є найсильнішим токсикантом ґрунтів ( $Cd > Ni > Си > Zn$ ) [6].

## **1.2 Вплив важких металів на ґрунтовий покрив**

Ґрунтовий покрив – це обов'язковий компонент будь-якої екосистеми, який дуже чутливий до негативних факторів. Ґрунт активно піддається антропогенному впливу, що порушує його стан. Забруднення ґрунтів важкими металами є набагато серйознішою проблемою, ніж забруднення повітря чи води, оскільки важкі метали зазвичай міцно зв'язані органічними компонентами в поверхневих шарах ґрунту і можуть, залежно від умов, зберігатися протягом століть або тисячоліть. Отже, ґрунт є важливим геохімічним поглиначем, який швидко накопичує важкі метали та зазвичай виснажує їх дуже повільно, вимиваючись у підземні водоносні горизонти або біонакопичуючись у рослинах. Однак, важкі метали також можуть дуже швидко переміщуватися в навколишньому середовищі шляхом ерозії ґрунту, на якому вони адсорбуються або зв'язуються, і переноситися в інші місця на суші або змиватися в річки, озера чи океани до осаду [7].

Важкі метали вважаються одним із основних джерел забруднення ґрунтів. Найпотужнішими техногенними джерелами ВМ, є:

- 1) кольорова металургія – Pb, Zn, Cu, Hg, Mn, Sb, W, Co, Cd;
- 2) чорна металургія Ni, Mn, Pb, Cu, Zn, W, Co;

- 3) енергетика As, Sb, Se;
- 4) нафтова промисловість Pb, Cu, Ni, Zn, Mn;
- 5) спалювання вугілля Sb, As, Cd, Cr, Mo;
- 6) спалювання нафти As, Pb, Cd.

Вплив підприємств енергетики на забруднення навколишнього середовища обумовлено не концентрацією металів у відходах, а їх величезним кількістю. Маса відходів, наприклад, у промислових центрах, перевищує їх сумарну кількість, що надходить від усіх інших джерел забруднення. З вихлопними газами автомобілів у довкілля викидається значна кількість Pb, яка перевищує його надходження з відходами металургійних підприємств. Орні ґрунти забруднюються такими елементами як Hg, As, Pb, Cu, Sn, Bi, які потрапляють у ґрунт у складі отрутохімікатів, біоцидів, стимуляторів росту рослин, структуроутворювачів. Нетрадиційні добрива, що виготовляються з різних відходів, часто містять великий набір забруднюючих речовин із високими концентраціями. Одним із основних шляхів забруднення ґрунту важкими металами є внесення органічних добрив, що приводить до збільшення вмісту таких хімічних елементів, як Zn, Cu, Fe, Pb, Cd [8].

На розподіл важких металів у ґрунті впливають такі чинники, як гранулометричний склад, оксиди та гідроксиди, реакція середовища і окислювально-відновний потенціал, карбонати, органічна речовина ґрунту, використання добрив, ґрунтова біота, міграція за профілем ґрунту, характеристики самого металу. Склад та кількість утримуваних у ґрунті ВМ залежать від вмісту та складу гумусу, кислотності та окислювально-відновних умов, сорбційної здатності, інтенсивності біологічного поглинання. Рухливість елементів значною мірою залежить від кислотності та окислювально-відновних умов ґрунтів.

Треба зазначити, що збільшення рН у ґрунті в межах 6–8 призводить до утворення нерозчинних комплексів Cu з фульвокислотами, а це призводить до накопичення їх у ґрунтах до рівнів, які токсичні для біологічних систем.

При підкисленні середовища Cu, Ni та Co характеризуються збільшення міграційної здатності. Зменшення рН призводить до збільшення рухливості Zn в 3,8–5,4 рази, Cu, в 2–3 рази [9].

Накопичення рухливих, особливо небезпечних для організмів сполук елементів залежить від водного та повітряного режимів ґрунтів: найменша акумуляція їх спостерігається у водопроникних ґрунтах промивного режиму, збільшується вона у ґрунтах з непромивним режимом та максимальна в ґрунтах з випотним режимом. При випарній концентрації та лужній реакції у ґрунті можуть накопичуватися Se, As, V у легкодоступній формі, а в умовах відновного середовища – Hg у вигляді метильованих сполук.

З гігієнічних позицій забруднення ґрунту хімічними речовинами оцінюється рівнем його можливого негативного впливу на повітря та воду, на харчові продукти, безпосередньо на людину, а також на біологічну активність ґрунту та процеси її самоочищення.

Основним критерієм гігієнічної оцінки небезпеки забруднення ґрунту шкідливими речовинами є їх ГДК. ГДК важких металів – це концентрація ВМ, яка при тривалому впливі на ґрунт і рослини, що ростуть на ньому, не викликає яких-небудь патологічних змін чи аномалій біологічних процесів, а також не призводить до накопичення токсичних елементів у сільськогосподарських культурах і, відповідно, не може порушувати біологічний оптимум для сільськогосподарських тварин і людини [10].

Оцінка рівня забруднення ґрунту проводиться за двома показниками: коефіцієнту концентрації хімічної речовини  $K_C$  і суммарному показнику забруднення  $Z_C$ . Коефіцієнт  $K_C$  визначається як відношення реального вмісту шкідливої речовини в ґрунті  $C_i$  до фонового  $C_\phi$ .

Коефіцієнт концентрації ( $Z_C$ ) дорівнює відношенню концентрації елемента в забруднених ґрунтах до його фонової концентрації. При забрудненні декількома важкими металами ступінь забруднення оцінюється за величиною сумарного показника концентрації  $Z_C$ . В табл. 1.2 представлена шкала забруднення ґрунтів важкими металами за [11].

Таблиця 1 – Схема оцінки ґрунтів сільськогосподарського призначення за ступенем забруднення важкими металами

Категорії ґрунтів за ступенем забруднення	Zc	Забруднення відносно ГДК	Можливе використання ґрунтів	Необхідні заходи
Допустима	<16	Перевищує фонове, але не більше ГДК	Використання під будь-які культури	Зниження рівня дії джерел забруднення ґрунтів. Зниження доступності токсикантів для рослин
Помірно небезпечна	16,1-32,0	Перевищує ГДК при лімітуючому загальносанітарному і міграційному водному показнику шкідливості, але менше від ГДК по транслокаційному	Використання під будь-які культури за умови контролю якості продукції рослинництва	Заходи, аналогічні категорії 1. При присутності речовин з міграційним водним показником проводиться контроль за вмістом цих речовин в поверхневих і підземних водах
Сильно небезпечна	32,1-128	Перевищує ГДК при лімітуючому транслокаційному показнику шкідливості	Використання під технічні культури без одержання із них продуктів харчування і кормів	Заходи, аналогічні категорії 1. Обов'язковий контроль за вмістом токсикантів в рослинах, які використовуються в якості харчування і кормів.
Надзвичайно небезпечна	>128	Перевищує ГДК за всіма показниками	Виключити із сільськогосподарського використання	Зниження рівня забруднення і зв'язування токсикантів в атмосфері, ґрунті і воді

За вмістом важких металів для ведення сільськогосподарського виробництва в Україні існує наступний розподіл земель:

- землі придатні для сільськогосподарського виробництва без обмежень;
- землі придатні, але за умови проведення заходів щодо зменшення надходження важких металів до продукції;
- непридатні, зі зміною напрямку використання.

Наявність одного важкого металу може вплинути на наявність іншого в ґрунті, а отже, і в рослині. Іншими словами, між важкими металами існує антагоністична та синергетична поведінка. Salgare і Acharekar повідомили, що інгібуюча дія Mn на загальну кількість мінералізованого C була антагонізована присутністю Cd. Подібним чином повідомлялося, що Cu і Zn, а також Ni і Cd конкурують за однакові носії мембрани в рослинах. Навпаки, повідомляється, що Cu підвищує токсичність Zn у яром у ячмені. Це означає, що взаємозв'язок між важкими металами досить складний; тому необхідні додаткові дослідження в цій галузі. Різні види одного металу також можуть взаємодіяти один з одним. Абедін та ін. повідомили, що присутність арсеніту сильно пригнічує поглинання арсенату рослинами рису, які ростуть на забрудненому ґрунті [12].

### **1.3 Вплив важких металів на рослинний покрив**

Не зважаючи на те, що рослини потребують певних важких металів для свого росту та розвитку, надмірна кількість цих металів може стати токсичною для рослин. Здатність рослин накопичувати необхідні метали водночас призводить до накопичення в них і токсичних. Оскільки метали не можуть бути розщеплені, коли концентрації в рослині перевищують оптимальні рівні, вони негативно впливають на рослину як прямо, так і опосередковано [13].

Накопичення рослинами важких металів здійснюється корінням із ґрунту та безпосередньо з атмосфери. Наприклад, забруднення рослин атмосферним кадмієм становить 20 – 60% від його вмісту у рослинах. Свинець переважно надходить через коріння, проте, і він здатний поглинатися через листя. Накопичення атмосферного свинцю у рослин поблизу автомобільних доріг може досягати до 40% від загальної кількості рослин. Основна кількість свинцю зосереджена у вегетативних органах, а репродуктивних накопичується до 7% від загальної кількості. Поглинання корінням



здійснюється через подолання мембрани клітинної оболонки та проходження через плазмалемму, цитоплазму та тонопласт аноплазматичним та симплазматичним методами [14]. Вплив деяких токсичних важких металів на рослини представлений в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Вплив важких металів на рослини

Важкі метали	Вплив на сільськогосподарські культури
Свинець (Pb)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- уповільнення проростання насіння;</li> <li>- аномалії метаболізму рослин, морфологічних особливостей, росту та продуктивності рослин;</li> <li>- зниження росту рослин, що призводить до порушення клітинної структури, зниження біосинтезу хлорофілу, гормонального дисбалансу та індукування надмірного виробництва активних форм кисню (АФК);</li> <li>- зниження продуктивності ґрунту</li> </ul>
Кадмій (Cd)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- викликає багато аномалій у різних частинах рослини, таких як коріння, пагони, листя, плоди, а також збільшує співвідношення сухої та свіжої маси (DM / FM) у всіх органах;</li> <li>- приводить до меншої асиміляції фотосинтетичного вуглецю при взаємодії з різними фотосинтетичними комплексами;</li> <li>- отруєння ґрунту, що впливає на виробництво фітохелатинів через закупорку транспортера/каналу для поглинання інших елементів, а також на дисбаланс поживних речовин для рослин</li> </ul>
Цинк (Zn)	- фітотоксичний і може безпосередньо впливати на врожайність
Мідь (Cu)	- знижена доступність ґрунту N і S для вирощування сільськогосподарських культур

Підвищений вміст Pb у ґрунтах може знизити продуктивність ґрунту, а дуже низька концентрація Pb може пригнічувати деякі життєво важливі процеси рослин, наприклад фотосинтез, мітоз і поглинання води з

токсичними симптомами темно-зеленого листа, в'янення старого листа, низькорослого листа та коричневого короткого листа, низькорослого листа та коричневі короткі корені [15]. Вплив токсичності важких металів на ріст рослин залежить від конкретного важкого металу, який бере участь у процесі. Здебільшого зниження показників росту рослин, що ростуть на забруднених ґрунтах, можна пояснити зниженням активності фотосинтезу, мінерального живлення рослин, а також зниженням активності деяких ферментів [16].

Поглинання, переміщення та накопичення потенційно токсичних ВМ у рослинах значно відрізняються залежно від типу ґрунту, рН, окисно-відновного потенціалу, вологи та вмісту органічних речовин. Рослини, вирощені на сильно забруднених деякими важкими металами ґрунтах, можуть накопичувати достатньо високі рівні біоаккумуляції, щоб викликати токсичні ефекти у тварин або людей, які споживають їх.

