

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**Факультет агротехнологій та природокористування**  
**Кафедра екології та ботаніки**

**До захисту допускається**  
**Завідувач кафедри**  
**екології та ботаніки**

-----

## **КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

за першим рівнем вищої освіти

на тему: **«АНАЛІЗ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОРНОМУ  
ШАРІ ҐРУНТУ ТОВ «АГРОТРЕЙД»**

Виконав

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Шапран Н.В.**

Група:

ЕКО-2001-1

Науковий керівник

\_\_\_\_\_

(підпис)

**Тихонова О.М.**

**Суми – 2024**

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

*Факультет агротехнологій та природокористування*

*Кафедра екології та ботаніки*

Освітній ступінь – «Бакалавр»

Спеціальність – 101 “Екологія”

**“ЗАТВЕРДЖУЮ”**

Зав. кафедрою \_\_\_\_\_ Скляр В.Г.

“ \_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ**  
на дипломну роботу студентів

*Шапрану Назарію В'ячеславовичу*

1. Тема роботи: «Аналіз вмісту важких металів в орному шарі ґрунту ТОВ «Агротрейд»

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

2. Термін здачі студентом закінченої роботи на кафедру \_\_\_\_\_

3. Вихідні дані до роботи: літературні джерела, довідкова та статистична інформація, дані рентгенофлюорисцентного аналізу зразків ґрунту та сільськогосподарських рослин з полів дослідного господарства.

4. Перелік завдань, які будуть виконуватися в роботі: опрацювання літературних джерел, аналіз забруднення орних ґрунтів господарства важкими металами, дослідження акумулювативних властивостей сільськогосподарських культур.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_ (Тихонова О.М.)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_ (Шапран Н.В.)

Дата отримання завдання “\_7\_” березня\_2023 р.

## АНОТАЦІЯ

### 2. Шапран Н.В. «Аналіз вмісту важких металів в орному шарі ґрунту ТОВ «Агротрейд».

Дипломна робота освітнього рівня «бакалавр», на правах рукопису. Спеціальність 101 - Екологія. Сумський національний аграрний університет. Суми, 2024.

Дипломна робота викладена на 58 сторінках комп'ютерного тексту. Проілюстрована 4 таблицями та 4 рисунками. Складається зі вступу, 4 розділів, висновків і пропозицій, списку літератури, що включає 46 найменувань, додатків.

Мета роботи – провести аналіз вмісту важких металів в поверхневому шарі орних ґрунтів господарства, простежити акумулятивні властивості сільськогосподарських культур щодо вмісту важких металів в умовах ТОВ «Агротрейд» Роменського району Сумської області.

В роботі застосовували вагові, аналітичні, статистичні методи, а також метод рентгенофлюорисцентного аналізу.

В бакалаврській роботі представлені дослідження валового вмісту важких металів в поверхневому шарі орних ґрунтів господарства та в тканинах сільськогосподарських культур. Надана оцінка впливу важких металів на агроєкосистему і пропозиції щодо зниження рівня забруднення агроценозів. Встановлено якісний і кількісний склад деяких важких металів на полях, які накопичуються в результаті нераціонального землекористування в інтенсивних системах землеробства. Проведено порівняльний аналіз вмісту барію, кадмію, стронцію, арсену в ґрунтах господарства та досліджені акумулятивні властивості чотирьох сільськогосподарських культур.

Порівняльний аналіз валового вмісту важких металів в поверхневому шарі орних ґрунтів господарства показав, що вміст різних металів на полях не однаковий. Такі важкі метали як нікель, купрум, цинк, свинець, вольфрам,

марганець і стронцій знаходяться в межах ГДК. Аналіз валових форм кадмію показав перевищення допустимого вмісту на всіх полях в декілька разів – від 8,3 мг/кг на полі соняшника до 8,9 мг/кг на полі кукурудзи. Акумулятивна здатність культурних рослин по відношенню до Cd виявилася різною. Сільськогосподарські культури всі накопичують цей елемент в тканинах листків, але найбільш високий вміст елементу виявився в рослинах кукурудзи та гречки, відповідно 22,5 та 19,0 мг/кг. В стеблах соняшнику валовий вміст Cd був найменшим – 15,7 мг/кг.

Вміст барію в орних ґрунтах досліджуваних полів перевищував гранично-допустиму концентрацію в 1,4-3,5 рази. При тому, що ГДК Барію для чорноземів звичайних становить 120 мг/кг ґрунту, під посівами соняшника вміст елемента становив 416,7 мг/кг, сої - 219,8 мг/кг, кукурудзи - 387,1 мг/кг, гречки - 162,5 мг/кг. Сільськогосподарські культури виявили різну здатність до поглинання Барію - найменший вміст металу виявився в стеблах соняшника – 78,1 мг/кг, найбільший – в листках кукурудзи - 112,1 мг/кг.

Найбільше перевищення вмісту арсену виявлено на полі сої – в 3,9 разів та на полі гречки – в 3,6 разів від гранично-допустимої концентрації. В вегетативних частинах культурних рослин вміст арсену відрізнявся: в соняшнику в кінці вегетаційного сезону - 0,6, в сої – 1,1, в кукурудзі – 1,5, в гречці – 0,8 мг/кг.

**Ключові слова:** важкі метали, гранично-допустима концентрація, ґрунт, агроценози, техногенний вплив.

## ABSTRACT

Shapran N.V. "Analysis of the content of heavy metals in the arable soil layer of Agrotrade LLC." Thesis of the educational level "Bachelor", with manuscript rights. Specialty 101 - Ecology. Sumy National Agrarian University. Sumy, 2024.

The thesis is presented on 58 pages of computer text. Illustrated with 4 tables and 4 figures. Consists of an introduction, 4 chapters, a conclusion and a proposal, a bibliography including 46 titles, and applications.

The purpose of the work is to analyze the content of heavy metals in the surface layer of arable soils of the farm, to trace the accumulative properties of agricultural crops in relation to the content of heavy metals in the conditions of LLC "Agrotrade" of Romen district of Sumy region.

Weight, analytical, statistical methods, as well as the method of X-ray fluorescence analysis were used in the work.

The bachelor's work presents research on the gross content of heavy metals in the surface layer of arable soils and in the tissues of agricultural crops. An assessment of the impact of heavy metals on the agroecosystem and suggestions for reducing the level of contamination of agrocenoses are given. The qualitative and quantitative composition of some heavy metals in the fields, which accumulate as a result of irrational land use in intensive farming systems, has been established. A comparative analysis of the content of Strontium, Cadmium, Barium, Arsenic in farm soils was conducted and the accumulative properties of four agricultural crops were investigated.

A comparative analysis of the gross content of heavy metals in the surface layer of arable farm soils showed that the content of various metals in the fields is not the same. Such heavy metals as Nickel, Cuprum, Zinc, Lead, Tungsten, Manganese and Strontium are within the MPC.

The analysis of the gross forms of Cadmium showed an excess of the permissible content in all fields by several times - from 8.3 mg/kg in the sunflower

field to 8.9 mg/kg in the corn field. The accumulative capacity of cultivated plants in relation to Cd turned out to be different. Agricultural crops all accumulate this element in leaf tissues, but the highest content of the element was found in corn and buckwheat plants, 22.5 and 19.0 mg/kg, respectively. In sunflower stalks, the gross content of Cd was the lowest - 15.7 mg/kg.

Barium content in arable soils of the studied fields exceeded the maximum permissible concentration by 1.4-3.5 times. While the MPC of barium for ordinary chernozems is 120 mg/kg of soil, under sunflower crops the content of the element was 416.7 mg/kg, soy - 219.8 mg/kg, corn - 387.1 mg/kg, buckwheat - 162.5 mg/kg. Agricultural crops showed different ability to absorb Barium - the lowest content of the metal was found in sunflower stalks - 78.1 mg/kg, the highest - in corn leaves - 112.1 mg/kg.

The greatest excess of Arsenic content was found in the soybean field - 3.9 times and in the buckwheat field - 3.6 times the maximum permissible concentration. In vegetative parts of cultivated plants, the content of arsenic varied: in sunflower at the end of the growing season - 0.6, in soybean - 1.1, in corn - 1.5, in buckwheat - 0.8 mg/kg.

***Key words:*** heavy metals, maximum permissible concentration, soil, agrocenoses, man-made influence.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЇХ СПОЛУКАМИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ) .....	10
1.1. Причини забруднення ґрунтового покриву та продукції рослинництва важкими металами.....	10
1.2. Рівні токсичності важких металів .....	14
1.3. Нормативно-законодавча база щодо моніторингу важких металів.....	17
РОЗДІЛ 2. ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ .....	21
2.1. Кліматичні та погодні умови району досліджень.....	21
2.2. Характеристика господарства.....	23
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ. ....	26
РОЗДІЛ 4. АНАЛІЗ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОРНИХ ГРУНТАХ ГОСПОДАРСТВА (РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ).....	28
4.1. Аналіз вмісту барію (Ba) в орних ґрунтах та культурних рослинах.....	28
4.2. Аналіз вмісту кадмію (Cd) в орних ґрунтах та культурних рослинах.....	31
4.3. Аналіз вмісту стронцію (Sr) в орних ґрунтах та культурних рослинах.....	35
4.4. Аналіз вмісту арсену (As) в орних ґрунтах та культурних рослинах.....	37
4.5. Порівняння рівня забруднення орних ґрунтів господарства важкими металами.....	39
ВИСНОВКИ .....	42
ПРОПОЗИЦІЇ .....	44
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТКИ .....	50

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Проблема значного антропогенного навантаження на ґрунти сільськогосподарського використання особливо гостро постала перед людством у ХХІ столітті. Інтенсивні технології вирощування культур підвищують урожайність та рентабельність сільського господарства, але призводять до забруднення ґрунтів залишками пестицидів та мінеральних добрив, які містять токсичні речовини, включаючи важкі метали. Це створює загрозу погіршення якості ґрунтів та знижує їх господарську придатність. Одне з актуальних питань екології, яке постає перед людством – ведення землеробства на забруднених ксеноботіками ґрунтах. Дослідження геохімії орних ґрунтів та оцінка екологічного стану агроєкосистем є критичними аспектами агроєкології. Отже, аналіз рівня забруднення орних ґрунтів важкими металами стає все більш вагомим.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, темами.** Тематика вивчення екологічного стану ґрунтового покриву аграрних ландшафтів є складовою частиною науково-дослідної теми кафедри екології та ботаніки: «Інвентаризація біорізноманіття та комплексний популяційний аналіз рослинного покриву Північно-Східної України». Державний реєстраційний номер 0121U113245.

**Мета та завдання дослідження** - аналіз вмісту важких металів в орних ґрунтах ТОВ «Агротрейд» Роменського району Сумської області, дослідження акумулятивних властивостей сільськогосподарських культур на здатність накопичувати важкі метали.

**Методи досліджень.** У ході роботи проводили класифікацію, систематизацію та узагальнення літературних даних за темою дослідження. Практичні результати отримали методом рентгенофлюорисцентного аналізу. Обробку результатів проводили з використанням методів статистики.