Поглинання рослинами металу з ґрунту у високих концентраціях може призвести до великого ризику для здоров'я людини і як наслідок харчового ланцюга. Після поглинання основна частина металів зберігається в коренях рослин (> 90%). Рослини сильно різняться за здатністю поглинати і переносити метали в пагони та мають високий індекс переносу ґрунт-корінь і корінь-пагін [17].

За здатністю акумуляції важких металів різними культурами встановлено такі ряди:

- 1) овес - Ni > Cu > Co > Cr > Zn > Mn;
- 2) пшениця - Cd > Ni > Cu > Zn;
- 3) жито - Zn > Cd > Pb > Cu;
- 4) картопля - Cd > Cu > Zn > Cr > Ni > Mn.

Надходження та накопичення важких металів у рослинах визначається здатністю виду поглинати та накопичувати метали та наявністю фізіолого-біохімічних захисних механізмів. Серед зернових культур найбільш толерантні до забруднення ґрунтів важкими металами озиме жито, озима пшениця, овес, ячмінь. Жито має найбільш високий адаптивний потенціал, а

ячмінь навпаки найбільш низький. Екологічно безпечний урожай зернових колосових культур формується при вмісті у ґрунті важких металів на рівні 1-2 кларків або меншому вдвічі від максимально-допустимого рівня у ґрунті. Кларк – це середній вміст важкого металу у ґрунті, мг/кг. Він вважається токсичним, якщо вирощувані сільськогосподарські культури знижують врожайність на 5-10% і більше. Лише на фоні 5-6 кларків спостерігається пригнічення росту рослин, знижується їх продуктивність і якість продукції. Характерно, що найбільша кількість важких металів у цієї групи культур накопичується в кореневій системі та вегетативних органах. Соняшник і кукурудза витримують забруднення ґрунту важкими металами до 4 кларків або 1,0-1,5 максимально-допустимого рівня [18].

Види рослин, які містять понад 1000 мкг важкого металу на грам, називають гіперакумуляторами. У порівнянні зі звичайними рослинами, гіперакумулятори можуть не тільки підтримувати нормальну фізіологічну функцію в середовищі з високою концентрацією важких металів, але також можуть поглинати важкі метали для їх збагачення. Таким чином, гіперакумулятор демонструє великий потенціал у відновленні забруднення Cd і став гарячою точкою досліджень у галузі забруднення важкими металами.

По-перше, Cd електростатично взаємодіє з виділеннями коренів рослин і негативно зарядженими карбоксильними групами на клітинній стінці кореня, таким чином адсорбуючи на коренях рослин. Дослідження показали, що зі збільшенням концентрації Cd у навколишньому середовищі вміст Cd у рослинах також збільшується, але швидкість транспорту Cd від коренів рослин до пагонів зменшується. Крім того, вміст частинок важких металів у повітрі в забруднених районах значною мірою пов'язаний із вмістом важких металів у листі рослин, який, за припущеннями, пов'язані з атмосферним осадженням [32].

У рослинах ячменю, наприклад, кількість свинцю зростає із збільшенням вмісту їх у ґрунті. При його високому рівні у ґрунті свинець

накопичується у великих кількостях у вегетативних органах і на порядок менше – у репродуктивних. Значною мірою токсичність свинцю проявляється на кислих ґрунтах і помітно знижується при їх вапнуванні, застосуванні органічних та мінеральних добрив. Найбільшу кількість міді поглинають картопля, гречка та морква.

Більшість кадмію в зернових культурах зосереджена у коренях і значно менше – у зерні. Підвищений вміст цього елемента в рослинах супроводжується почервонінням та хлорозом листя. Вміст хрому в рослинах невеликий і зазвичай становить близько 0,0005 мг/кг. Основна його кількість міститься у кореневій системі. Зазвичай багаторічні рослини містять ртуті значно більше, ніж однорічні культури. Однак, наприклад, надземні органи картоплі та соняшнику, містять цього металу у два – три рази більше, ніж зернові культури. Кислотно-основні властивості та зміст гумусу є головними показниками, що визначають характер поведінки важких металів у ґрунті, їх доступність рослинам. Токсичні для рослин концентрації важких металів, залежно від властивостей ґрунтів, можуть змінюватись у значних межах. На жаль, сьогодні мало накопичено фактичного матеріалу з важких металів, їх токсичності, гранично допустимих концентрацій тощо.

Вітчизняні та зарубіжні спеціалістами вказують на те, лише вміст рухомих форм зумовлює рівень токсичності ВМ та негативно впливає на ґрунтовий біоценоз. Згідно з результатами дослідження румунських вчених, існує зворотній зв'язок між вмістом важких металів у ґрунті і врожаєм [19], табл. 1.3

Опираючись на дослідження провідних вчених, вважається, що пороговим слід вважати зниження урожаю на 15-20%, оскільки при цьому відбувається накопичення важких металів у частинах рослин, що вживаються у їжу, вище ГДК. Знання видів важких металів у рослинній системі є незамінним, оскільки воно надає ключову інформацію щодо механізми детоксикації важких металів і гомеостазу. Нині добре відомо, що

видоутворення важких металів керує біохімічна поведінка (компартментація, токсичність і детоксикація) всередині рослин [27].

Таблиця 1.3 - Взаємозв'язок між вмістом важких металів та урожайністю

Ступінь забруднення ґрунту	Зниження врожаю і(чи)його якості, %
Практично незабруднені	<5
Злегка забруднені	6-10
Середньо забруднені	11-25
Сильно забруднені	26-50
Дуже сильно забруднені	51-75
Надлишкове забруднення	> 75

Вплив важких металів на рослини викликає дисбаланс, що призводить до фізіологічних змін, відомих як «оксидативний стрес». Вміст важких металів у рослині може зрештою призвести до загибелі клітин через окислювальний стрес, такий як окислення ліпідів мембран, пошкодження РНК і ДНК, інгібування ключових ферментів і окислення білка.

## 2 ОПИС ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ОБРАНОЇ КУЛЬТУРИ

### 2.1 Фізико-географічна характеристика Одеської області

Одеська область – область на півдні України, з територією 33,4 тис. кв. км. та населенням 2,6 млн. чоловік. Одеська область, найбільша у складі України, розташована на південному заході країни. На півночі межує з Вінницькою та Кіровоградською областями, на сході – з Миколаївською. З південного та південно-східного боку омивається Чорним морем. На південному заході – межує з Молдовою та Румунією. Область має широкий вихід до Азово-Чорноморського басейну і до великих річкових магістралей – Дунаю, Дністра, Дніпра, Дону. Визначають її великі переваги у транспортно-географічному положенні [19, 20].

У 2020 році у рамках реформи децентралізації адміністративно-територіальний поділ Одеської області змінився. Так, з 1 січня 2021 року замість 26 ліквідованих районів число з'явилося 7 нових районів – Березівський, Білгород-Дністровський, Болградський, Ізмаїльський, Одеський, Подільський та Роздільнянський (рис. 2.1). Оцінка здійснювалася по усім районам Одеської області.

Клімат Одеської області характеризується як помірно континентальний, з недостатнім зволоженням, короткою м'якою зимою та тривалим спекотним літом (поєднує риси континентального та морського). Оскільки територія області сильно витягнута з півночі на південь, а південна частина омивається водами Чорного моря, кліматичні та природні умови окремих її районів сильно відрізняються, що позначається на ландшафтній структурі. Середньорічна температура становить  $+10,7^{\circ}\text{C}$ , середньорічна кількість опадів - 456 мм. Взимку переважає нестійка погода з частими відлигами та короткочасними похолоданнями.

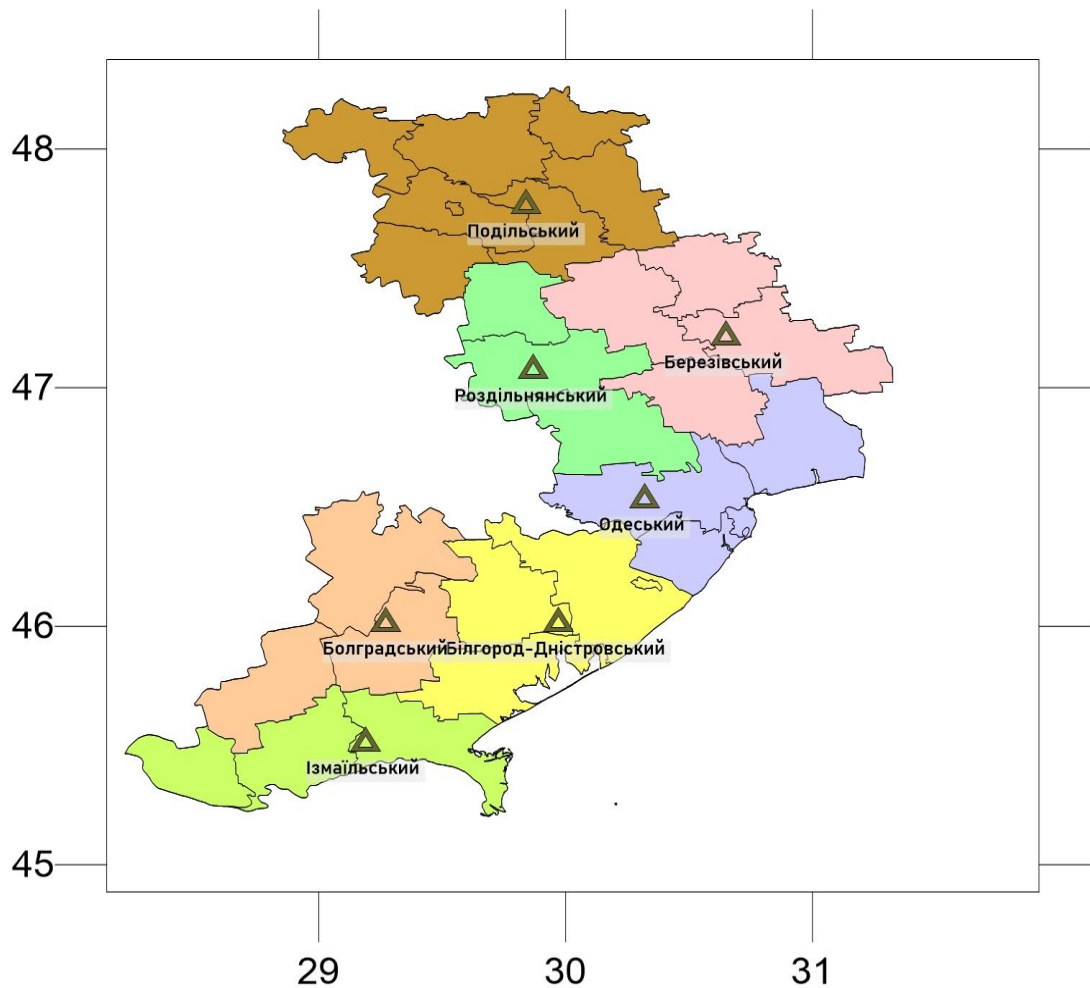


Рис. 2.1 – Адміністративно-територіальний поділ Одеської області

Для весни характерні похмура погода, тумани у зв'язку з впливом моря, що охолоджує. Осінь тривала, тепліша за весну, в основному хмарна. Південна половина області піддається посухам, курним бурям, суховіям. З географічним розташуванням області в Степовій та Лісостеповій природних зонах пов'язано її головне природне багатство – значні агровиробничі ресурси. Поверхня області рівнинна, найбільш високою є її північно-західна частина, висоти яких перевищують 200 м над рівнем моря. Рельєф цієї ділянки має багато глибоких балок і ярів, в яких перевищення вододілів над дном долин досягають 100 м. через що в цій області спостерігається сильний змив ґрунтів [21].