**Наукова новизна одержаних результатів.** Виявлено вміст важких металів в орних ґрунтах ТОВ «Агротрейд» Роменського району Сумської області.

**Практичне значення одержаних результатів.** Визначено ступінь забруднення орних ґрунтів ТОВ «Агротрейд» барієм, кадмієм, стронцієм, арсеном. Також проведено аналіз акумуляції важких металів сільськогосподарськими культурами.

**Особистий внесок здобувача** - планування методики досліджень, забір проб ґрунту та рослин для аналізу, опрацювання літературних джерел, узагальнення результатів досліджень, написання та оформлення кваліфікаційної роботи.

**Апробація результатів роботи.** Участь у міжнародній науково-практичній конференції «Theoretical and practical aspects of the development of science and education», яка відбулася в березні 2024 р. в м. Прага.

**Публікації.** Тихонова О.М., Шапран Н.В. Аналіз вмісту важких металів в поверхневому шарі орних ґрунтів ТОВ «Агротрейд» Роменського району Сумської області: мат. ІХ Міжнар. науково-практ. конференції «*Theoretical and practical aspects of the development of science and education*», (5-8 березня 2024 р., Прага). С. 17-20. (дод. Б).

**Структура та обсяг роботи.** Дипломна робота викладена на 58 сторінках комп'ютерного тексту, містить додатки. Проілюстрована 4 таблицями та 4 рисунками. Магістерська робота складається із вступу, 4 розділів, висновків і пропозицій, списку літератури, що включає 46 найменувань.

## РОЗДІЛ 1

### ПРОБЛЕМА ЗАБРУДНЕННЯ ГРУНТОВОГО ПОКРИВУ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЇХ СПОЛУКАМИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

#### 2.1. Причини забруднення ґрунтового покриву та продукції рослинництва важкими металами

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, в державі більше 4,5 млн. га ґрунтів забруднені здебільшого техногенними відходами - важкими металами, нафтопродуктами, радіонуклідами. Негативними наслідками тривалих і інтенсивних антропогенних впливів є розвиток деградаційних процесів у ґрунтах. Важкі метали зазвичай присутні у ґрунті як природні домішки, а причини підвищення їх концентрацій пов'язані з діяльністю людини [30]. У зв'язку з інтенсивним розвитком промисловості відбувається значне зростання вмісту важких металів в орних ґрунтах. Щорічне потрапляння токсичних сполук в ґрунти призводить до їх акумуляції, накопичення в ґрунтовому профілі і культурних рослинах.

Ступінь забруднення ґрунтів і сільськогосподарських культур важкими металами в значній мірі залежить від кількісного надходження їх у навколишньому середовищі, а також від екологічних умов - температури, кількості атмосферних опадів та фізико-хімічних особливостей цих сполук (їх розчинності у воді, леткості та ін.). Кількість накопичених важких металів залежить у першу чергу від типів ґрунтів: у глинистих ґрунтах їх накопичується більше, ніж у піщаних або дерново-підзолистих [1].

Проблеми забруднення ґрунтів та продукції рослинництва важкими металами розглянуто у працях вітчизняних і зарубіжних науковців: В.В. Дегтярьова, Е.Я. Жовинського, Д. Філіпса та ін. [7, 12, 45]. Для моніторингу

земель сільськогосподарського призначення необхідно використовувати технології, які були б наближені до природно-кліматичних умов, а також були адаптовані до динамічних екологічних і соціально-економічних факторів впливу [35].

Природне джерело потрапляння важких металів у ґрунти – материнські гірські породи, забруднені атмосферні опади, пестициди та забруднені добрива. Залежно від походження, розрізняють два типи важких металів: 1) літогенні, виникнення яких тісно пов'язане з материнською породою та мінералами, які її складають; 2) антропогенні, які потрапляють до ґрунту внаслідок людської діяльності [37].

Адсорбційні властивості ґрунту дуже впливають на вміст важких металів у ньому. Ґрунтові колоїди частіше мають від'ємний заряд, що полегшує обмінну адсорбцію, що відбувається в процесі осадження йонів важких металів із ґрунтового розчину. Найбільша адсорбційна ємність властива органічним колоїдам. Від вмісту органічної речовини в ґрунті, внаслідок змін адсорбційної здатності, залежить вміст важких металів, через це в різних природних зонах встановлені різні кларкові концентрації. Здатність катіону до адсорбції зростає разом із його валентністю. Найбільш зв'язані тривалентні катіони заліза та алюмінію, а найменш зв'язаними є одновалентні. На загальну адсорбційну ємність ґрунту впливає його кислотність. Унаслідок зростаючої кислотності ґрунтів під впливом антропогенних процесів зростає концентрація в ґрунтовому розчині розчинних форм важких металів. Процеси адсорбції призводять до осадження, або рідше - до окиснення. Присутність йонів  $H^+$  у ґрунтовому розчині впливає на ступінь окислювально-відновного потенціалу ґрунту, який, в свою чергу, визначає окислювально-відновлювальні реакції йонів важких металів [29].

Значна частина окисно-відновних реакцій у ґрунті протікає з участю мікроорганізмів, які виділяють протеолітичні ферменти, що виступають каталізаторами обмінних процесів. Частина йонів розчиняється у воді та,

утворивши у цій формі комплекс із важкими металами, засвоюється рослинами через кореневу систему. Мікроорганізми необхідні в специфічних реакціях утворення металоорганічних сполук [21].

На розподіл важких металів у ґрунті впливають фактори:

- Гранулометричний склад ґрунту. Адсорбуюча властивість ґрунтових колоїдів залежить від ступеня їх дисперсності. Чим вище остання, тим вище їхні адсорбуючі властивості. Підвищена дисперсність субстрату гальмує винесення атомів мікроелементів за межі ґрунтового профілю та сприяє накопиченню їх у ґрунті.
- Наявність оксидів і гідроксидів у ґрунті. Найбільший вплив на рухливість йонів важких металів у ґрунті мають оксиди і гідроксиди Fe, Al і Mn. Сорбція проявляється у вигляді заміщення йонів Fe і Mn на катіони металів, найбільша спорідненість Fe і Mn проявляється до аналогічних за розміром металів, а саме  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Ag^+$ ,  $Co^{2+}$ ,  $Co^{3+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$ .
- Реакція рН середовища. У кислому ґрунтовому розчині важкі метали утворюють розчинні орґано-мінеральні комплекси.
- Наявність карбонатів. Карбонати - це сполуки, які сильно знижують рухомість всіх мікроелементів і, у тому числі, важких металів, адже мають високі адсорбційні властивості.
- Застосування добрив на ґрунтах сільськогосподарського призначення, що певним чином впливає на вміст мікроелементів у ґрунті і їхнє накопичення у рослинах. Вплив цей складний: добрива змінюють рН ґрунтового розчину і таким чином впливають на ступінь розчинності сполук мікроелементів; вони впливають на інтенсивність і направленість обмінних реакцій, на процеси акумуляції [33].
- Орґанічна речовина ґрунту. Орґанічна речовина інактивує важкі метали у ґрунті: збільшує його буферність, сприяє зниженню токсичної дії металів і перешкоджає їхньому надходженню у рослини. Процеси взаємодії орґанічної речовини ґрунту з йонами металів ідентифікуються як

йіоноутворення, хелатування, адсорбція на поверхні, коагуляція і пептизація. Основними продуктами взаємодії є прості солі [34].

- Грунтова біота. Багатьма авторами було показано, що вміст у ґрунті рухомої форми важких металів динамічний у часі. Причини змін можуть бути різні, однак у більшості випадків коливання пояснюються діяльністю ґрунтових мікроорганізмів і віковими змінами рослин, що впливають на інтенсивність поглинання хімічних елементів. На мікробіологічну діяльність великий вплив здійснює вологість ґрунту, яка тісно пов'язана з погодними умовами і тому не може мати певного ритму [13, 38].
- Міграція по ґрунтовому профілю. Важкі метали, що потрапили у ґрунт, перш за все їхня мобільна форма, підлягають різним трансформаціям. Закріплення гумусом - основний процес, що впливає на частку металів у ґрунті. Саме цим пояснюється їхній підвищений вміст у верхньому найбільш гумусованому шарі ґрунту. Глибина проникнення важких металів у забруднених ґрунтах звичайно не перевищує 20 см, проте при сильному забрудненні вони здатні проникати і на глибину до 160 см. Найбільшою міграційною здатністю характеризуються йони Zn, які рівномірно розподіляються у шарі ґрунту на глибині 0-20 см. Pb частіше накопичується у поверхневому шарі (0-2,5 см), Cd займає проміжне положення між ними [23].
- Хімічні особливості важкого металу. Встановлено, що метализабруднювачі мають неоднакову здатність до адсорбції, від чого їхня токсичність для рослин при однаковому забрудненні може бути різною. Так, при однакових умовах йони Купруму адсорбуються у більшій кількості, ніж йони Кадмію. Цинк утримується ґрунтами більш міцно, ніж Кадмій, тому що найбільша його кількість зв'язана з оксидами Феруму. Кадмій, в основному, знаходиться в обмінній формі.
- Форми знаходження важких металів у ґрунті. Важкі метали в ґрунтах присутні в різних формах: в ґрунтовому розчині - у формі вільних

катіонів; у твердій частині ґрунту - у формі обмінних катіонів і їхніх заряджених комплексних сполук, адсорбованих на поверхні ґрунтових часточок; у вигляді ізоморфних домішок у структурах глинистих мінералів; гелів Феруму, Алюмінію і Мангану, а також у формі власних мінералів і стійких осадів малорозчинних солей [6].

В ґрунтах важкі метали знаходяться у трьох станах: водорозчинному, необмінному, обмінному. Небезпечним є забруднення ґрунту такими важкими металами як ртуть, кадмій, свинець, хром, мідь, цинк і миш'як. Важкі метали присутні в ґрунті як природні домішки, але причини підвищення їх концентрацій пов'язані із такими факторами антропогенного впливу як: промисловість - хімічна, кольорова і чорна металургія, енергетика; спалювання викопного палива та відходів, автотранспорт; сільське господарство - зрошування забрудненою водою, застосування пестицидів, мінеральних добрив [46].

Забруднення сільськогосподарських ґрунтів розглядаються у працях вчених: Бови О.В., Гащишин В.Р., Пацули О.І., Гирлі Л.М., Медведєва В.В. та ін. [1, 2, 5, 27]. Заміна інтенсивних технологій вирощування культурних рослин на адаптивні, регулярний моніторинг ґрунтового покриву сільськогосподарських угідь – єдиний шлях для покращення екологічного стану агроценозів в цілому та орних ґрунтів зокрема.

## **2.2. Рівні токсичності важких металів**

Для запобігання зростання вмісту важких металів в ґрунті введено відповідні норми їхнього вмісту:

1. ГДК валового вмісту важких металів в орному шарі ґрунту та рослинній масі;
2. ГДК рухомих форм важких металів у ґрунті, мг/кг;
3. Кларки важких металів у ґрунті, мг/кг.

ГДК важких металів – це концентрація, яка при тривалому впливі на ґрунт і рослини, що ростуть на ньому, не викликає 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 [30].