У Причорноморській низовині переважають палеогенові та неогенові морські відкладення, такі як вапняк, глина, пісок, а також внаслідок процесів корозії на території області до складу ґрунту входять шари лесів та лесоподібних суглинок. Також варто зазначити, що Одеський регіон потрапляє в зону невеликої сейсмічної активності, осередком якої є гори на території Румунії.

Що ж до рельєфу Одеської області, то він дуже неоднорідний. Здебільшого у регіоні переважає рівнинна місцевість. Північ області потрапляє в зону Подільського височини, де розвинена балково-ярова мережа. Вся східна частина області омивається Чорним морем, де утворилося безліч лиманів, а берегова лінія представлена піщаним стрімким схилом.

Ґрунти області різноманітні. Розміщення їх має яскраво виражений зональний характер. Північну лісостепову частину Одеської території покривають опідзолені чорноземи та їх реградовані різновиди. В багатьох місцях зустрічаються сірі лісові ґрунти. У степовій зоні характерні малогумусні чорноземи, які простягаються на південь до лінії Болград – Тарутине – Роздільна – Березівка. На південь від цієї лінії поширені чорноземи південні й темно-каштанові слабосолонцюваті ґрунти. На приморських косах і пересипах формуються дерново-піщані ґрунти, в дельтах річок Дунай та Дністер – дерново-глеєві, мулово-глеєві та торфово-глеєві ґрунти [21].

Область лежить у двох природних зонах: лісостепу і степу. Переважна більшість території області розташована у степовій зоні, лише на північному заході – у лісостеповій. Північна частина області розташована в лісостеповій зоні України. Лісом зайнято не більше як 6,2 % території. У межах Одеської області виділено три фізико-географічні райони:

1. Лісостепова зона – найбільш волога частина області, характеризується чергуванням лісових масивів із сільськогосподарськими угіддями. Ґрунтовий покрив якої налічує більше 20 різновидів ґрунтів.



2. Північна степова зона. Зональними ґрунтами є чорноземи звичайні (площу в 1114 тис. га.), які мають у верхній частині до 4% гумусу, а також міцну зернисту структурою.
3. Південна степова зона. Ґрунтовий покрив зони включає гумусні чорноземи, південні малогумусні, меншу площу займають чорноземи південні остаточно-солонцюваті та вузьку смугу займають темно-каштанові ґрунти.
4. Сухостепова зона характеризується чорноземами південними малогумусними і темно-каштановими ґрунтами зі слабо пологими схилами. Всі землі розорані, на них вирощуються сільськогосподарські культур , сади та виноградники.

## 2.2 Агропромисловий комплекс Одеської області

Сільське господарство – провідна галузь економіки регіону, що відіграє важливу роль у формуванні темпів економічного зростання. Агрокліматичні умови області сприятливі для підвищення зростання врожайності сільськогосподарських культур, що в свою чергу сприяють можливостям просування на зовнішніх та внутрішніх ринках органічної сільськогосподарської продукції.

Одеський регіон є важливою ланкою агропромислового комплексу України. Головне природне багатство Одеської області – земельні ресурси, представлені переважно чорноземними ґрунтами з високою природною родючістю, які у поєднанні з теплим степовим кліматом формують високий агропромисловий (сільськогосподарський) потенціал регіону. Природні умови сприятливі для вирощування озимих зернових, кукурудзи, ячменю, соняшнику, винограду та впливають на регіональну спеціалізацію та організацію сільськогосподарського виробництва.

На території Одеської області здійснюють виробничу діяльність 112 підприємств харчової промисловості, послуги із зберігання сільськогосподарської продукції надають 43 елеватори загальною ємністю 3,5 млн тонн, крім цього 43 сільськогосподарських підприємства виробляють продукти харчування. Всього на підприємствах переробної промисловості регіону працюють близько 12,5 тис чоловік, обсяги виробництва становлять 37% від загального промислового виробництва [22].

У рослинництві Одеського регіону провідне місце посідає зернове господарство. Тут вирощують озиму пшеницю, кукурудзу, ячмінь, просо, рис, ріпак. За даними Головного управління статистики індекс сільськогосподарської продукції у 2021 році в Одеській області протягом року господарствами всіх категорій зібрано 5 245,2 тис. тонн зерна, а саме пшениці – 2 731 тис. тонн, при врожайності 40,5 ц/га; ячменю – 1 560,2 тис. тонн, при врожайності 42,0 ц/га; ріпаку – 300,8 тис. тонн, при врожайності

25,3 ц/га; соняшнику – 952,2 тис. тонн, при врожайності 23,5 ц/га тощо. Область вперше в своїй історії подолати 5 млн. рубіж по валовому збору зернових та зібрала майже 1,3 млн. тонн олійних культур, що є найкращим показником за всю її історію. Динаміка виробництва основних видів сільськогосподарських культур одеської області у період з 2016 по 2020 рр. представлена на рис.2.2.

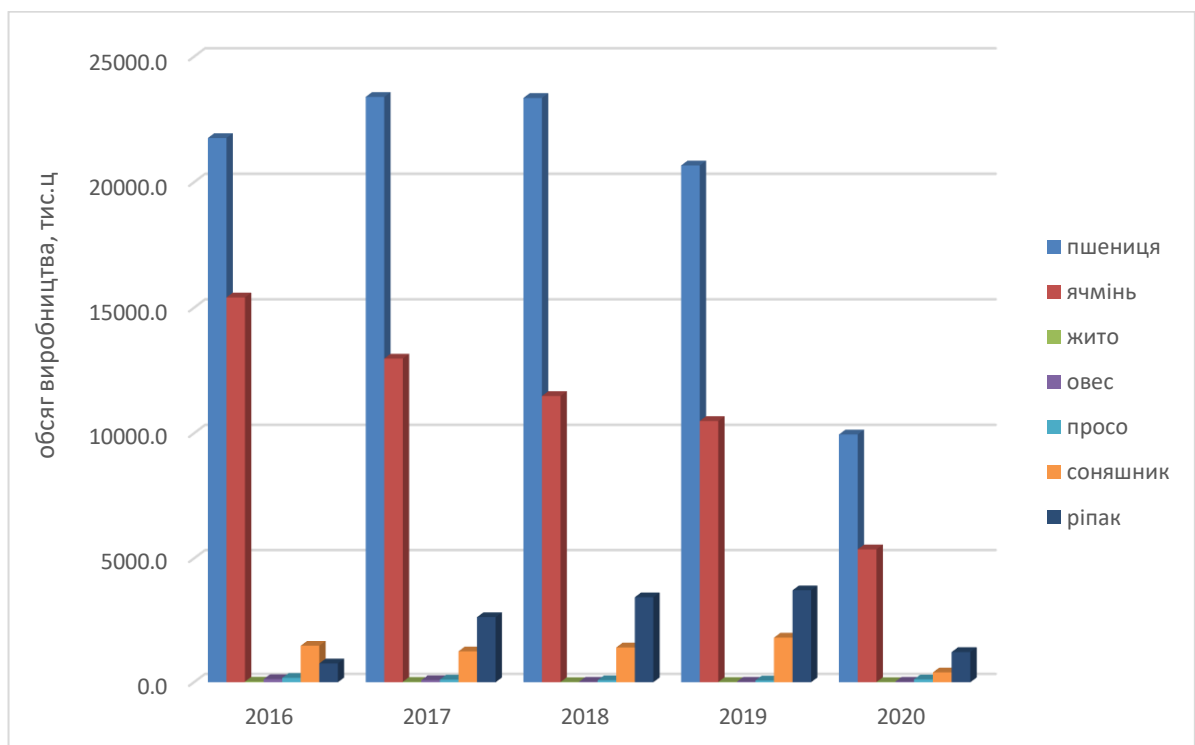


Рис. 2.2 Динаміка виробництва основних видів продукції зернових культур Одеського регіону за 2016-2020 рр.

З рисунку видно, що за останні 5 років йде поступове скорочення виробництва майже під усіма видами сільськогосподарських рослин. Так, якщо виробництво пшениці у 2016 році дорівнювало майже 22 тис. ц, то у 2020 році воно знизилася на половину (10 тис. ц). Виробництво ячменя знизилася за останні п'ять років на 65%. Виключення складає лише ріпак, виробництво якого збільшувалося в 5 разів з 750 тис.ц у 2016 році до 3713 тис.ц у 2019 році.

### 2.3 Агроекологічна характеристика зернової культури вівса

Овес - це однорічна зернова культура, що використовується у всьому світі для харчування людей та тварин. Широке поширення овес отримав завдяки різноманітному використанню (на зерно, зелену масу, сінаж, силос і ін.) та високим кормовими якостями зерна і зеленої маси.

Овес одомашнена злакова трава. Овес є однорічними рослинами і часто досягає 1,5 метрів у висоту. Найбільш поширеним є овес посівний (*Avena sativa* L.), який характеризується наступними морфологічними ознаками: коренева система мичкувата, що складається з первинних зародкових і вторинних придаткових (вузлових) коренів. Порівнянні з пшеницею і ячменем має більш розвинену кореневу систему. Переважна частина коренів (до 80 - 90%) розміщена в орному шарі і завдяки добре розвиненій кореневій системі овес краще деяких інших зернових переносить весняну посуху [23]. Стебло - соломина заввишки до 150 - 170 см і діаметром до 6 мм, розділена щільними твердими вузлами (2-4 вузла) на порожні міжвузля (3-5 міжвузлів). Листя вузькі лінійні щорсткі зеленого або сизувато кольору довжиною до 40 і шириною до 3 см.

Суцвіття вівса – волоть, за формою якої овес ділиться на групи: 1) овес з розлогою волоттю і плівчастим зерном - розлогий овес; 2) овес з стислою волоттю і плівчастим зерном - одногривий овес; 3) овес з голим зерном - голозерний овес [24]. На кінцях гілок волоті розташовані колоски, які містять від 2 до 4 квіток (у плівчастих), до 5 квіток (у голозерних). Квітка складається з двох квіткових лусок, зав'язі, трьох тичинок і лодікул. Зав'язь сидяча, з двома пір'ястими приймочками [25]. Овес - переважно самоzapильна рослина, але також можливе перехресне запилення (до 2%). Зерно вівса плівчає, загорнуте у квіткові луски, зародок досягає 1/3 її довжини.

Життєвий цикл рослини вівса розділяється на різні фази, в кожній з яких відбуваються певні зміни в розвитку. Ступінь розвитку органів в кожній фазі, як і час проходження їх, змінюється в залежності від генотипу сорту і навколишнього середовища, тому потрібно приділяти особливу увагу на певні біологічні особливості, що мають істотне значення [25].

У вівса прийнято відзначати такі основні фази росту і розвитку: сходи, кущіння, вихід у трубку, викидання волоті, цвітіння та дозрівання зерна.

Тривалість вегетаційного періоду великою мірою означає не тільки рівень врожайності сорту, але і його стійкість до посухи, хвороб і інших стресових факторів. Вегетаційний період ранніх сортів вівса становить 75 - 80 днів, середньостиглих 88 - 96 днів і пізньостиглих – 120 [26].

На ріст вівса в значній мірі впливають такі фактори навколишнього середовища, як вологість ґрунту, температура повітря, сонячне світло, фізичні та хімічні умови ґрунту. Традиційно вважається, що овес пристосований до широкого спектру типів ґрунтів з різноманітними хімічними та фізичними властивостями, що пояснюється добре розвиненою кореневою системою, яка проникає на глибину 1,2 м. Для вирощування вівса підходить майже будь-який досить родючий, добре дренований ґрунт, якщо температурні та вологі умови сприятливі. Овес, відносячись до рослин, які слабо чутливі до підвищеної кислотності, переносить кислі ґрунти з рН 4,5 [27]. Проте максимальний урожай вівса можна отримати лише при кислотності ґрунту рН від 5,3 до 5,7. Вимоги до поживних речовин (N, P, K) для вівса менше, ніж такі для пшениці або кукурудзи, і можуть бути адаптовані до бажаного рівня врожайності.

Рослини вівса потребують більше води, ніж інші зернові культури, і найкраще дають урожай у ґрунтах з високою водоутримуючою здатністю. Коефіцієнт транспірації відображає потребу рослин у волозі, яка ураховується через транспірацію рослин, для створення одиниці сухої біомаси. Цей показник змінюється в широких межах в залежності від виду і сорту рослин, а також ґрунтово-кліматичних умов і погоди

Система живлення - найважливіших елементів технології обробітку рослин, в тому числі і вівса, частка якого у формуванні врожаю становить 35-40%. Овес дуже добре засвоює елементи живлення із ґрунту, витримує кислу реакцію ґрунтового розчину та добре використовує внесені добрива

На формування 1 т зерна на ґрунтах із середнім вмістом рухомого фосфору та обмінного калію овес споживає 28 кг азоту, 13 кг фосфору та 28 кг калію. Оптимальні дози азотних добрив становлять 70...90 кг/га д.р. Разове внесення всієї дози азоту в роки з достатнім зволоженням ґрунтів, як правило, викликає вилягання рослин, тому якщо розрахункові дози перевищують 60 кг/га д.р., їх потрібно вносити дробово – 60 кг/га д.р. до посіву, а решту підживлення у фазу початку трубкування. Найкраща форма азотних добрив під овес – КАС (суміш водних розчинів аміачної селітри, карбаміду й додаткових речовин), оскільки його застосування дозволяє вносити азот із найбільшою мірою рівномірності. З твердих форм азотних добрив для передпосівного внесення потрібно використовувати карбамід через те що він дозволяє зменшити або повністю виключити газоподібні втрати азоту.

Фосфорні та калійні добрива вносяться восени під оранку або навесні в передпосівну культивуацію. Позитивну дію має гранульований суперфосфат, внесений у рядки при сівбі, або складні добрива з розрахунку 10-20 кг/га фосфору. Дози мінеральних добрив розраховують на заплановану врожайність, але у вигляді основного добрива можна вносити не більше 60-70 кг/га азоту, а при підживленні у фазу виходу в трубку за результатами рослинної діагностики – не більше 40 кг/га.

При формуванні високих урожаїв вівса зростає його потреба в мікродобривах. Потреба у борі збільшується на вапняних ґрунтах, у молібдені – на кислих (рН нижче 5,2), у міді – на торф'яних, у цинку – на ґрунтах із високим вмістом фосфору. Мікродобрива вносять безпосередньо в ґрунт, використовують для підживлення та обробки насіння. Для обробки

насіння застосовують борну кислоту, цинку та марганцю, при цьому витрачають на 1 т зерна 100 г бору, 180 г марганцю, 120 г цинку.

Для підживлення у фазу початок трубкування найкраще застосовувати КАС із розведенням водою у співвідношенні 1:3. Високий ефект забезпечує в цей період підживлення сірчаноокислою міддю (100-120 г/га), яку можна поєднувати з КАС.

### **3 МОДЕЛЮВАННЯ ПОГЛИНАННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ВІВСОМ В УМОВАХ ОДЕСЬКОЇ ОБЛАСТІ**

#### **3.1 Модель поглинання важких металів рослинами**

Моніторинг накопичення важких металів в ґрунтовому покриві є одним з найважливіших інструментів контролю процесів техногенного впливу на навколишнє середовище. Відомо, що важкі метали є інгібіторами багатьох фізіологічних процесів, оскільки мають здатність коагулювати білки. Тому в даний час проблема охорони навколишнього середовища від забруднювачів тісно пов'язана з необхідністю отримання у великій кількості екологічно чистої сільськогосподарської продукції шляхом використання інтенсивних технологій, є дуже актуальною.

У літературі є досить суперечливі відомості про міграційну можливість найбільш небезпечних токсикантів, про кількісні параметри їх накопичення в природному середовищі, а також про фактори, що впливають на цей процес [1-10]. У зв'язку з цим дотепер немає єдиних рекомендацій щодо детоксикації забруднених ґрунтів. Найбільш визнаним способом хімічної меліорації кислих ґрунтів, як відомо, є вапнування, яке, різко змінюючи хімічні та біологічні властивості ґрунту, створює захисний бар'єр надходження важких металів у сільськогосподарські рослини.

Загальними природними механізмами фітореMediaції ґрунту є:

- фітостабілізація забруднюючих ґрунт речовин у форму, яка буде недоступна для живих організмів;
- фітоекстракція та акумуляція забруднюючих речовин у надземних органах рослин для них подальшої переробки та вилучення з промисловою метою або менш дорогою утилізацією;
- ризодеградація складних органічних забруднювачів у зоні кореневої системи;



- фітодеградація поглинених забруднюючих речовин за допомогою механізмів метаболізму рослин або фіторасіювання мікроелементів ґрунту через листя рослин [29].

Накопичення важких металів рослиною розглядається в залежності від утримання рухомих форм важких металів у ґрунті. Швидкість надходження важких металів у рослину описується формулою:

$$\frac{\Delta A_q^{\text{погл(о)}}}{\Delta t} = \frac{86,4 \alpha_q^{\text{погл}} \bar{A}_q^{\text{почв}} m_r^j}{a_r} \quad (3.1)$$

де  $\frac{\Delta A_q^{\text{погл}}}{\Delta t}$  – швидкість поглинання важких металів корінням рослини, мгм<sup>-2</sup>доб<sup>-1</sup>;

$\alpha_q^{\text{погл}}$  – поглинальна здібність кореню, мс<sup>-1</sup>;

$\bar{A}_q^{\text{почв}}$  – концентрація рухомих форм q-го виду важких металів у ґрунті, мгкг<sup>-1</sup>;

$a_r$  – радіус кореню., см;

q – вид важкого металу.

Залежно від збалансованості поглинання ТМ корінням та транспортування їх у надземну частина рослин виділено три типи залежності вмісту ТМ у надземній частині рослин та їх рівня у ґрунті:

- акумулятивна - накопичення важких металів у всіх рівнях організації рослин;
- індикаторна – лінійна залежність;
- виняткова – підтримання постійної концентрації важких металів у надземній частині рослин на низькому рівні в умовах різних концентрацій у ґрунті до критичної, коли починається неконтрольований транспорт.

Сорбція металів залежить від видової специфіки рослин, хімічної характеристики металів та характеристики ґрунту. У зв'язку з можливим підвищенням рівню антропогенного забруднення ґрунту та рослин важкими металами врахуємо їх фітотоксичний вплив за допомогою коефіцієнту фітотоксичності  $K_{ВМ}$ , визначеного за принципом Лібіха з великої кількості коефіцієнтів фітотоксичності кожного виду важких металів

$$K_{m.M}^j = \min \{K_q^j\}, q \in \text{Cd, Cu, Hg, Pb, Sr, Zn} \quad (3.2)$$

кожний з яких визначається з виразу:

$$K_q^{крj} = 1 - \left( \frac{\mu A_q}{A_q^{кр2} - A_q^{кр1}} \right) \cdot A_q^{рос(j)} \quad (3.3)$$

де  $\mu A_q$  - зниження продуктивності рослин в інтервалі критичних величин концентрації важких металів у рослині  $A_q^{лз1}$  и  $A_q^{лз2}$  (мг кг<sup>-1</sup>).

Попри те що, що різні важкі метали діють на рослини індивідуально, загалом всієї групи важких металів припускають загальну модель неспецифічної токсичності. Комплекс неспецифічних реакцій рослинної клітини різні зовнішні впливи виражається збільшенням в'язкості цитоплазми, підвищенням кислотності, денатурація білків тощо.

Важкі метали впливають на фотосинтез рослин, зменшуючи вміст хлорофілу в рослинах, причому найбільш чутливий до присутності іонів важких металів виявляється хлорофіл b. Крім придушення синтезу хлорофілу  $\text{Cd}^{2+}$  порушує транспорт електронів, пов'язаний із функціонуванням ФСII. Передбачається, що це може бути пов'язано зі змінами мембран тилакоїдів, зниженням ферридоксину НАДФ<sup>+</sup> оксидоредуктазної активності та порушенням синтезу пластохінону. Важкі метали викликають появу мітотичних порушень у рослині, що може призводити до збільшення відсотка метафаз [30].

### 3.2 Оцінка забруднення урожаю вівса важкими металами в умовах Одеської області

Висока продуктивність землеробства можлива лише при комплексному контролі за станом ґрунтів і недопущенні їх деградації (закислення, засолення, переущільнення, водна ерозія, дефляція, зменшення запасів гумусу і доступних для рослин поживних речовин, забруднення токсичними речовинами). Виконання цього завдання можливе за умови постійно діючого моніторингу земель, основою якого є контроль за станом ґрунтового покриву земель сільськогосподарського призначення.

Знання природних концентрацій важких металів у ґрунтах і рослинах дає можливість судити про стан чистоти або забрудненості і вживати відповідних заходів, спрямовані на збереження ґрунтової родючості та гігієнічної якості рослинницької продукції [28]. В. П. Цемко у співавторстві відповідно до ступеня забруднення ґрунтів запропонував наступну класифікацію ґрунтів:

- 1) до слабо забруднених ґрунтів відносяться ґрунти з вмістом елементу від 2 до 10 кларків;
- 2) до середньо забруднених – від 10 до 30 кларків;
- 3) до сильно — більше ніж 30 кларків.

Нами було вивчено особливості нагромадження важких металів (ртуті, міді, цинку, кадмію та плюмбуму) у ґрунтах Одеської області по районам. На рис. 3.1 представлений вміст важких металів в ґрунтах Одеської області за 2008-2013 рр., із якого видно, що перше місце по всім районам за вмістом у ґрунті займає свинець. Свинець у ландшафті переважно мігрує в бікарбонатній формі та в органічних комплексах. Однак він вимивається слабше, ніж кадмій, цинк і мідь.

Максимальне значення свинцю спостерігається у Ізмаїльському районі і дорівнює 12 мг/кг. На другому місті знаходиться мідь, найбільші значення якої спостерігаються у Ізмаїльському та Болградському районах і

дорівнюють 9,8 мг/кг та відповідно. Помітне забруднення середовища міддю спостерігається у місцях інтенсивного виноградарства, де цей елемент широко використовують для боротьби із захворюваннями винограду.