Кларк, або фонові концентрації – це середній вміст важкого металу у ґрунті, виражається у відсотках або мг/кг [44]. Кларк концентрації, за В. І. Вернадським – відношення усередненого вмісту хімічного елемента у родовищі або будь-якому об'єкті природи (мінералі, породі, руді, організмі) до кларку цього елемента у земній корі. В екологічних дослідженнях забруднення міських територій кларки концентрації можуть розраховуватися відносно кларків літосфери.

Валовий вміст важких металів доцільно використовувати для загальної характеристики стану ґрунтів і їхньої потенційної небезпечності. Лише вміст рухомих форм буде зумовлювати рівень їхньої токсичності. Метали саме у рухомих сполуках негативно впливають на ґрунтовий біоценоз, що неодноразово доводили вітчизняні і зарубіжні дослідники [31].

Класифікація ґрунтів за ступенем забруднення базується на гранично-допустимих концентраціях забруднюючих речовин та їх фоновому вмісту у ґрунті. За ступенем забруднення важкими металами ґрунти поділяються на три категорії: слабозабруднені, середньозабруднені, сильнозабруднені. До сильнозабруднених належать ґрунти, в яких вміст важких металів у декілька разів перевищує ГДК і які зазнали істотних змін фізико-хімічних та біологічних характеристик і мають внаслідок цього низьку біологічну активність та продуктивність, вміст важких металів у рослинній продукції, яку виростили на цих ґрунтах, зазвичай перевищує встановлені норми. До помірно забруднених належать ґрунти, у яких встановлено не значне перевищення ГДК, без видимих змін фізико-хімічних властивостей, до

слабозабруднених – вміст важких металів у яких не перевищує ГДК, але вищий від природного фону [40].

Свинець, ртуть і кадмій є небезпечними важкими металами. Дослідження останніх років виявило високу токсичність талію, миш'яку, берилію, селену, сурми, нікелю, ванадію, олова, які відносяться до біологічно-активних [22].

Хімічні елементи поділяють за класами гігієнічної безпеки [32]:

I клас: миш'як (As), берилій (Be), ртуть (Hg), селен (Sn), кадмій (Cd), свинець (Pb), цинк (Zn), талій (Tl), уран (U), фтор (F);

II клас: хром (Cr), кобальт (Co), нікель (Ni), бор (B), молібден (Mn), мідь (Cu), сурьма (Sb);

III клас: барій (Ba), вольфрам (W), марганець (Mn), ванадій (V), стронцій (Sr).

Рослини, як і всі живі організми, можуть протидіяти підвищенню концентрації важких металів лише до певної межі. Внаслідок накопичення металів у верхніх шарах ґрунту збіднюється видовий склад рослин та ґрунтових мікроорганізмів. Концентрація полютантів у ґрунті може зберігатися впродовж десятиліть.

Збільшення концентрації важких металів на землях сільськогосподарського використання відбувається переважно у поверхневих шарах ґрунту [28]. Найбільш доступний спосіб обмежити вплив важких металів на ґрунти – зменшити обсяги їх викидів у навколишнє середовище. Михайловська Т.М. зазначає, що для корінних змін і прогресу моніторингу земель в Україні насамперед треба завершити державну стандартизацію аналітичних робіт, відбирання зразків, термінології, оцінки ґрунтів і ландшафтів, що дасть змогу проводити контроль за єдиною методикою, порівнювати та обмінюватися даними з іншими країнами [29].

### **2.3. Нормативно-законодавча база щодо моніторингу важких металів**

Екологічна політика України містить Концепцію ґрунтового моніторингу, згідно з якою метою моніторингу ґрунтів є отримання інформації для вироблення управлінських рішень щодо стабілізації і поліпшення якості ґрунтів, екологізації землеробства та відтворення ґрунтової родючості.

Конституцією України гарантується охорона здоров'я громадян, яке напряму залежить від якості харчових продуктів, що виробляються із продукції рослинництва і тваринництва. На сторожі довкілля стоять державні органи, які в своїй діяльності керуються Законами України, нормативно-правовими актами Кабінету Міністрів України. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища» [15] містить фундаментальні правила та основні принципи охорони довкілля, Закон України «Про оцінку впливу на довкілля» [17] визначає права і обов'язки державних органів, підприємств, установ, організацій та громадян у сфері забезпечення екологічного благополуччя. Закон України «Про екологічний аудит» [16] має за мету підвищити екологічну обґрунтованість та ефективність діяльності суб'єктів господарювання. За допомогою екологічного аудиту здійснюється оцінка діяльності установ та підприємств щодо дотримання норм і правил з охорони навколишнього середовища. Земельним кодексом України передбачено дослідження якості земельного покриву як основи практичних заходів щодо оздоровлення агроєкосистем.

Моніторинг земель як складова державної програми моніторингу довкілля ґрунтується на Положенні «Про державну систему моніторингу довкілля». Відповідно до Земельного кодексу України та Закону „Про охорону земель” моніторинг земель в Україні забезпечується Державним агентством України [20]. Разом з ним, відповідно до законів „Про охорону земель” та „Про державний контроль за використанням та охороною

земель”, до повноважень Центрального органу виконавчої влади з питань аграрної політики належить проведення моніторингу земель сільськогосподарського призначення [18].

Безпосередню участь у проведенні моніторингу сільськогосподарських ґрунтів беруть: Міністерство охорони навколишнього природного середовища України та науково-дослідні установи УААН землеохоронного профілю. Зокрема Держзродючість здійснює: наукове керівництво моніторингом ґрунтів разом з Національним науковим центром Інститут агрохімії та ґрунтознавства ім. О.Н. Соколовського, науковим центром „Агроєкологія”, Державною службою України з питань геодезії, картографії та кадастру, Інститутом гідротехніки і меліорації УААН та іншими науково-дослідними установами УААН [8, 42].

Регіональні центри „Облдержзродючість” при проведенні моніторингу ґрунтів здійснюють: польові та аналітичні дослідження, збирання та опрацювання даних щодо ґрунтово-агрохімічного обстеження земель; агрохімічну паспортизацію земельних ділянок; моніторинг ґрунтів, їх родючості, ефективності меліоративних заходів щодо зниження радіоактивного забруднення ґрунтів і продукції рослинництва, застосування мінеральних добрив, хімічних меліорантів, пестицидів; розроблення ґрунтозахисних технологій; системний контроль за якісним станом ґрунтів та розроблення проектно-технологічної документації щодо відтворення родючості ґрунтів та створення регіональних банків даних якісного стану ґрунтів; надання на достовірній основі інформаційно-консультативних послуг землекористувачам та землевласникам.

У Законі України «Про охорону земель» є визначення поняття ґрунту: «ґрунт – природне органо-мінеральне тіло, що утворилося на поверхні земної кори і є осередком найбільшої концентрації поживних речовин, основою життя та розвитку людства завдяки найціннішій своїй властивості – родючості» [18, ст. 1]. Даний Закон України визначає, що «...гранично допустима концентрація забруднюючих речовин – максимально допустима

кількість забруднюючих речовин у ґрунтах, яка не зумовлює негативні екологічні наслідки для їх родючості, загального стану довкілля, якості сільськогосподарської продукції та здоров'я людини».

У Земельному Кодексі України у ст. 168 «Охорона ґрунтів» визначено, що:

1. Ґрунти земельних ділянок є об'єктом особливої охорони.

2. Власники земельних ділянок та землекористувачі не мають права здійснювати зняття та перенесення ґрунтового покриву земельних ділянок без спеціального дозволу центрального органу виконавчої влади, що реалізує державну політику у сфері здійснення державного нагляду (контролю) в агропромисловому комплексі, крім випадків:

а) проведення робіт із буріння та облаштування нафтових і газових свердловин, будівництва, технічного обслуговування, ремонту і реконструкції нафтових і газових свердловин та пов'язаних з їх обслуговуванням об'єктів трубопровідного транспорту, виробничих споруд, під'їзних доріг, ліній електропередачі та зв'язку, підземних кабельних мереж енергозабезпечення;

б) проведення робіт, пов'язаних з ліквідацією та запобіганням аварійним ситуаціям на нафтових і газових свердловинах та пов'язаних з їх експлуатацією об'єктах трубопровідного транспорту, виробничих спорудах, під'їзних дорогах, лініях електропередачі та зв'язку, підземних кабельних мережах енергозабезпечення;

в) проведення робіт з дослідно-промислової розробки родовищ бурштину, інших корисних копалин загальнодержавного значення та/або видобування бурштину, інших корисних копалин загальнодержавного значення.

3. При здійсненні діяльності, пов'язаної з порушенням поверхневого шару ґрунту, власники земельних ділянок та землекористувачі повинні здійснювати зняття, складування, зберігання поверхневого шару ґрунту та нанесення його на ділянку, з якої він був знятий (рекультивация), або на іншу

земельну ділянку для підвищення її продуктивності та інших якостей» [20, ст. 168].

Для покращення загального стану ґрунтового покриву в Україні необхідно більше уваги приділити його моніторингу. До нормативів гранично допустимого забруднення ґрунтів належать гранично допустимі концентрації у ґрунтах хімічних речовин, залишкових кількостей пестицидів і агрохімікатів, важких металів [19, ст. 31]. На елементарних ділянках відбирають зразки ґрунту, в яких визначають: гама-фон Cs-137, Sr-90, вміст важких металів: Pb, Cu, Zn, Hg, Cd, Ni, а у деяких областях – Mo, Mn, Co. На орних землях визначають наявність в ґрунтах пестицидів (атразину, 2,4-Д, гексахлорану, байлетону, ГХЦГ, ділену та ін) [11]. В залежності від токсичності металу, що характеризується величиною гранично допустимої концентрації, фізико-хімічних властивостей, що визначають його вплив у ґрунті, в залежності від водопотоків та рослин, а також від співвідношення між регіональним фоном вмісту металу в ґрунті й надходженням цього металу у ґрунт внаслідок діяльності людини, здійснюється відбір металів для їх контролю у ґрунті.

Моніторинг ґрунтів на землях сільськогосподарського призначення проводить Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільськогосподарства України у взаємодії із Міністерством захисту довкілля та природних ресурсів України, науково-дослідними установами Національної академії аграрних наук України. В залежності від рівня застосування засобів захисту рослин та призначення господарства агрохімічні дослідження ґрунтів проводять в Україні один раз на 4-5 років обласні проектно-технологічні центри охорони родючості ґрунтів і якості продукції, за угодою із господарством. Охороною довкілля Сумщини опікуються Головне управління Державного геодезичного кадастру у Сумській області, Департамент агропромислового розвитку Сумської обласної державної адміністрації, Департамент захисту довкілля та енергетики Сумської обласної державної адміністрації, Державна екологічна інспекція Сумської області.

## РОЗДІЛ 2

### ОБ'ЄКТ, ПРЕДМЕТ ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктами досліджень став поверхневий шар орних ґрунтів ТОВ «Агротрейд» Роменського району Сумської області.

Предмет дослідження – валовий вміст важких металів в ґрунтах та культурних рослинах. Зразки ґрунту та рослинний матеріал відбирали на чотирьох дослідних полях після збору культур - кукурудзи, сої, соняшнику, гречки.

#### **2.1. Кліматичні та погодні умови району досліджень**

За фізико-географічним районуванням територія дослідження знаходиться в межах Лісостепової природної зони, Лівобережно-Дніпровської лісостепової провінції. Формування ландшафтів відбувається в умовах помірно-континентального клімату. Річна сума опадів становить 500—550 мм, коефіцієнт зволоження - 1,6 [24].

Напрямок пануючих вітрів за періодами року: навесні – південно-східний та західний, влітку – північно-західний та східний, восени – південно-західний, північно-західний, взимку – південно-східний та південно-західний [41].

За даними Українського гідрометеорологічного центру, середньорічна температура повітря 6 °С. Середня тривалість безморозного періоду становить 170 днів, найбільша – 210 днів, найменша – 110 днів. За багаторічними даними абсолютний максимум температури повітря досягав +38 °С, а абсолютний мінімум – 36 °С.

Середня тривалість вегетаційного періоду 193 дні. За вегетаційний період випадає середньому 370 мм опадів в при середній кількості днів з опадами 50. Дати перших та останніх заморозків: у весняний період – 27

квітня (в окремі роки 2 березня), восени – 7 листопада (в окремі роки – 11 листопада). Перші останні заморозки спостерігаються на початку другої декади вересня. Середня кількість опадів за літній період складає 200-230 мм, що відповідає 35 – 40% річній кількості.

Середня температура повітря та розподіл опадів по місяцях наведено у таблиці 2.1. З таблиці видно, що найбільша кількість опадів випадає в літньо-осінній період, який співпадає з максимальним ростом сільськогосподарських культур.

В цілому клімат характеризується значною кількістю опадів, що випадають в період вегетації рослин, високою відносною вологістю повітря, достатньою кількістю днів з температурою вище +15 °С і є сприятливим для вирощування сільськогосподарських культур.

Таблиця 2.1

Середня температура повітря та розподіл опадів по місяцях

Місяць	Середні багаторічні		Середні у рік спостережень	
	температура, °С	кількість опадів, мм	температура, °С	кількість опадів, мм
Січень	- 7,8	28	-5,5	33,4
Лютий	-7,6	23	-5,1	32,4
Березень	-2,6	26	+1	43,3
Квітень	+6,3	40	+9,3	46,6
Травень	+14,6	43	+15,8	62,6
Червень	+17,4	67	+19,7	68,8
Липень	+19,6	68	+20,3	61,0
Серпень	+18,3	53	+20,4	32,9
Вересень	+13,0	45	+15,2	29,5
Жовтень	+6,6	42	+8,7	30,1
Листопад	-0,1	33	+2,5	33,6
Грудень	-5,5	73	-3,7	49,8
В середньому	+6,0	541	+8,2	523,1

Ґрунти господарства, в якому проводилися дослідження, чорноземи типові малогумусові на глинах та лесовидних суглинках. Реакція ґрунтового

розчину нейтральна рН 7,0. Загальний вміст гумусу коливається в межах 3,9-4,4%. Грунтові води залягають на глибині 17-22 м.

## **2.2. Характеристика господарства**

Виробничі посівні площі ТОВ «Агротрейд» знаходяться на території Сумської, Чернігівської, Харківської, Полтавської областей. Поля, на яких проводили дослідження, знаходиться на території Роменського району Сумської області.

На сьогодні «Агротрейд» представляє собою агропромисловий холдинг з власним виробництвом, потужностями зі зберігання та переробки зерна.

Основні виробничі напрямки господарства – насінництво, рослинництво, елеваторний напрямок, а також торгівля.

Рослинництво спеціалізується на виробництві кукурудзи, озимих зернових, ярих зернових культур, зернобобових, соняшника. Починаючи з 2008 року, компанія «Агротрейд» виробляє посівний матеріал соняшника, кукурудзи, ячменю, гречки, сої та озимої пшениці. Спочатку основним завданням напрямку було забезпечення власних потреб холдингу в якісному і недорогому посівному матеріалі. У 2010 році насінництво виділено в окремий напрямок і розпочато торгівлю насінням. У 2014 році «Агротрейд» побудувала власний насінневий завод на базі насінневого господарства «Колос» в Харківській області. Завод оснащено сучасним датським обладнанням, що дозволяє компанії самостійно допрацьовувати насіння зернових, соняшнику і дрібнонасінних культур. У 2018 році холдинг «Агротрейд» вивела на ринок власну торгову марку Agroseeds. Асортимент включає гібриди соняшнику, кукурудзи, ячменю, озимої пшениці від оригінаторів з Франції, Австрії та України.

Структура землекористування агрохолдингу станом на 2023 р. наведена у таблиці 2.2

Таблиця 2.2.

## Площа орендованого земельного банку

Область	Площа, тис. га
Загальна земельна площа	70,0
Харківська	10,7
Полтавська	4,0
Сумська	25,9
Чернігівська	30,0

Елеваторний напрямок. ТОВ «Агротрейд» володіє мережею з дев'яти елеваторів загальною потужністю 570 тисяч тонн одночасного зберігання. Всі елеватори холдингу розташовані в зернових регіонах України та надають весь комплекс послуг, пов'язаних із зберіганням і продажем зернових, олійних, бобових культур і кукурудзи.

Таблиця 2.3.

## Структура потужності елеваторів

Елеватори	Потужність зберігання, тис. т.
Зачепилівський елеватор	42,5
Коломацький елеватор	40,0
СТОВ «Доч-Хліб»	24,9
ТОВ «Чернігівський елеватор»	48,0
Ворожбянський елеватор	44,8
Гадяцький елеватор	169,3
Близнюківський елеватор	42,5

Елеватори оснащені сучасним обладнанням та лабораторіями для визначення якості зерна та забезпечення його збереження, мають у своєму розпорядженні потужності для відвантаження залізничним та автомобільним транспортом. Чернігівський, Ворожбянський та Гадяцький елеватори й

елеватор Доч-Хліб з 2019 року мають статус маршрутних. Холдинг може відвантажувати з них до 15 маршрутів щомісячно.

Торгівля. Торговий підрозділ має більш ніж 20-річний досвід в торгівлі зерном і здатен продавати більше мільйона тонн продукції на рік. Холдинг торгує зерном як власного виробництва, так і закупленим. Сучасний напрямок – розвиток торгівлі органічною продукцією.

При закупівлі зерна використовується мережа власних елеваторів, а також елеватори в Миколаївському та Одеському портах. На окремих підприємствах холдингу існує можливість відвантажувати продукцію контейнерами. Логістичний відділ компанії забезпечує перевезення продукції за допомогою автомобільного, залізничного та морського транспорту. Основними регіонами продажів є Європа, Близький Схід, Південно-Східна Азія і Китай.

## РОЗДІЛ 3

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Відбір ґрунтових проб проводили згідно із методиками, рекомендованими стандартами ISO "Якість ґрунту. Відбирання проб" [20]. Поверхневий шар ґрунтів (0-4 см) на досліджуваній території відбирали класичним методом конверта. Пробовідбір проводили в декількох місцях кожного з дослідних полів. У кожній досліджуваній точці відбирали близько 100-200 г ґрунту, об'єднану пробу готували із точкових проб, відповідно до методики, рекомендованої нормативними документами [9, 11, 25].

Ґрунт висушували при температурі +20°C, видаляли залишки рослин, подрібнювали вручну в ступці товкачиком. Розтертий ґрунт просіювали через сито з отворами діаметром 0,5 мм. Просіяний ґрунт розподіляли по рівній поверхні шаром товщиною не більше 1 см. Із подрібненої і просіяної проби методом квартування відбирали аналітичні проби масою 20 г, для цього подрібнений зразок після змішування розподіляли на папері у вигляді квадрата і поділяли діагоналями (шпателем) на чотири рівні частини. Відібрану лабораторну пробу ґрунту зберігали у пакетиках із поліетилену.

Рослинні зразки відбирали з різних ділянок полів. Для рентгенофлюорисцентного аналізу використовували листки та стебла сільськогосподарських культур – пшениці озимої, кукурудзи, сої, соняшнику.

Для проведення безпосереднього аналізу вмісту окремих хімічних речовин в дослідженні було використано рентгенофлюорисцентний метод, який надає інформацію про загальний хімічний склад речовини, яку досліджують і валовий вміст хімічних елементів у ґрунтовому чи рослинному зразку. Зразки ґрунту сканували приладом Thermo scientific Niton XL2. Оцінювали вміст важких металів в ґрунтах, користуючись даними Гігієнічного регламенту допустимого вмісту хімічних речовин в ґрунтах,

який прописаний в Законі України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» [19].

Під час обробки результатів дослідження користувалися статистичними методами. Для оформлення роботи за основу брали методичні рекомендації щодо підготовки і написання бакалаврської кваліфікаційної роботи, розроблені кафедрою екології та ботаніки СНАУ та інші літературні джерела [26].

Для дослідження відбирали зразки з поверхневого шару орного ґрунту в березні 2023 р. після культур: соя, кукурудза, соняшник, гречка.

## РОЗДІЛ 4

### АНАЛІЗ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОРНИХ ГРУНТАХ ГОСПОДАРСТВА (РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ)

Формування оціночної шкали вмісту важких металів в орних грунтах ТОВ «Агротрейд» здійснювали за даними «Гігієнічних регламентів допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті» (дод. А), ДСТУ 4768:2007-27. «Охорона ґрунтів. Екологічне нормування антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив» [10] а також результатами досліджень А.П. Виноградова щодо кларків важких металів в земній корі і Фатеєва А.І. щодо фонових концентрацій важких металів в грунтах України [4, 40, 44].

Відповідно до зазначених нормативів проводився аналіз вмісту хімічних елементів в поверхневому шарі орних ґрунтів дослідного господарства.

#### **4.1. Аналіз вмісту барію (Ba) в орних грунтах та культурних рослинах**

Барій (Ba) – хімічний елемент з атомним номером 56, відносною атомною вагою 137,3. Представляє собою м'який, в'язкий, ковкий лужноземельний метал сріблясто-білого кольору з щільністю 3,78 г/см<sup>3</sup>. Температура плавлення барію 727 °С. Барій має високу хімічну активність. Домішка ртуті робить метал крихким. Барій на повітрі швидко окислюється у сполуках виявляє ступінь окислення +2., утворює на поверхні суміш оксиду барію і нітриту барію втрачаючи при цьому блиск і стаючи спочатку темно-жовтим, а потім сірим [3]. При незначному нагріванні на повітрі спалахує. Енергійно реагує з водою, утворюючи гідроксид барію.

Вміст Ba в земній корі складає 0,05% за масою; у морській воді середній вміст барію становить 0,02 мг/л. Барій активний, він входить до підгрупи лужноземельних металів і в мінералах зв'язаний досить міцно.

Основні мінерали, що містять в своєму складі Ва: барит або сульфат барію та вітрит – карбонат барію. Рідкісні мінерали барію: цельзіан або барієвий польовий шпат – за складом це алюмосилікат барію, також гіалофан представляє собою суміш алюмосилікату барію і калію, нітрат барію. Згідно техніки безпеки, зберігають металевий барій у гасі або під шаром парафіну у зв'язку з його хімічною активністю.