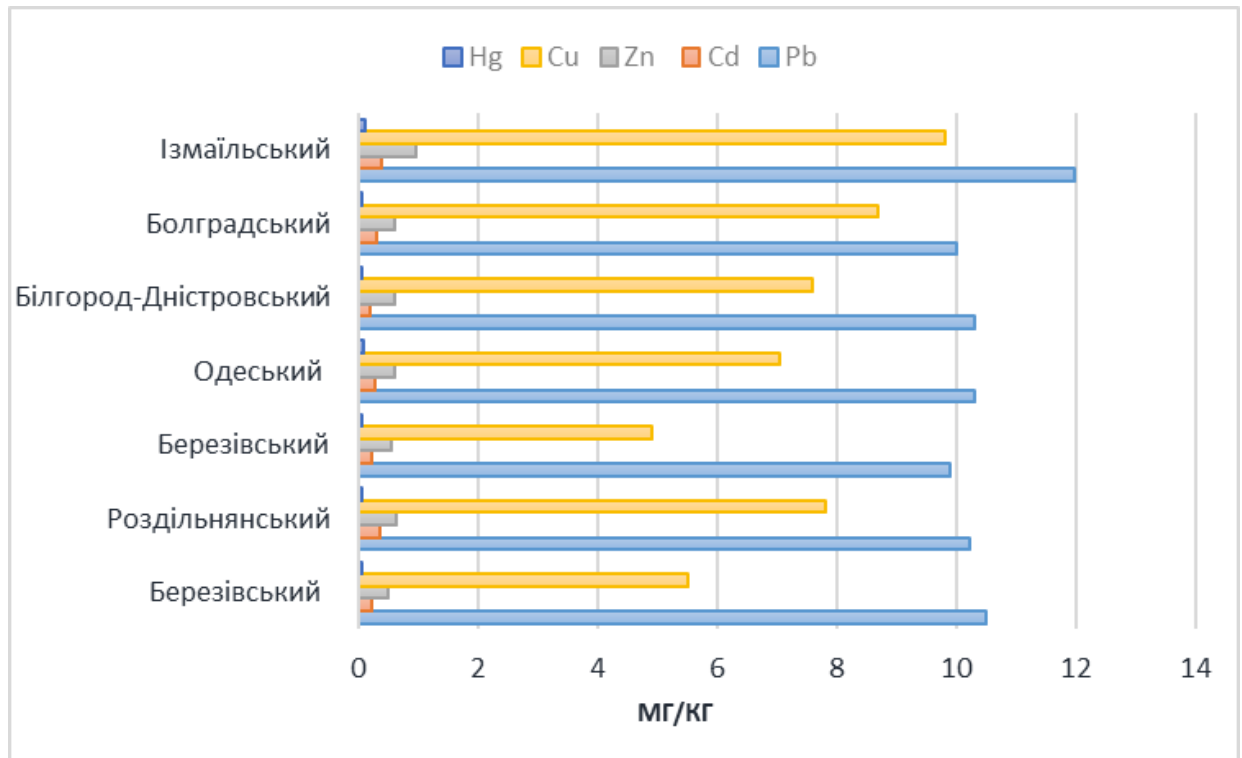


Рис. 3.1 Вміст важких металів в ґрунтах Одеської області, 2008-2013 рр.

На третьому місці за вмістом у ґрунтах знаходиться цинк. Збагачення ландшафту цинком може статися при систематичному використанні як органічні добрива опадів стічних вод міст, а також при спалюванні на полях відходів гуми, до складу якої він входить як елемент, що покращує вулканізацію. Найбільший показник цинку відзначається також в Ізмаїльському районі.

Надходження в ландшафт кадмію може бути пов'язано з широким використанням у сільському господарстві фосфатів, що містять цей елемент у вигляді домішки. Ртуть у ґрунті виявляється в результаті використання її сполук як фунгіцидів у сільському господарстві. Не виключено попадання ртуті в ґрунт з компостом з побутового сміття (із використаних

люмінесцентних ламп). Як видно з рис. 3.1 вміст ртуті та кадмію в ґрунті районів Одеської області є в незначний, їх найбільша значення також спостерігаються у Ізмаїльському районі.

Нормування вмісту металів у ґрунтах передбачає встановлення їх гранично допустимих концентрацій. Під гранично допустимими концентрацією (ГДК) важких металів слід розуміти таку їхню концентрацію, яка при тривалому впливі на ґрунт і на рослини, що на ній ростуть, не викликає будь-яких патологічних змін або аномалій в ході біологічних процесів, а також не призводить до накопичення токсичних елементів у сільськогосподарських культурах та, отже, не може порушити біологічний оптимум для сільськогосподарських тварин та людини.

Проводячи аналіз концентрації у ґрунті 5 важких металів (кадмій, цинк, мідь, ртуть та свинець). Концентрації важких металів на території досліджених районів майже по всім металам були не вищими за ГДК. В таблиці 3.1 представлені нормативи гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин, що забруднюють ґрунт.

Таблиця 3.1 Нормативи гранично допустимих концентрацій важких металів у ґрунтах

Важкий метал	Гранично-допустима концентрація мг/кг в ґрунті
Свинець	30,0
Кадмій	3,0
Цинк	1,5
Мідь, рухома форма	3,0
Ртуть	2,1

Свинець має здатність накопичуватися у ґрунті та зменшувати швидкість росту та розвитку рослин, пригнічує процеси дихання та

фотосинтез тощо. При дослідженні ґрунтів Одеської області перевищень ГДК немає (рис 3.2). Середнє значення вмісту свинцю по області становить 10,5 мг/кг. Максимальне значення - у Ізмаїльському районі (12 мг/кг), мінімальне - в Березівському районі (9,9 мг/кг).

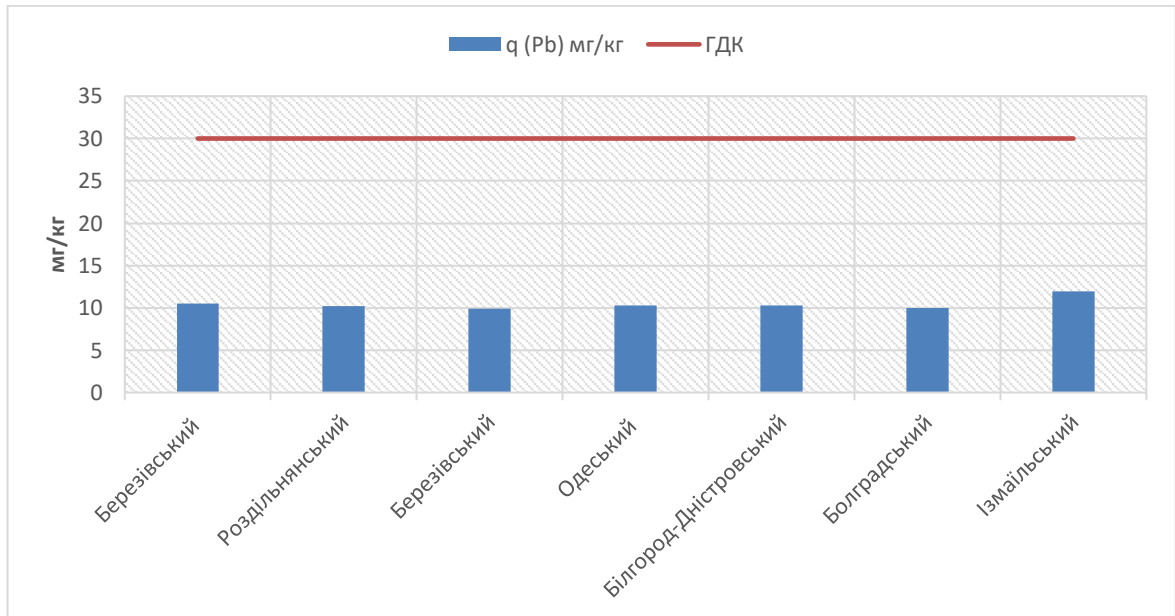


Рис. 3.2 Вміст свинцю (Pb) на території Одеської області, мг/кг

У ґрунті кадмій є рідкісним розсіяним 2-валентним елементом. Для нього характерна міграція у гарячих підземних водах разом з цинком та іншими халькофільними елементами. Кадмій супроводжує цинк і часто виявляється разом з ним, утворює численні основні, подвійні та комплексні з'єднання. На рисунку 3.3 показано вміст кадмію у ґрунті по районах Одеської області, середнє значення 0,28 мг/кг. Найвищі концентрації кадмію були отримані у Ізмаїльському та Роздільнянському районах і дорівнюють 0,38 та 0,37 мг/кг відповідно. Але в цілому по районах Одеської області перевищень ГДК по такому важкому металу як кадмій не виявлено.

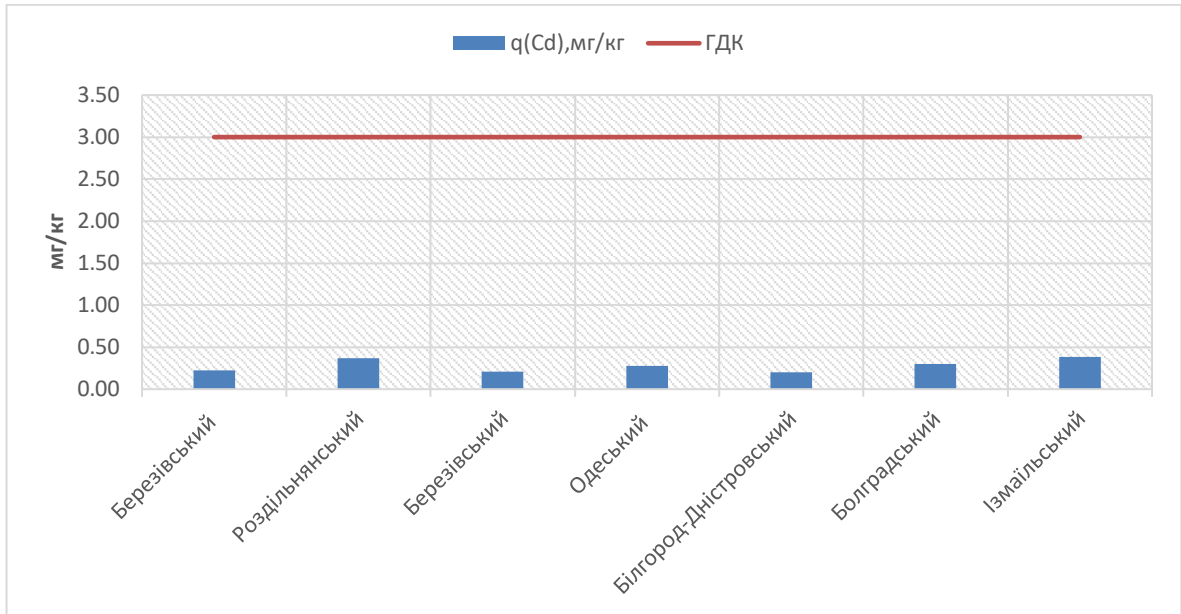


Рис. 3.3 Вміст кадмію (Cd) на території Одеської області, мг/кг

Цинк (Zn) необхідний для рослин у невеликих кількостях, але при цьому відіграє значну роль у їх розвитку та зростанні. Токсичність цинку дуже рідкісне явище, і в нормальних умовах більшість ґрунтів має або нормальний або дефіцитний рівень цинку. З рис. 3.4 видно, що концентрації цинку є незначними та не перевищують ГДК.