Барій – це такий метал, який знаходить широке застосування в дуже різних галузях промисловості через свої унікальні властивості а також завдяки здатності вступати в реакції з багатьма різними речовинами. Його використовують як речовину, що швидко поглинає газу, у вакуумній електроніці. Додають барій до рідкометалевих теплоносіїв зі сплавів літію калію, рубідію, та цезію, що дозволяє значно знизити агресивність цих металів в трубах.

Титанат барію застосовується як діелектричний матеріал під час виготовлення керамічних конденсаторів та п'єзоелектричних мікрофонів. Фторид барію використовується для вирощування монокристалів в оптиці, які потім використовуються для виробництва лінз та призм. Пероксид барію знаходить застосування у піротехніці та як окислювальний агент. Нітрат та хлорат барію також використовуються у піротехнічній галузі для створення зеленого полум'я. Оксид барію застосовується у виробництві спеціального скла, яке використовується для покриття уранових стрижнів на атомних електростанціях. Фторид барію є компонентом електроліту в акумуляторних батареях. Отже, сполуки барію мають широкий спектр застосування у різних галузях промисловості.

Біологічна роль елемента барію не виявлена У мікрокількостях барій знаходиться у всіх органах і тканинах людини, але найвища концентрація даного мікроелемента припадає на головний мозок, селезінку, м'язи. Близько 90% всього мікроелемента міститься у зубах і кістках. Барій відносять до токсичних мікроелементів II класу (речовини високонебезпечні) [22]. Якщо відбудеться контакт металевого барію з шкіряними покривами або слизовими

оболонками швидко веде до хімічних опіків. Внаслідок високої розчинності у воді із солей барію найбільш небезпечний хлорид барію [14], а також небезпечні іодид, нітрит, сульфід, гіпохлорит, бромід, бромат, перманганат, хлорат. Великі кількості оксиду барію, пероксиду барію та їдкого бариту, які потрапляють на шкіру, можуть також викликати хімічні опіки. Щодо солей барію, вони легко розчиняються у воді, у кишечнику тварин чи людини, швидко всмоктуються. Смерть від паралічу серця може наступити вже за кілька годин. При прийомі внутрішньо розчинних солей барію в кількості 0,2-0,5 г настає тяжке отруєння. Смертельна доза для людини становить 0,8-0,9 г.

Токсичний хлорид барію використовують в сільському господарстві в якості інсектицида. Добова гранично-допустима концентрація потрапляння барію в організм людини знаходиться в межах 0,3-1 міліграм. Барій та його деякі сполуки можуть бути токсичними при перевищенні ГДК у їжі та воді. Гранично допустима концентрація барію в питній воді 0,7 мг/дм<sup>3</sup>. Середня смертельна доза хлориду барію (ЛД50) для щурів при оральному введенні становить 50-149,2 мг/кг.



Рис. 4.1. Валовий вміст барію (Ba) у поверхневому шарі орного ґрунту та вегетативних частинах культурних рослин

Кларковий вміст барію в земній корі - 650 мг/кг, ГДК цього елемента в чорноземних ґрунтах становить 120 мг/кг. Аналіз поверхневого шару орних ґрунтів господарства показав, що вміст Ва на всіх полях перевищував допустиму концентрацію в декілька разів. В тканинах культурних рослинах вміст барію коливався в межах 78,1–112,1 мг/кг (рис. 4.1).

Дані досліджень показують, що в культурних рослинах акумулюється барію від 18,7 до 41,4 % від валового вмісту в ґрунті. Найменше у відсотковому співвідношенні Ва накопичує соняшник, найбільше – гречка.

#### **4.2. Аналіз вмісту кадмію (Cd) в орних ґрунтах та культурних рослинах**

Кадмій - хімічний елемент побічної групи II, п'ятого періоду періодичної системи елементів, з атомним номером 48 та атомною масою 112. Природний кадмій складається із суміші 8 стабільних ізотопів з масовими числами від 106 до 116. Єдиний стабільний ступінь окиснення 2+.

Кадмій це сріблясто-білий ковкий метал з щільністю 8,65, температурою плавлення 321,1 0С, температурою кипіння 766,5 0С. Кадмій належить до числа рідкісних розсіяних елементів, кларк Cd у земній корі становить 0,13 мг/кг. Для кадмію характерна міграція в гарячих підземних джерелах і концентрація в гідротермальних відкладеннях. Багаті на кадмій вулканічні породи та осадові – пісковики, глини, вапняки. Середній вміст кадмію у ґрунтах – 0,06 мг/кг [3].

Власних покладів мінерали кадмію не утворюють, але вони містяться у вигляді домішок у свинцевих, цинкових, мідних, та поліметалічних рудах, з яких його видобувають

У вигляді домішок метал кадмій може міститися у органічному паливі, рудних відвалах та навіть у фосфатних добривах. Кадмій широко використовується як гальванічне покриття для забезпечення блиску та корозійної стійкості деталям із заліза чи цинку. Крім того, кадмій

застосовується як барвник при виробництві кераміки та облицювальних матеріалів, а також як стабілізатор у виробництві пластмас. Кадмій також використовується як пігмент при фарбуванні транспортних засобів. Близько 20% кадмію, що видобувається, використовується у виготовленні батарей і акумуляторів в якості електродів. Сульфід кадмію застосовують для виробництва плівкових сонячних батарей, бо кадмій швидко захоплює нейтрони [3]. В атомній енергетиці кадмій служить для виготовлення регулюючих стрижнів для атомних реакторів як захист від нейтронів. Фтороборат кадмію використовують як флюс для пайки алюмінію та інших металів.

В повітря Cd потрапляє внаслідок спалювання вугілля, яке містить кадмій у вигляді домішок. Значна частина металу осідає на поверхні ґрунту. Також збільшенню кадмію в ґрунті сприяє використання мінеральних добрив на основі фосфоритів і апатитів, бо вони містять незначні домішки кадмію. В тютюновому димі також присутній кадмій [13].

Метал має надзвичайно високу токсичність, він швидко переміщується в ґрунтах, накопичується у грибах, і сільськогосподарських рослинах, особливо в таких як тютюн, зернові, овочеві і бобові культури [22]. Гідробіонти також інтенсивно акумулюють кадмій.

На кислих ґрунтах з рН менше 6,5 кадмій у рослини надходить більш інтенсивно, значно менше відбувається цей процес на нейтральних і лужних, отже для зниження надходження важкого металу в тканини рослин вапнування відіграє велику роль. Фітотоксичність кадмію проявляється у гальмуванні фіксації вуглекислого газу в процесі фотосинтезу, порушенні транспірації, у зміні проникності клітинних мембран, це обумовлене близькістю за хімічними властивостями до цинку. Кадмій може заміщувати цинк у біохімічних процесах, і через це порушувати роботу ферментів, що в свою чергу призводить організм до цинкової недостатності. У зонах з підвищеним вмістом кадмію у ґрунтах спостерігається двадцятикратне

збільшення його концентрації в тканинах рослин порівняно з рослинами, які ростуть на незабруднених територіях.

При скиданні промислових стічних вод у водойми вміст кадмію в воді збільшується в кілька десятків разів. Після цього метал осідає і накопичується в донних відкладах. По ланцюгу ґрунт – вода – рослина – тварина сполуки кадмію потрапляють в організм людини.

Кадмій віднесений до першого класу небезпечності. До організму людини Cd потрапляє через органи дихання та шкіру та орально, швидко проникає в кров і мігрує. Має значну біохімічну активність, характеризується токсичною дією і здатен накопичуватись в органах і тканинах, перш за все, - в нирках, печінці, трубчастих кістках, селезінці та підшлунковій залозі.

Кадмій руйнує еритроцити, знижує рівень гемоглобіну, порушує процес перенесення кисню кров'ю і призводить до гіпоксії. Також кадмій пригнічує гормональну функцію організму, що призводить до зниження імунітету. Як і інші важкі метали, кадмій знижує моторну та секреторну функцію шлунково-кишкового тракту, негативно впливає на засвоєння поживних речовин і таких важливих елементів як кальцій, цинк, залізо. Він має мутагенні та канцерогенні властивості, негативно впливає на спадковість. Для людини допустима доза кадмію становить 70 мг на добу для дорослого, а для дітей повністю виключається присутність важкого металу у питній воді та їжі [32].

Кадмій при потраплянні в організм людини разом з продукцією рослинництва, заміщує кальцій в кістковій тканині, що може призвести до остеопорозу та інших порушень опорно-рухової системи [14].

У 2016 році було прийнято Технічний регламент Євразійського економічного союзу, відомий як «Про обмеження використання небезпечних речовин у виробі електротехніки та радіоелектроніки» (ТР ЄАЕС 037/2016). Відповідно до цього правового акту, вміст кадмію у виробі електротехніки та радіоелектроніки не може перевищувати 0,01% за масою. Аналогічна директива, яка діє в межах Європейського Союзу, відома як RoHS.

Аналіз зразків ґрунту з досліджуваних полів рентгенофлуоресцентним методом показав, що на полях пшениці озимої, кукурудзи, сої та соняшника валовий вміст кадмію приблизно однаковий на всіх полях – в межах 11,2-11,8 мг/кг ґрунту, що в середньому в 3,8 разів вище гранично-допустимої концентрації, яка затверджена в Гігієнічних регламентах допустимого вмісту хімічних речовин в ґрунті від 14.07.2020 р № 1595 (дод. А).

Згідно Регламенту Комісії ЄС щодо максимально допустимих рівнів забруднюючих речовин в харчових продуктах від 19.12.2006 р. № 1881 вміст Cd в харчових злаках та листкових овочах має бути не більшим ніж 0,2 мг/кг.

Валовий вміст кадмію в орних ґрунтах господарства майже не відрізнявся на різних полях і в середньому становив 6,15 мг/кг, що вдвічі перевищує допустиму концентрацію.