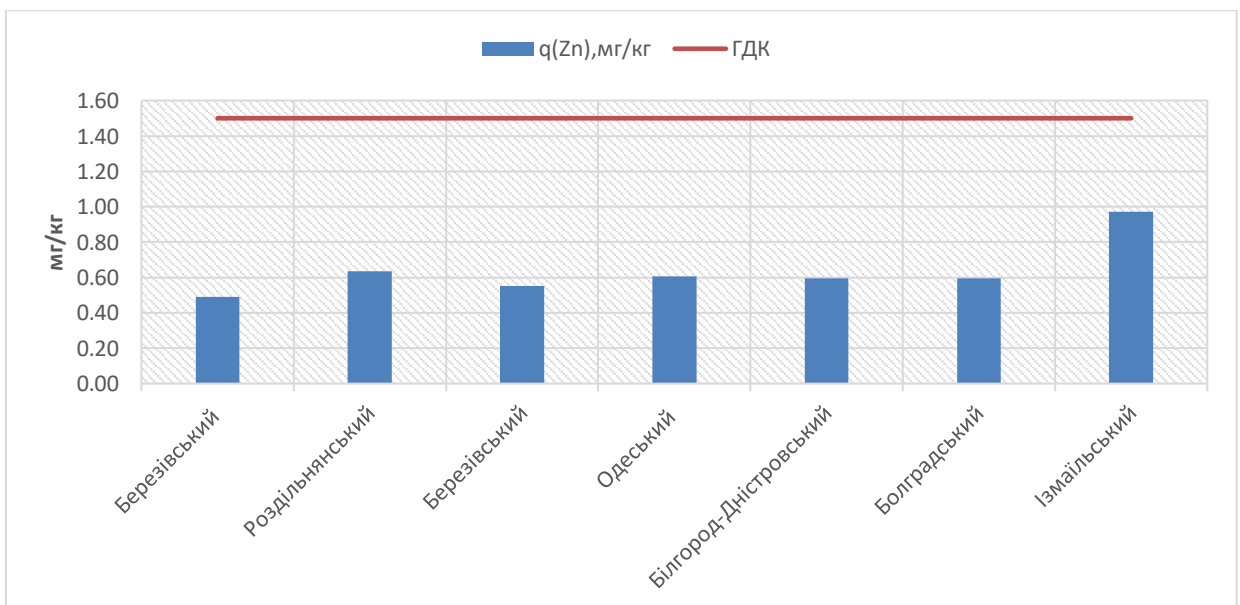


Рис. 3.4 Вміст кадмію (Zn) на території Одеської області, мг/кг

Постійне застосування препаратів, що містять мідь, призводить до накопичення її в ґрунті в токсичних для рослин концентраціях і як наслідок спричиняє погіршення росту рослин і викликає хлороз. На рис. 3.5 представлений вміст міді по районах Одеської області. Стурбованість викликає забруднення ґрунтів таким токсичним металом як мідь. З графіку видно, що по всіх районах Одеської області спостерігається перевищення ГДК в середньому у 2-2,5 рази. Мідь входить до складу пестицидів, які використовуються при обробці виноградників, садів та ягідників.

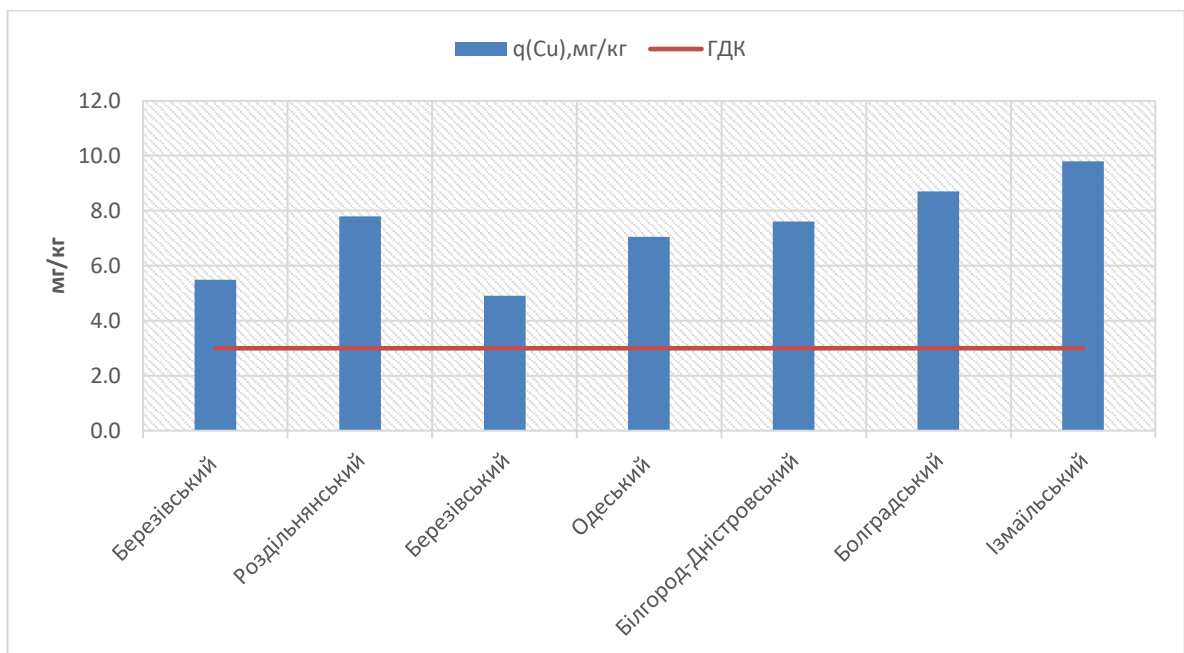


Рис. 3.5 Вміст кадмію (Cu) на території Одеської області, мг/кг

Забруднення ґрунту ртуттю відбувається з потраплянням до неї пестицидів, різних побутових відходів, наприклад, люмінесцентних ламп, елементів зіпсованих вимірювальних приладів тощо. У сільськогосподарські культури ртуть надходить при обробці рослин гербіцидами, що містять ртуть. Ртуть сорбується листовою платівкою рослин із атмосфери. Вступаючи в рослини, ртуть нерівномірно накопичується по всіх органах, але більшою мірою накопичується в корінні.



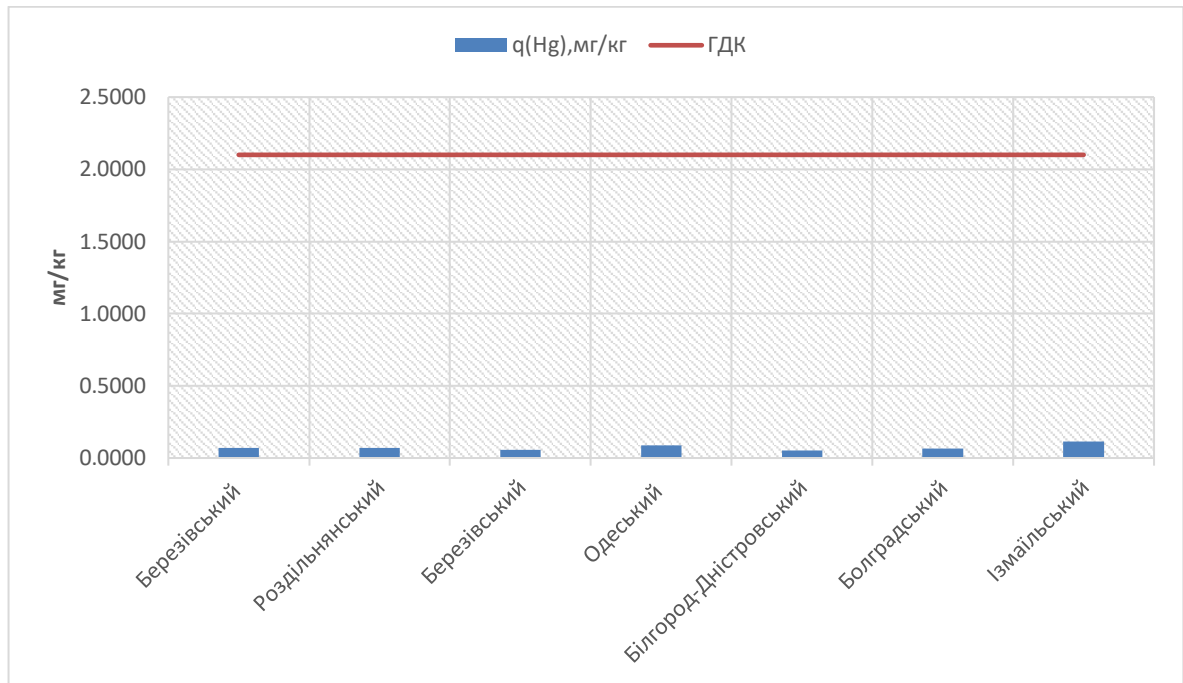


Рис. 3.6 Вміст ртуті (Hg) на території Одеської області, мг/кг

Як видно з рисю 3.6 вміст ртуті по районах Одеської області не перевищує ГДК. Середнє значення по області дорівнює 0,07 мг/кг. Максимальне значення спостерігається в Ізмаїльському районі – 0,11 мг/кг, далі за вмістом йде Одеський район – 0,09 мг/кг та Подільський район – 0,07 мг/кг.

При моделювання швидкості поглинання важких металів рослинами вівса в умовах Одеської області в роботі використовувалася інформація про вміст основних важких металів у ґрунтах районів Одеської області за 2008-2013 рр. Швидкість надходження важких металів корінням рослин залежить поглинальна здібність кореню, концентрація рухомих форм окремого виду важкого металу у ґрунті та радіусу кореня. Також урахувалися основні показники поглинальної здібності кореневої системи вівса з урахуванням умов вирощування.

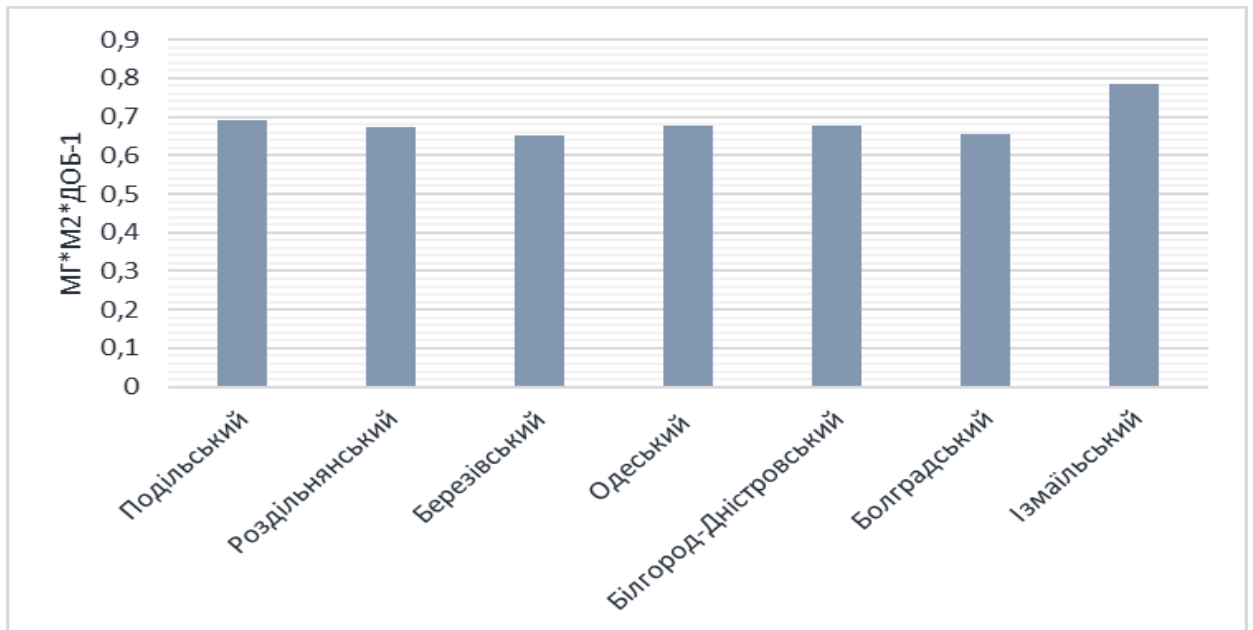


Рис. 3.7 Швидкість поглинання Pb корінням рослини вівса по районах Одеської області

На рис. 3.7-3.11 представлені результати моделювання швидкості поглинання основних важких металів культурою овес, який вирощується в умовах Одеської області. При цьому ураховані біологічні особливості культури, характеристики ґрунту та фактичні концентрації важких металів.