Акумулятивна здатність культурних рослин по відношенню до кадмію виявилася різною. Сільськогосподарські культури всі накопичують кадмій в тканинах листків та стебел, але найбільш високий вміст елемента виявився в листках кукурудзи - 2,1 мг/кг, в стеблах соняшнику валовий вміст кадмію був найменшим – 0,6 мг/кг (рис. 4.2)

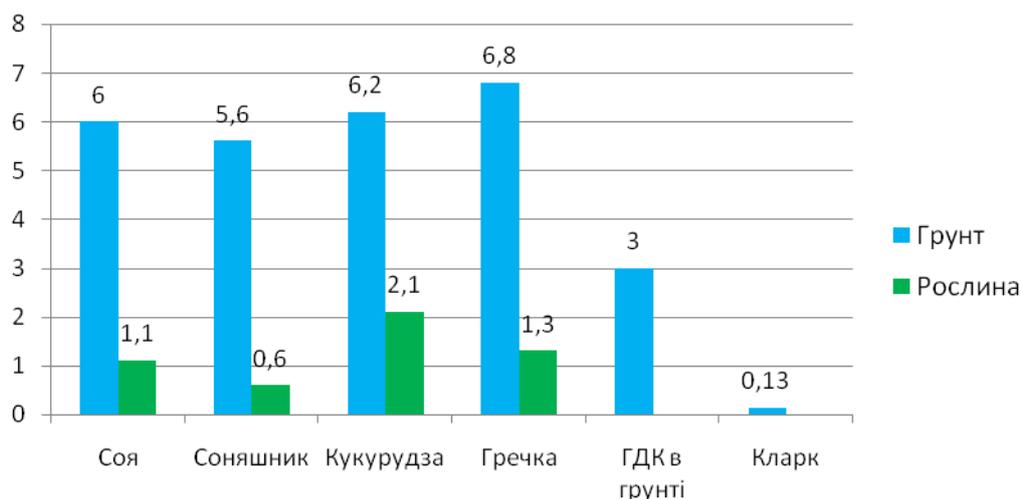


Рис. 4.2. Валовий вміст кадмію (Cd) у поверхневому шарі орного ґрунту та вегетативних частинах культурних рослин

Порівняння здатності культур акумулювати кадмій в процентному співвідношенні виявило, що стебла сої накопичують 18,3% елементу від валової кількості в ґрунті, стебла соняшника – 10,7%, листки кукурудзи – 33,8%, стебла гречки – 19,1%.

Кадмій потрапляє в орні ґрунти разом із фосфорними добривами, оскільки природно міститься в геологічних покладах фосфоритів і апатитів – мінералів, що використовуються для виробництва добрив. За даними деяких вчених [43], в залежності від сировини, різні форми суперфосфату містять від 1 до 170 мг/кг кадмію: у суперфосфаті з фосфоритів Австралії його кількість максимальна – 150-170 мг/кг, у суперфосфатах з апатитів, що видобуваються на Кольському півострові – 2,2 мг/кг. Значно забруднений домішками кадмію діаміфос із Сполучених Штатів – 74-153 мг/кг.

Господарствам, які заявляють себе як адаптивні екологічно-безпечні виробництва, перед використанням фосфатних добрив варто проводити їх комплексний хімічний аналіз на наявність важких металів.

#### **4.3. Аналіз вмісту стронцію (Sr) в орних ґрунтах та культурних рослинах**

Стронцій - м'який, ковкий, пластичний лужноземельний метал сріблясто-білого кольору з відносною атомною вагою 87,6 а.о.м. Має високу хімічну активність, на повітрі швидко реагує з вологою і киснем. У вільній формі стронцій не зустрічається через високу хімічну активність. Метал входить до складу близько 40 мінералів. З них найбільш важливий целестин  $\text{SrSO}_4$  (51,2% Sr) і стронціаніт  $\text{SrCO}_3$  (64,4% Sr). У природі стронцій зустрічається як суміш чотирьох стабільних ізотопів  $^{84}\text{Sr}$ ,  $^{86}\text{Sr}$ ,  $^{87}\text{Sr}$ ,  $^{88}\text{Sr}$ . Стронцій у своїх сполуках завжди виявляє ступінь окислення +2. За властивостями стронцій близький до кальцію та барію, займає проміжне положення між ними. При нагріванні на повітрі спалахує, порошкоподібний стронцій на повітрі схильний до самозаймання. Енергійно реагує з

неметалами - фосфором, сіркою, галогенами. При високих температурах взаємодіє з водородом і азотом [12].

Леткі солі стронцію надають полум'ю яскраво-червоного кольору, вони використовуються в піротехніці та у виробництві факелів. Уранат стронцію відіграє важливу роль при отриманні водню термохімічним способом в атомно-водневій енергетиці. Нітрат стронцію використовують в якості окислювача зарядної частини в ракетах та бомбах.

Стронцій є аналогом кальцію, тому він найефективніше відкладається у кістковій тканині. У м'яких тканинах затримується менше 1% елемента. Надлишок стронцію в навколишньому середовищі викликає такі хвороби як рахіт, остеопороз та хондродистрофію. Радіоактивний стронцій-90 практично завжди негативно впливає на організм людини. Відкладаючись у кістках, він опромінює кісткову тканину та кістковий мозок, що збільшує ризик захворювання на злоякісні пухлини кісток, а при надходженні великої кількості може викликати променеву хворобу.

Фоновий вміст стронцію для чорноземів типових легкосуглинкових за А.І. Фатєєвим коливаються в межах 60-100 мг/кг [44]. Кларк стронцію в земній корі становить 340 мг/кг. Дослідження зразків поверхневого шару орного ґрунту не виявили перевищення вмісту стронцію від фонові концентрації. Найменший вміст Sr спостерігався на полі кукурудзи, найбільший – на полі гречки (рис.4.3).

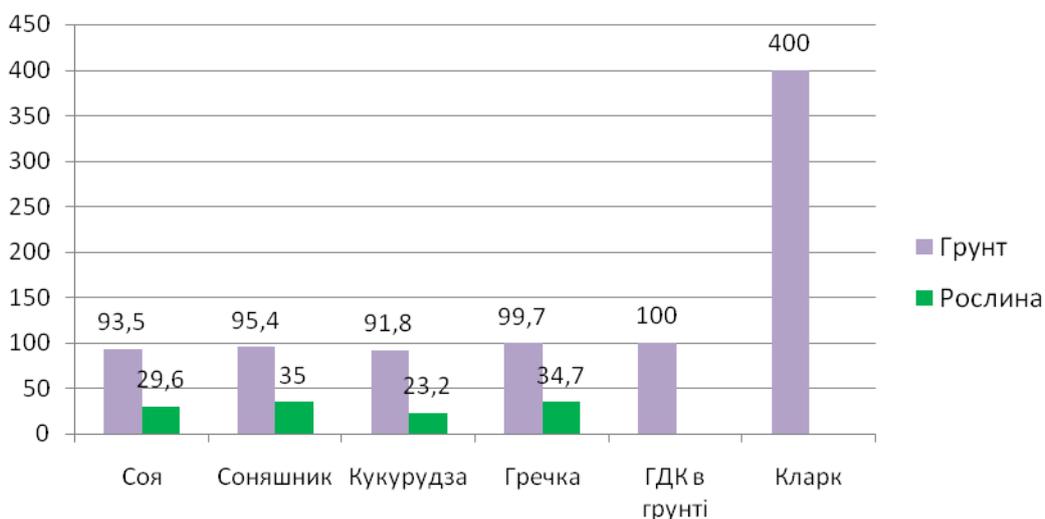


Рис. 4.3. Валовий вміст стронцію (Sr) у поверхневому шарі орного ґрунту та вегетативних частинах культурних рослин

Акумулятивна здатність культур щодо стронцію майже не відрізнялася. Виявлено, що у відсотковому співвідношенні стебла сої накопичують 31,6% елементу від валової кількості в ґрунті, стебла соняшника – 36,7%, листки кукурудзи - 33,8%, стебла гречки – 34,8%.

#### **4.4. Аналіз вмісту арсену (As) в орних ґрунтах та культурних рослинах**

Арсен, відомий також за традиційною назвою як миш'як (As), є напівметалічним хімічним елементом з атомним номером 33 та атомною масою 74,9. У звичайних умовах він представляє собою сірі крихкі кристали. Реагує з киснем, утворюючи плівку оксиду  $As_2O_3$ . Арсен може сплавлятися з деякими металами, утворюючи арсеніди. Кристалічна гратка сірого арсену має ромбоєдричну форму і шарувату структуру. Цей елемент є діамагнітним.

При конденсації парів арсена на холодній поверхні формується жовтий арсен, що характеризується прозорими, м'якими кристалами, схожими на білий фосфор. Під впливом яскравого світла чи слабкого нагрівання жовтий арсен перетворюється на сірий. Крім того, існують склоподібно-аморфні модифікації арсену: чорний та бурий арсен, які при нагріванні до температури вище  $270^{\circ}C$  перетворюються на сірий арсен. З'єднання арсену дуже отруйні і можуть негативно впливати на організм людини [14].

У природі існує значна кількість різноманітних мінералів, що містять арсен. Цей хімічний елемент є більш ніж у 120 різних мінералах, серед яких найбільш поширені реальгар, аурипігмент і арсенопірит. Зазвичай основні поклади арсену можна знайти у гідротермальних жилах, де він супроводжується мінералами, що містять нікель, кобальт, срібло та свинець.

Слід зазначити, що арсен відноситься до рідкісних елементів. У літосфері його масова концентрація становить 1,7-10-4% [44].

Арсен належить до найсильніших і найнебезпечніших отрут. У присутності кисню елемент швидко утворює отруйний арсеновий ангідрид. При отруєнні через пероральне споживання висока концентрація арсену фіксується в органах травлення, таких як шлунок, кишечник, печінка, нирки та підшлункова залоза. У випадках хронічного отруєння арсен поступово накопичується у шкірі, волоссі та нігтях. Внаслідок інгібування різних ферментів порушується обмін речовин. Смертельна доза при пероральному споживанні коливається від 0,05 до 0,2 г. Джерелами арсену, що накопичується в ґрунті, можуть бути викиди підприємств металургійної, скляної, радіоелектронної промисловості, а також автомобільного транспорту [33].

При хронічному отруєнні миш'яком спостерігається подразнення слизових очей, верхніх дихальних шляхів, виникає постійне почуття нездужання, кашель кон'юнктивіт, може виникнути кровохаркання. У серйозніших випадках розвиваються ознаки ураження центральної нервової системи. З'єднання миш'яку також здатні дратувати шкіру. Тривалий вплив миш'яковмісних речовин на організм людини може спричинити розвиток злоякісних пухлин і мутацій ДНК. Тому необхідно уникати контакту з джерелами миш'яку і дотримуватися запобіжних заходів при роботі з ним для запобігання отруєнню і серйозних наслідків для здоров'я [32].

Гранично допустимий валовий вміст арсену у ґрунті становить 2,0 мг/кг, В процесі рентгенофлюоресцентного аналізу поверхневого шару ґрунтів господарства виявлено перевищення ГДК по культурах – на полі сої в 3,9 разів, соняшника – 3,4 рази, кукурудзи та гречки - 3,6 разів (рис. 4.4).

У зелених частинах культурних рослин виявлено різні рівні вмісту арсену: у стеблах сої наприкінці вегетаційного періоду вміст елемента становив 1,1 мг/кг, що становить 13,9% від валового вмісту в ґрунті, у

стеблах соняшника - 0,6 мг/кг, або 8,8%, в листках кукурудзи - 1,5 мг/кг, або 20,8%, в стеблах гречки - 0,8 мг/кг, або 10,9% від вмісту в ґрунті.



Рис. 4.4. Валовий вміст арсену (As) у поверхневому шарі орного ґрунту та вегетативних частинах культурних рослин

Накопичення сполук арсену в орних ґрунтах може бути пов'язане із застосуванням родентицидів гострої дії на основі арсенітів та арсенатів кальцію чи іншими антропогенними впливами.

#### 4.5. Порівняння рівня забруднення орних ґрунтів господарства важкими металами

За ступенем забруднення ґрунти поділяють на сильнозабруднені, середньозабруднені, слабкозабруднені. До сильнозабруднених належать ґрунти, в яких вміст важких металів у декілька разів перевищує ГДК і які зазнали істотних змін фізико-хімічних та біологічних характеристик. Вміст важких металів в них перевищує встановлені норми. До середньо забруднених належать ґрунти, у яких установлено перевищення ГДК без видимих змін властивостей, до слабкозабруднених – вміст важких металів у яких не перевищує граничних концентрацій, але вищий від природного фону. ГДК – не завжди постійна величина, яка дуже відрізняється для різних

полютантів за їх негативним впливом на живі організми та за класами шкідливості.

Керуючись гігієнічним принципом оцінки забруднення ґрунтів, можна вважати, що вміст важких металів у ґрунтах господарства перебуває в межах помірного забруднення.

Порівняльний аналіз валового вмісту важких металів в поверхневому шарі орних ґрунтів господарства показав, що вміст різних металів на полях не однаковий. Такі важкі метали як Ni, Cu, Zn, Pb, W, Sr, Mn знаходилися в межах гранично-допустимих концентрацій на всіх дослідних полях. А вміст Ba, As, Cd перевищував ГДК на кожному полі. Дослідження показали, що вміст важких металів на полях господарства не однаковий (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

Валовий вміст Ba, As, Sr, Cd в орних ґрунтах  
ТОВ «Агротрейд» за результатами X-ray аналізу, 2024

Дослідні поля	Вміст елементів, мг/кг							
	Ba	ζ Ba	As	ζ As	Sr	ζ Sr	Cd	ζ Cd
Соняшник	416,7	50,6	6,8	2,7	95,4	4,4	25,1	5,6
Соя	219,8	49,1	7,9	2,5	93,5	4,3	26,0	6,2
Кукурудза	387,1	50,9	7,2	2,1	91,8	4,3	26,8	5,5
Гречка	162,5	48,2	7,3	1,9	99,7	2,7	26,2	5,0
Клас небезпеки	III		I		III		I	
ГДК валових форм в чорноземах [40].	120,0		2,0		100,0		3,0	
Кларк в земній корі [4].	650,0		1,7		400,0		0,13	

Вміст барію (Ba) в ґрунті під посівами соняшника становив 416,7 мг/кг, що перевищує ГДК в 3,5 рази; в посівах сої - 219,8 мг/кг, що вище за

граничну концентрацію в 1,8 разів; в посівах кукурудзи - 387,1 мг/кг, що в 3,2 рази вище ГДК; в посівах гречки - 162,5 мг/кг, що в 1,4 рази вище за ГДК.

Допустимий вміст миш'яку (As) в чорноземах становить 2,0 мг/кг. Вважається, що в орні ґрунти арсен потрапляє разом з аміачною селітрою, оскільки є ад'ювантом цього добрива. Вміст арсену на полі соняшника становив 6,8 мг/кг, сої – 7,9 мг/кг, кукурудзи – 7,8 мг/кг, гречки – 7,3 мг/кг. В середньому по всіх полях вміст арсену більший за ГДК в 3,6 рази. Арсеніти на орних ґрунтах можуть використовувати в якості інсектицидів та родентицидів. Окрім того, арсен міститься в таких ґрунтових мінералах як міметезит, олівеніт, анабергіт, скородит, еритрин [4].

Згідно Гігієнічного регламенту допустимого вмісту хімічних речовин в ґрунті, ГДК стронцію (Sr) складає 100 мг/кг. Рентгенофлюорисцентний аналіз показав, що на всіх досліджуваних полях вміст цього елемента в межах норми.

ГДК валових форм кадмію (Cd) в чорноземних ґрунтах сільськогосподарського користування складає 3 мг/кг. Проведений аналіз показав перевищення допустимого вмісту на всіх полях в середньому у 8,5 разів. Потраплення кадмію в орні ґрунти пов'язують із застосуванням фосфатних добрив з високим вмістом кадмію.

Порівняльний аналіз здатності вегетативних частин сільськогосподарських культур акумулювати важкі метали показав, що листки рослин більш інтенсивно накопичують метали, ніж стебла. В листках акумулюється Ba на 29,3%, Cd – на 52,3%, As – на 44,7% більше, ніж в стеблах. Виключення становить Sr – цей елемент інтенсивніше накопичується в стеблах, ніж в листках на 30%.

Для поліпшення екологічного стану орного шару ґрунтів господарства необхідно проводити заходи фітореємедіації [5, 36, 39].

## ВИСНОВКИ

Аналіз вмісту важких металів в орному шарі ґрунтів ТОВ «Агротрейд» рентгенофлюорисцентним методом дали змогу зробити наступні висновки:

1. Порівняльний аналіз валового вмісту важких металів у поверхневому шарі орних ґрунтів господарства показавши, що вміст різних металів на полях не однаковий. Такі важкі метали як Нікель, Купрум, Цинк, Свинець, Вольфрам, Марганець і Стронцій знаходяться в межах ГДК.
2. Вміст Барію в посівах соняшника становить 416,7 мг/кг, що перевищує ГДК у 3,5 разів; у посівах сої - 219,8 мг/кг, що вище за граничну концентрацію у 1,8 раза; у посівах кукурудзи - 387,1 мг/кг, що у 3,2 рази вище за ГДК; у посівах гречки – 162,5 мг/кг, що у 1,3 рази перевищує норму. В листках та стеблах культурних рослинах акумулюється барію від 18,7 до 41,4 % від валового вмісту в ґрунті.
3. Валовий вміст Кадмію в орних ґрунтах господарства майже не відрізнявся на різних полях і в середньому становив 6,15 мг/кг, що вдвічі перевищує допустиму концентрацію. Порівняння здатності культур акумулювати кадмій в процентному співвідношенні виявило, що стебла сої накопичують 18,3% елементу від валової кількості в ґрунті, стебла соняшника – 10,7%, листки кукурудзи - 33,8%, стебла гречки – 19,1%.
4. Дослідження зразків поверхнього шару орного ґрунту не виявили перевищення вмісту Стронцію від фоновій концентрації 100 мг/кг. Найменший вміст Sr спостерігався на полі кукурудзи, найбільший – на полі гречки. Здатність акумулювати стронцій в різних культурах майже не відрізнялася: стебла сої накопичують 31,6% елементу від

вальної кількості в ґрунті, стебла соняшника – 36,7%, листки кукурудзи - 33,8%, стебла гречки – 34,8%.

5. Допустимий вміст Арсену у чорноземах становить 2,0 мг/кг. Виявлено перевищення ГДК арсену в ґрунті на полі сої в 3,9 разів, соняшника – 3,4 рази, кукурудзи та гречки - 3,6 разів. У стеблах сої вміст елемента становив 1,1 мг/кг, або 13,9%, у стеблах соняшника - 0,6 мг/кг, або 8,8%, в листках кукурудзи - 1,5 мг/кг, або 20,8%, в стеблах гречки - 0,8 мг/кг, або 10,9% від вального вмісту в ґрунті.

## ПРОПОЗИЦІЇ

1. Для формування повного уявлення про екологічний стан ґрунтів господарства щодо забруднення важкими металами та токсичними речовинами провести більш детальне дослідження полів використовуючи хіміко-аналітичний та атомно-адсорбційний методи.
2. Для надання екологічної характеристики продукції рослинництва, яку вирощують в господарстві, необхідно дослідити міграцію та накопичення важких металів у різних органах та тканинах сільськогосподарських рослин та в готовій продукції.
3. На полях, де виявлено перевищення ГДК забруднювачів у поверхневому шарі ґрунту, провести заходи фітореємедіації.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бова О. В. Важкі метали в ґрунтах Лісостепу Сумської області. *Вісник СНАУ. Агронімія і біологія*. 2017. Вип. 2 (33). С. 70-73.
2. Гащишин В.Р., Пацула О.І., Терек О.І. (2014). Накопичення важких металів у рослинах *Brassica Napus* L. і *Helianthus annuus* L. під впливом солей цинку та регулятора росту трептолеми. *Фізіологія рослин і генетика*, Т 46, №4. С. 343 – 358.
3. Гурський Д. С. Єсипчук К. Ю., Калінін В. І. (2006). Металічні і неметалічні корисні копалини: в 2 т. Т. 1. Київ, 785 с.
4. Виноградов А. П. (1962). Середні змісти хімічних елементів у основних типах вивержених гірських порід земної кори. *Геохімія*. № 7. С. 555-571.
5. Гирля Л. М. (2011). Фіторемедіація – ефективний шлях зниження вмісту важких металів у ґрунтах. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили комплексу "Києво-Могилянська академія"*. Серія: Екологія. № 152 (140), 57-59.
6. Грелюк С.В., Одноріг З.С., Ковальчук О.З. Дослідження вмісту важких металів у ґрунтах Іваничівського району Волинської області. *Львівська політехніка*. № 841, 2016. С. 286–290.
7. Дегтярьов В.В., Чекар О.Ю. (2020). Зв'язок показників гумусового стану та рухомості важких металів у чорноземах. *Агрохімія і ґрунтознавство*. № 90. С. 4-12.
8. ДСТУ 4976:2008 Охорона навколишнього природного середовища. Комплекс стандартів у сфері охорони ґрунтів. Основні положення.
9. ДСТУ 3980-2000 Ґрунти. Фізико-хімія ґрунтів. Терміни та визначення.
10. ДСТУ 4768:2007-27. Охорона ґрунтів. Екологічне нормування антропогенного навантаження на ґрунтовий покрив. Основні положення
11. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: [http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id\\_d](http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_d)

12. Жовинський Е. Я., Кураєва І. В. (2002). Геохімія важких металів в ґрунтах України. К.: Наукова думка, 213 с
13. Журавльова І. М. Агрохімічні аспекти проявлення токсичності важких металів у системі ґрунт-рослина. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. сільськогоспод. наук : спец. 06.01.04. – Х.: ННЦ ІГА, 2015. – 24 с.
14. Крамаренко В.П. Токсикологічна хімія. К. Вища школа, 1995. 423 с.
15. Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища». Відомості Верховної Ради України (ВВР), 1991, № 41, ст. 546. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12/conv#Text>
16. Закон України «Про екологічний аудит». Відомості Верховної Ради України, 2004, № 45, ст. 500. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1862-15#Text>
17. Закон України «Про оцінку впливу на довкілля». Відомості Верховної Ради (ВВР), 2017, № 29, ст. 315. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2059-19#Text>.
18. Закон України «Про охорону земель» (від 19.06.2003 № 962-IV). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/962-15>.
19. Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення» (від 24.02.1994 № 4005-VII). [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/4004-12#Text>
20. Земельний Кодекс України. Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2002, № 3-4, ст. 27. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#Text>
21. Ільїнський А. В. (2003). Біологічна очистка ґрунтів, забруднених важкими металами. *Агрохімічний вісник*. № 5. 30–32 с.
22. Курляндський Б. А. Філов В.А. Загальна токсикологія К.: Медицина, 2002. 607 с.