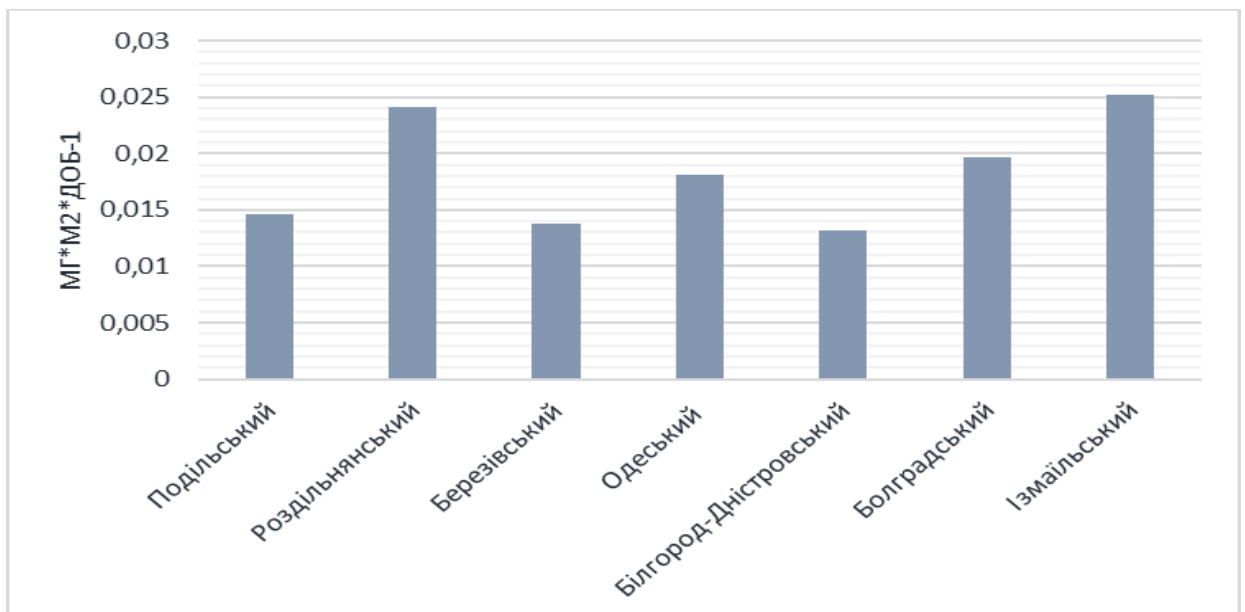


Рис. 3.8 Швидкість поглинання Cd корінням рослини вівса по районах Одеської області

Проаналізувавши рис. 3.7, можна зробити висновок, що максимальна швидкість поглинання свинцю рослиною спостерігалася у Ізмаїльському районі і дорівнювала  $0,8 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ . Найменші значення швидкості поглинання отримані в Березівському районі -  $0,65 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ .

В цілому по районах Одеської області швидкість поглинання такого важкого металу як свинець рослинами вівса розподілена рівномірно. Мінімальні значення цього показника відмічалися також в Болградському ( $0,66 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ) та Роздільнянському ( $0,67 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ) районах.

З рис. 3.8 видно, що найбільші значення швидкості поглинання кадмію рослиною вівса в умовах Одеської області – у Роздільнянському та Ізмаїльському районах і дорівнюють  $0,024$  та  $0,025 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$  відповідно. Середнє значення по області –  $0,018 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ . Мінімальні значення спостерігаються на території Білгород-Дністровського ( $0,013 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ) та у Березівському ( $0,014 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ) районах.

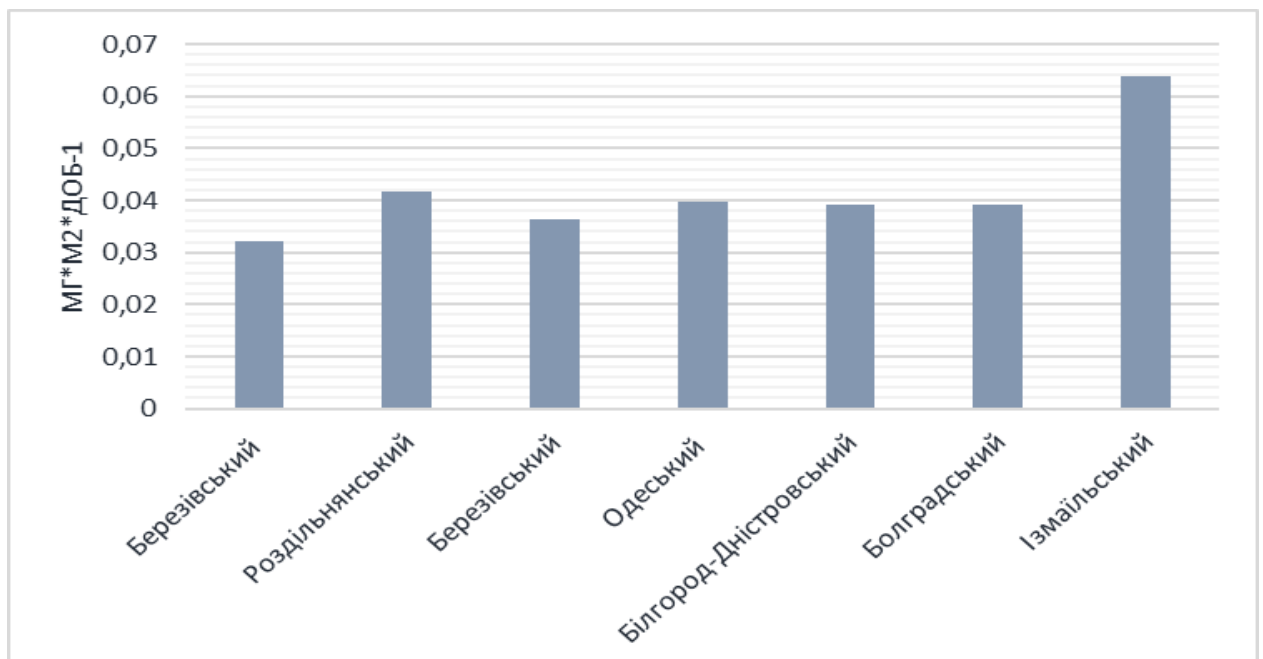


Рис. 3.9 Швидкість поглинання Zn корінням рослини вівса по районах Одеської області

Найбільші значення швидкості поглинання цинку рослиною становить  $0,06 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$  - це Ізмаїльський район, найменше значення становить  $0,032 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$  в Подільському районі. Середнє значення швидкості поглинання цинку рослиною вівса на території Одеської області дорівнює  $0,04 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ .

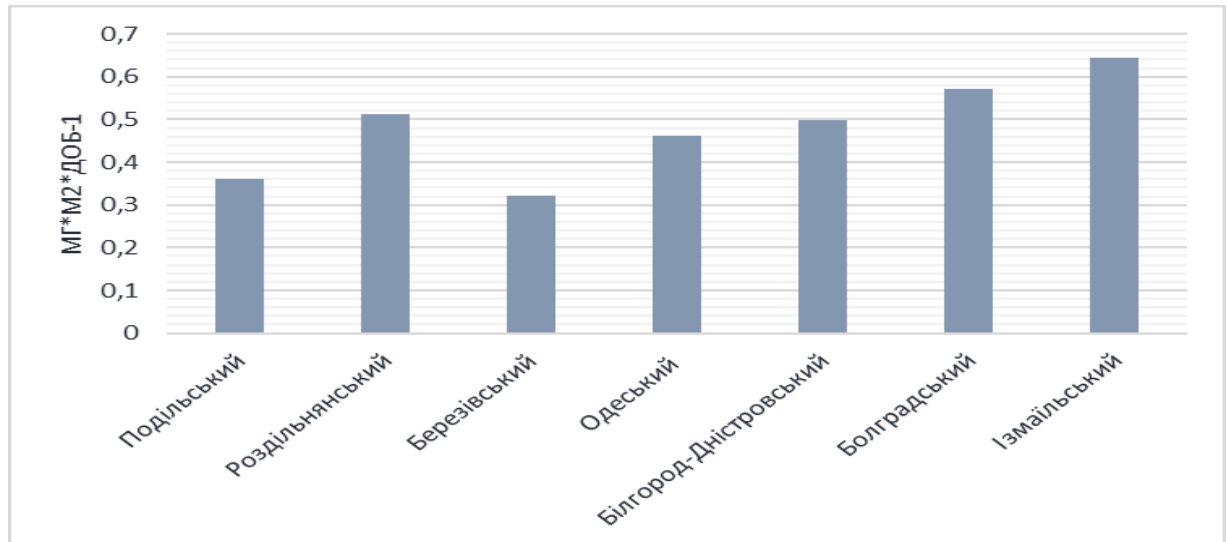


Рис. 3.10 Швидкість поглинання Cu корінням рослини вівса по районам Одеської області

Швидкість поглинання міді, яка має перевищення за значенням ГДК по території Одеської області, в середньому по районах дорівнює  $0,48 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ . Максимальні значення були отримані в Ізмаїльському районі ( $0,64 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ), мінімальні значення - в Березівському районі ( $0,32 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ ) (рис. 3.10).

На рис. 3.11 представлена швидкість поглинання Hg корінням рослини вівса по районах Одеської області. З рисунку видно, що максимальні значення спостерігаються у Ізмаїльському районі і дорівнюють  $0,0074 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ , мінімальні значення у Білгород-Дністровському районі –  $0,035 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ . Середнє значення швидкості поглинання Hg корінням рослини вівса по районах Одеської області дорівнює  $0,048 \text{ мгм}^2\text{доб}^{-1}$ .

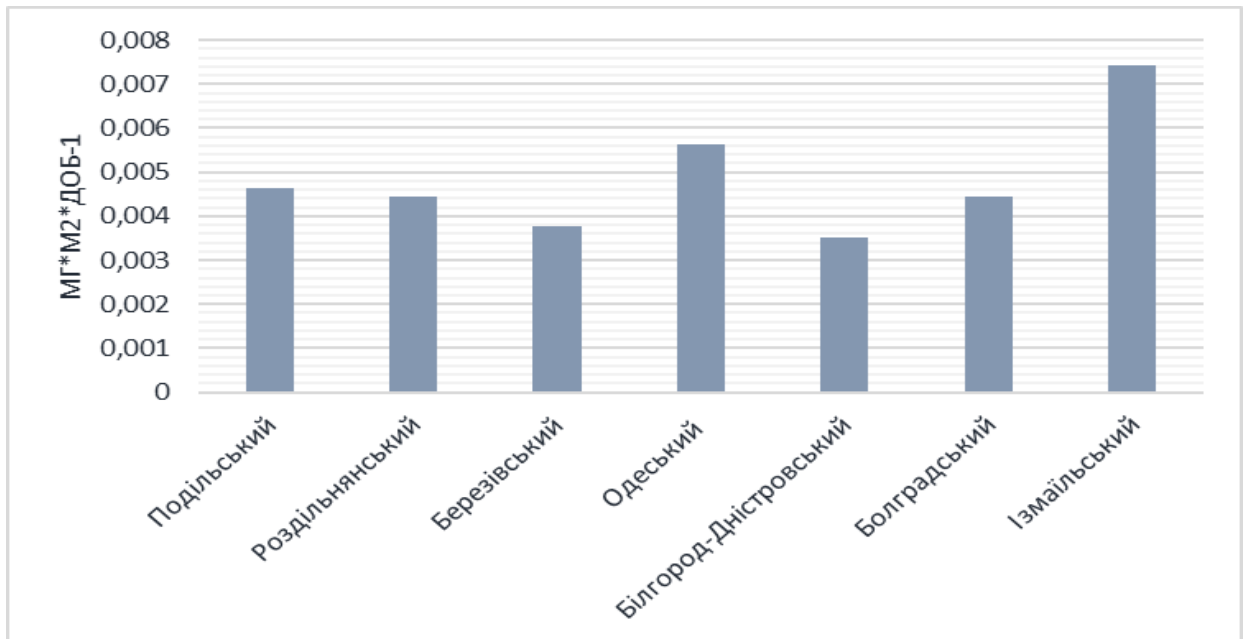


Рис. 3.11 Швидкість поглинання Hg корінням рослини вівса по районам Одеської області

Отже, виходячи із проведених розрахунків, можна сказати, що максимальна швидкість поглинання важких металів рослинами вівса спостерігається у південних районах області, а саме Ізмаїльському і Болградському. Мінімальна швидкість поглинання спостерігається у північних районах, а саме Подільському та Березівському.