23. Кураєва І. В., Рога І. В., Сорокіна Л. Ю., Голубцов О. Г. (2012). Оцінка вмісту важких металів та умов їх міграції в агроландшафтах тернопільської області. *Український географічний журнал*. № 3. С. 25-33.
24. Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М. & Шищенко, П.Г. (2003): Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *укр. Геогр. журн.*, 1: 16–20.
25. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення / за ред. С. М. Рижуча, М. В. Лісового, Д. М. Бенцаровського. К., 2003, 61 с.
26. Методичні рекомендації щодо підготовки і написання кваліфікаційних робіт для здобувачів вищої освіти за спеціальністю 101 «Екологія» освітнього ступеня Магістр / Скляр В.Г. та ін. Суми: СНАУ, 2022. 53 с.
27. Медведєв В. В. Моніторинг ґрунтів України. Харків: Антиква, 2002. 428 с.
28. Мислива Т. Свинець і кадмій у ґрунтах агроландшафтів Житомирського Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. Вип. 3 (25). 2013. С. 43-50.
29. Михайловська Т. М. (2008). Методи вилучення токсичних речовин із біологічних об'єктів і методи їх очищення та дослідження. Навчальний посібник. Чернівці: Технодрук, 117 с.
30. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє середовище. Частина 1. Нормування інгредієнтного забруднення: навчальний посібник / Петрук В. Г., Васильківський І. В., Іщенко В. А., Петрук Р. В., Турчик П. М. Вінниця : ВНТУ, 2013, 253 с.
31. Патица В. П., Тараріко О. Г. (2002). Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціоцентр, 296 с.
32. Петровська М.П. (2014). Екологічна токсикологія. Навчально-методичний посібник. Львів: ЛНУ ім. І.Франка, 112 с.

33. Півень М. В. (2008). Антропологічне перетворення ґрунтового покриву міських та приміських територій. *Сучасні проблеми екології та гідротехнологій*. № 5. С. 386-388.
34. Піндрус А. А. Ямборко Н. А. Іутинська Г. О. Лоханська В. Й. (2006). Біоремедіація ґрунтів, забруднених пестицидами. / І-й Всеукраїнський з'їзд екологів: міжнар. наук.-техн. конф. (4-7 жовтня, 2006): Вінниця, С. 134
35. Періодична доповідь матеріалів Х туру (2011–2015 рр.) агрохімічного обстеження земель сільськогосподарського призначення./ За ред. Яцука І. П. Київ: Інститут охорони ґрунтів України, 2020. 208 с.
36. Тагунова Є. О. (2011). Вплив дубового насадження на мікроелементний склад (на прикладі Mn) чорнозему звичайного. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*. Вип. 19, т. 1. С. 113-122.
37. Тихонова О.М., Кирильчук К.С., Шаповал В.П. (2020). Дослідження валового вмісту нікелю та арсену у смугах відведення автошляхів м. Суми. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. № 40 (2). С.62-70.
38. Христенко С. І., Шатохіна С. Ф., Мірошніченко М.М., Фатєєв А. І. (2002). Вплив поліелементного забруднення на формування і функціонування мікробного ценозу чорнозему опідзоленого. *Вісник Запорізького державного ун-ту. Біологічні науки*. № 2. С. 153-156.
39. Харченко О. В., Петренко Ю.М. (2016). Перспективи використання енергетичних культур як фітомеліорантів на малородючих, деградованих ґрунтах та за фігорекультивуації порушених земель. *Вісник СНАУ. Агрономія і біологія*. № 3 (31). С. 99-104.
40. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. / За ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пащенко. Харків, 2003. 71 с.
41. Фізико-географічне районування України / В. П. Попов, А. М. Маринич (ред.). К.: КГУ, 1968, 683 с.
42. Фонд правових та нормативно-технічних документів. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://docs.cntd.ru/document/420387089>

43. Турекельдієва Р.Т. Трансформація важких металів у лугово-сероземному ґрунті під озимою пшеницею. - Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня кандидата біол. наук: 03.00.27. Алмати: ТДУ, 2007. 23 с.
44. Хімічні елементи в земній корі – кларкове число. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8\\_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B0%D1%80%D0%BA%D0%B8_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%BD%D1%82%D1%96%D0%B2)
45. Phillips D.J.H. (1995). The Chemistries and Environmental Fates of Trace Metals and Organochlorines in Aquatic Ecosystems. *Marine Pollution Bulletin*. V.31. P. 193-200.
46. Hsu M. J., Selvaraj, G. (2006). Taiwan's industrial heavy metal pollution threatens terrestrial biota. *Environmental pollution*. V.143 (2). P. 327-334.

# ДОДАТКИ

## ГІГІЄНІЧНІ РЕГЛАМЕНТИ

### допустимого вмісту хімічних речовин у ґрунті

Відповідно до [статті 9](#) Закону України «Про забезпечення санітарного та епідемічного благополуччя населення», [підпункту 14](#) пункту 4 Положення про Міністерство охорони здоров'я України, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 25 березня 2015 року № 267 (у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 24 січня 2020 року № 90),

№ з/п	Найменування речовини	CAS №	ГДК, мг/кг з урахуванням фону (кларка)	Лімітуючий показник шкідливості
1	2	3	4	5
1	Бенз(а)пірен	50-32-8	0,02	загальносанітарний
2	Бензин	8032-32-4	0,1	повітряно-міграційний
3	Бензол	71-43-2	0,3	повітряно-міграційний
4	Ванадій	7440-62-2	150,0	загальносанітарний
5	Ванадій + марганець	7440-62-2 + 7439-96-5	100 + 1000	загальносанітарний
6	Диметилбензоли (1,2-диметилбензол; 1,3-диметилбензол; 1,4-диметилбензол)	1330-20-7	0,3	транслокаційний
7	Комплексні гранульовані добрива (КГД)		120,0	водно-міграційний
8	Комплексні рідкі добрива (КРД) <sup>-1</sup>		80,0	водно-міграційний
9	Марганець	7439-96-5	1500,0	загальносанітарний
10	Метаналь	50-00-0	7,0	повітряно-міграційний
11	Метилбензол	108-88-3	0,3	повітряно-міграційний
12	(1-метилетеніл)бензол	25013-15-4	0,5	повітряно-міграційний
13	(1-метилетил)бензол	98-82-8	0,5	повітряно-міграційний
14	(1-метилетил)бензол + (1-метилетеніл)бензол	98-82-8 + 25013-15-4	0,5	повітряно-міграційний

15	Арсен * (миш'як)	7440-32-2	2,0	транслокаційний
16	Нітрати (за NO <sub>3</sub> )	14797-55-8	130,0	водно-міграційний
17	Відходи флотації вугілля (ВФВ) <sup>-3</sup>		3000,0	водно-міграційний; загальносанітарний
18	Ртуть*	7439-97-6	2,1	транслокаційний
19	Свинець*	7439-92-1	32,0	загальносанітарний
20	Свинець + ртуть*	7439-92-1 + 7439-97-6	20,0 + 1,0	транслокаційний
21	Сірка	7704-34-9	160,0	загальносанітарний
22	Сірчана кислота (за S)	7664-93-9	160,0	загальносанітарний
23	Сірководень (за S)	7783-06-4	0,4	повітряно-міграційний
24	Суперфосфат (за P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )		200,0	транслокаційний
25	Сурма	7440-36-0	4,5	водно-міграційний
26	Фуран-2-карбальдегід	39276-09-0	3,0	загальносанітарний
27	Хлорид калію (за K <sub>2</sub> O)	7447-40-7	560,0	водно-міграційний
28	Хром шестивалентний	18540-29-9	0,05	загальносанітарний
29	Етаналь	75-07-0	10	повітряно-міграційний
30	Етенилбензол	100-42-5	0,1	повітряно-міграційний
31	Кадмій	8048-07-5	1,5 у чорноземі за рН ґрунту 6,7-7,0	загальносанітарний
32	Нафтопродукти <sup>-2</sup>		1000,0	загальносанітарний, фітотоксичність
33	Метилтрет-бутиловий ефір (МТБЕ)	1634-04-4	0,05	міграційно-повітряний
<b>Рухлива форма</b>				
34	Кобальт <sup>-4</sup>	7440-48-4	5,0	загальносанітарний
35	Марганець, який вилучають 0,1 н H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> :		700,0	
	Чорнозем			

	Дерново-підзолистий ґрунт:			
	pH 4,0		300,0	
	pH 5,1-6,0		400,0	
	pHЗ 6,0		500,0	
	Марганець, який вилучають ацетатно-амонійним буфером з pH 4,8:	7439-96-5		загальносанітарний
	Чорнозем		140,0	
	Дерново-підзолистий:			
	pH 4,0		60,0	
	pH 5,1-6,0		80,0	
	pHЗ 6,0		100,0	
36	Мідь <sup>-5</sup>	7440-50-8	3,0	загальносанітарний
37	Нікель <sup>-5**</sup>	7440-02-0	4,0	
38	Свинець <sup>-5*</sup>	7439-92-1	6,0	загальносанітарний
39	Фтор <sup>-6</sup>	16984-48-8	2,8	транслокаційний
40	Хром тривалентний <sup>5</sup>	16065-83-1	6,0	загальносанітарний
41	Цинк <sup>-5*</sup>	7440-66-6	23,0	транслокаційний
<b>Водорозчинна форма</b>				
42	Фтор	16984-48-8	10,0	транслокаційний

— Примітки:

1. КГД - комплексні гранульовані добрива складу N : P : K = 64 : 0 : 15. ГДК КГД контролюється за вмістом нітратів у ґрунті, що не має перевищувати 76,8 мг/кг абсолютно сухої маси ґрунту. КРД - комплексні рідкі добрива складу N : P : K = 10 : 34 : 0 (за ТУ 6-08-290-74) з домішками марганцю (не більше 0,6 % від загальної маси). ГДК КРД контролюється за вмістом рухливих форм фосфатів у ґрунті, що не має перевищувати 27,2 мг/кг абсолютно сухої маси ґрунту.
2. Нафтопродукти передбачають також і дизельне паливо у чорноземі звичайному малогумусному - визначають гравіметричним (арбітражним) методом екстрагування гексаном.

3. ВФВ - відходи флотації вугілля. ГДК ВФВ контролюється за вмістом бенз(а)пірену у ґрунті, що не має перевищувати ГДК бенз(а)пірену.
4. Рухливу форму кобальту вилучають з ґрунту ацетатно-натрієвим буферним розчином з рН 3,5 і рН 4,7 для сіроземів і ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8 для інших типів ґрунтів.
5. Рухливу форму елемента вилучають з ґрунту ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8.
6. Рухливу форму фтору вилучають з ґрунту з рН  $\leq 6,5$  0,006 н НСІ, з рН  $> 6,5$  - 0,03 н К<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>.

**Характеристика шкідливих хімічних речовин  
за характером дії на організм:**

- \* Канцерогенні (бластомогенні) сполуки: бенз(а)пірен, арсен (As), меркурій (Hg), плюмбум (Pb), цинк (Zn), молібден (Mo), нікель (Ni).
- \*\* Сенсibiliзуючі хімічні речовини або алергени (нікель (Ni)).
- \*\*\* Мутагенні речовини (плюмбум (Pb), марганець (Mn)).
- \*\*\*\* Проявляють репродуктивну токсичність (меркурій (Hg), плюмбум (Pb) марганець (Mn)).