В цілому, рослини вівса не зазнають значного навантаження за рахунок вмісту важких металів при вирощуванні на території Одеської області, отже можна надати рекомендації щодо вирощування цієї культури на досліджуваній території [33].

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра було встановити вплив основних важких металів на продуктивність зернових культур в умовах Одеської області.

В результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. Антропогенні джерела класифікуються як основне джерело потрапляння важких металів, головне з яких сільське господарство. Важкі метали надходять в рослину переважно через кореневу систему із ґрунту, в меншій мірі - через листя.
2. За останні 5 років йде поступове скорочення виробництва майже під усіма видами сільськогосподарських рослин, за винятком ріпаку, виробництво якого збільшувалося в 5 разів. Найбільший обсяг виробництва займають ячмінь та пшениця. Виробництво пшениці у 2016 році дорівнювало майже 22 тис. ц, то у 2020 році воно знизилося на половину (10 тис. ц). Виробництво ячменя знизилося за останні п'ять років на 65%. Виключення складає лише ріпак, виробництво якого збільшувалося в 5 разів з 750 тис. ц у 2016 році до 3713 тис. ц у 2019 році.
3. За результатами дослідження вмісту важких металів в ґрунтах Одеської області за 2008-2013 рр. було виявлено, що перше місце по всім районам займає свинець, на другому місці знаходиться мідь, на третьому – цинк. Максимальне значення свинця (12 мг/кг) спостерігається у Ізмаїльському районі. На другому місці знаходиться мідь, найбільші значення якої спостерігаються у Ізмаїльському (9,8 мг/кг) та Болградському районах (8,7 мг/кг). На третьому місці за вмістом у ґрунтах знаходиться цинк та найбільший його показник відзначається також в Ізмаїльському районі (0,11 мг/кг).

4. При дослідженні ґрунтів Одеської області перевищень ГДК було виявлено, що концентрації найбільш екологічно небезпечних хімічних елементів в основному не перевищують ГДК. Виключення складає мідь – по всім районам Одеської області спостерігається перевищення ГДК в середньому у 2-2,5 рази.
5. В результаті моделювання швидкості поглинання важких металів рослиною вівса встановлено, що максимальна швидкість поглинання важких металів рослинами спостерігається у південних районах області, а саме Ізмаїльському і Болградському. Мінімальна швидкість поглинання спостерігається у північних районах, а саме Подільському та Березівському.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електронний ресурс: URL: <https://www.mdpi.com/2305-6304/10/12/716> (дата звернення: 03.05.2023).
2. Про автоматизовану систему екологічного моніторингу атмосферного повітря у місті Бровари Київської області. Головач О., Козловський В., Демків О. Забруднення сільськогосподарських ґрунтів важкими металами та характер їхнього перерозподілу у рослинах кукурудзи. *Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна*. 2004. Вип. 38. С. 205-210.
3. Synthesis of magnetite from iron-rich mine water using sodium carbonate. Vhahangwele Akinwekomi et al. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. 5(3). 2017. 10 p.
4. Singhal, H.R.; Mani, N.K.; Kodgi, A.; Mehendale, N.; Sharma, S.; Garlapati, V.K. Chapter 10-Miniaturized microfluidic heuristic for the detection of polluting molecules in the environment. In *Handbook on Miniaturization in Analytical Chemistry*; Hussain, C.M., Ed.; Elsevier: Amsterdam, The Netherlands, 2020; pp. 221–235.
5. Козловський В., Романюк Н., Терек О., Чонка І., Колесник О., Болаші Ш., Бойко Н. Важкі метали в ґрунтах та рослинах заплави ріка Тиса. *Вісник Львівського ун-ту. Серія біологічна*. 2005. Вип. 40. С. 35-50.
6. Бенцаровський Д.М., Лісовий М.В. Сучасний стан та перспективи розвитку хімізації землеробства. *Агрохімія і Ґрунтознавство. Спеціальний випуск*. Харків. 2002. С. 75-81.
7. Корсун, С.Г., Клименко, І.І., Болоховська, В.А., Болоховський, В.В. Транслокації важких металів у системі "ґрунт-рослина" за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний моніторинг*. 2019. 1, 29-35.
8. Меньшов, О., Кудеравець, Р., Попов, С., Хоменко, Р., Сухорада, А., Чоботок, І. Термомагнітний аналіз ґрунтів територій покладів



- вуглеводнів. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Геологія.* 2016. 73(2), 33-37.
9. Eissa, M.A. Performance of river saltbush (*Atriplex amnicola*) grown on contaminated soils as affected by organic fertilization. *World Applied Science Journal.* (2014. 30, 1877-1881.
  10. Хохрякова, А. І. ОЦІНКА РІВНЯ ХІМІЧНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ПАРКОВИХ ЗОН МІСТА ОДЕСИ. А. І. Хохрякова, Е. В. Куліджанов. *Науковий вісник Херсонського державного університету.* Серія: Географічні науки. Херсон. 2017. № 6. С. 164-172.
  11. Електронний ресурс: URL: <https://www.hindawi.com/journals/aess/2014/752708> (дата звернення: 07.05.2023).
  12. Волошин І.М., Мезенцева І.В. Вміст свинцю в ґрунтах і рослинах та його вплив на поширення нозокласів. *Вісник Львівського університету.* Серія: Геграфічна. Львів. 2009. №37. С. 120–128.
  13. Валерко Р.А. Особливості біотестування антропогенно забруднених ґрунтів з метою їх екотоксичної оцінки. *Вісник Харківського національного аграрного університету імені В. Докучаєва.* Серія «Ґрунтознавство, агрохімія, землеробство, лісове господарство, екологія ґрунтів». Харків. 2013. №2. С. 262–266.
  14. Козловський В. І., Романюк Н. Д., Терек О. І., Чонка, І. І., Колесник О. Б., Болаші Ш., Бойко Н. В. Важкі метали у ґрунтах та рослинах заплави ріки Тиса. *Вісник Львівського університету.* Серія біологічна. 2005. 40. 35–50.
  15. Борисюк Б.В., Залевський Р.А., Мількевич В.М. Закономірність перерозподілу міді в орному шарі сірого лісового ґрунту. *Агроекологічний журнал: науково-теоретичний журнал.* 2010. 1. 30–38.

16. Briffa, J.; Sinagra, E.; Blundell, R. Heavy metal pollution in the environment and their toxicological effects on humans. *Heliyon* 2020, 6, e04691.
17. Балюк С.А. Рекомендації щодо запобігання забрудненню важкими металами ґрунтів та рослинної продукції в умовах зрошуваного землеробства. С.А. Балюк, В.Я. Ладних, А.І. Фадєєв, М.А. Захарова, Л.І. Мошник. *Аграрна наука*. К., 2000. С. 5-9.
18. Ikechukwu, U.R.; Okpashi, V.E.; Oluomachi, U.N.; Paulinus, N.C.; Obiageli, N.F.; Precious, O. Evaluation of heavy metals in selected fruits in Umuahia market, Nigeria: Associating toxicity to effect for improved metal risk assessment. *J. Appl. Biol. Biotechnol.* **2019**, 7, 3–5.
19. Електронний ресурс: URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0\\_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9E%D0%B4%D0%B5%D1%81%D1%8C%D0%BA%D0%B0_%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C) (дата звернення: 12.05.2023).
20. Електронний ресурс: URL: <https://oda.od.gov.ua/odeshhyna/pro-odeshhynu/pasport-oblasti/> (дата звернення: 12.05.2023).
21. Електронний ресурс: URL: <https://oda.od.gov.ua/statics/pages/files/5e4e655ff2e7e.pdf> (дата звернення: 12.05.2023).
22. Landes A, Porter J. R. Comparison of scales used for categorizing the development of wheat, barley, rye and oats//*Annals of Applied Biology*. 1989. vol. 115. Pg. 343-360.
23. Зінченко О. І., Салатенко В. Н., Білоножко М. А. Рослинництво: підручник. Київ: Аграрна освіта, 2001. 591 с.
24. Adams W. J., Arsenault R. D., Behr E. A., Burdell C. A., Cantrell W. R., Han S. S., Hartford W. H., Hudson C. D., Hudson M. S., Keefe D. E., Kulp D. A., Leutritz J., Jr Lindsay, Mathur D. R., V. N. P., Suggitt J. W. & Wetzel W. H//*Report of Committee P-5, methods for chemical analysis of preservatives. Proc. Am. Wood-Preserv. Assoc.* 1974. 259-264.

25. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / За ред. Яцука І.П., Балюка С.А. Київ. 2013. 104 с.
26. Pilon-Smits, E. Phytoremediation of Metals Using Transgenic Plants / E. Pilon-Smits, M. Pilon. *Critical Reviews in Plant Sciences*. – 2014. – Vol. 21. – N 5. – P. 439-456.
27. Kall, J.; Just, A.; Aschner, M. What is the risk? Dental amalgam, mercury exposure, and human health risks throughout the life span. In *Epigenetics, the Environment, and Children's Health Across Lifespans*; Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2016; pp. 159–206.
28. Yang, Q.; Li, Z.; Lu, X.; Duan, Q.; Huang, L.; Bi, J. A review of soil heavy metal pollution from industrial and agricultural regions in China: Pollution and risk assessment. *Sci. Total Environ.* 2018, 642, 690–700.
29. European Agency for Safety and Health atWork. Information about the European Opinion Polls on Safety and Health atWork; 2016. Available online: <https://osha.europa.eu/en> (accessed on 10 September 2022).
30. Khan, S.; Cao, Q.; Zheng, Y.M.; Huang, Y.Z.; Zhu, Y.G. Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. *Environ. Pollut.* 2008, 152, 686–692.
31. Бенцаровський Д.М., Лісовий М.В. Сучасний стан та перспективи розвитку хімізації землеробства // *Агрохімія і Ґрунтознавство. Спеціальний випуск.* - Харків. 2002.- С. 75-81.
32. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Миколаївській області за 2021 рік. Миколаїв, 2021.
33. Корсун, С.Г., Клименко, І.І., Болоховська, В.А., Болоховський, В.В. (2019). Транслокація важких металів у системі "ґрунт-рослина" за вапнування та впливу біологічних препаратів. *Агроекологічний моніторинг*, 1, 29-35.