

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна  
Навчально - науковий інститут екології  
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти

## КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавра

на тему

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

Виконав: студент 4 курсу, групи ДЕ-42  
спеціальності : 101 «Екологія»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Автор \_\_\_\_\_ / Сергій СВИРИДОВ  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_ / ст. викл. Олена ХРІПКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_ / \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

*«До захисту допущено»*

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_ / проф. Алла НЕКОС  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ / Марина ЩОКІНА  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Секретар ЕК \_\_\_\_\_ / Світлана БУРЧЕНКО  
(підпис) (ім'я та прізвище)

Харків – 2023 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ імені В. Н. КАРАЗІНА

Навчально-науковий інститут екології  
Кафедра екологічної безпеки та екологічної освіти  
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) бакалавр  
Спеціальність 101 Екологія

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ / проф. Алла НЕКОС  
підпис ім'я та прізвище

“ 8 ” травня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)**

Сергію СВИРИДОВУ  
(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи Екологічна безпека ґрунтів при вирощуванні олійних культур для виробництва біопалива

керівник роботи Олена ХРІПКО, ст.. викладач  
(ім'я, прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від “3” квітня 2023 року № 4301-5/646

2. Строк подання студентом роботи 1 травня 2023 р.

3. Перелік питань, які потрібно розробити

1. Визначення актуальності, мети, завдань, об'єкту та предмету дослідження.
2. Поняття екологічної безпеки ґрунтів.
3. Підходи та критерії визначення екологічної безпеки ґрунтів в Україні.
4. Зарубіжні підходи до визначення екологічної безпеки ґрунтів.

5. Методи дослідження екологічної безпеки ґрунтів (визначення вмісту біогенних елементів у ґрунті та рослинній продукції; визначення вмісту важких металів у ґрунті та рослинній продукції).
6. Вплив вирощування олійних культур на вміст біогенних елементів у ґрунті на прикладі конкретного господарства.
7. Визначення та аналіз забруднення ґрунтів важкими металами в процесі вирощування олійних культур, призначених для виробництва біопалива на прикладі конкретного господарства.
8. Міграція важких металів в системі «ґрунт-рослина-сільськогосподарська продукція».

#### 4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вивчення наукових джерел інформації за темою дослідження.
2	Підготовка огляду літератури
3	Вивчення методів та методик визначення вмісту біогенних елементів в ґрунті, в рослинній продукції, в біопаливі.
4	Постановка експерименту
5	Проведення експерименту
6	Опрацювання результатів експерименту та їх аналіз
7	Підготовка тексту кваліфікаційної роботи
8	Підготовка графічних матеріалів
9	Оформлення кваліфікаційної роботи згідно вимог.
10	Перевірка роботи керівником та внесення коректив
11	Проходження нормоконтролю та перевірки роботи на запозичення
12	Рецензування роботи

5. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 8 травня 2022 р. \_\_\_\_\_

**Студент**

\_\_\_\_\_

підпис

**Сергій СВИРИДОВ**

ім'я і прізвище

**Керівник роботи**

\_\_\_\_\_

підпис

**ст..викл. Олена ХРІШКО**

посада, ім'я, прізвище

АНОТАЦІЯ

**ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ОЛІЙНИХ  
КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА**

Сергій СВИРИДОВ

Кваліфікаційна робота «Екологічна безпека ґрунтів при вирощуванні олійних культур для виробництва біопалива» містить 48 сторінок, 3 розділи, 6 таблиць, 6 рисунків, 1 формулу, 43 використаних джерел та 2 додатки.

*Мета роботи:* визначення екологічної безпеки ґрунтів при вирощуванні олійних культур, призначених для виробництва біопалива, на прикладі чорноземних ґрунтів лісостепової зони України.

*Актуальність теми.* Інтенсивні технології вирощування найбільш поширених в Україні олійних культур, таких як: соняшник і озимий ріпак, передбачає внесення високих доз мінеральних добрив та хімічних засобів захисту рослин, що призводить до значного збільшення забруднення ґрунтів важкими металами. Тому дослідження екологічної безпеки ґрунтів та характеру міграції важких металів з ґрунту до рослинної продукції є актуальним питанням.

*Завдання дослідження* передбачали порівняння показників концентрацій біогенних елементів в ґрунтах в умовах різних сівозмін, а також важких металів у ґрунтах та рослинній продукції для оцінки екологічної безпеки ґрунтів.

*Методи.* Були використані методи: польові (відбір зразків ґрунту та рослинних зразків); лабораторні, в тому числі атомно-абсорбційної спектрометрії та мас-спектрометрії (в лабораторії «Агроскоп Інтернешнл», м. Київ); розрахункові (визначення коефіцієнту біологічного накопичення).

*Результати.* Було встановлено, що вирощування олійних культур з застосуванням інтенсивних технологій може створювати ризики екологічної небезпеки ґрунтів: призводити до зниження запасів біогенних речовин в ґрунті та підвищення вмісту важких металів, особливо – Cd.

ҐРУНТ, ОЛІЙНІ КУЛЬТУРИ, ВАЖКІ МЕТАЛИ, ГДК, ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА

ABSTRACT

**ENVIRONMENTAL SAFETY OF SOILS  
DURING THE CULTIVATION OF OIL CROPS FOR BIOFUEL PRODUCTION**

Sergey SVIRIDOV

The qualification work "Environmental safety of soils during the cultivation of oil crops for biofuel production" contains 48 pages, 3 chapters, 6 tables, 6 figures, 1 formula, 43 used sources and 2 appendices.

*The aim of the work:* to determine the ecological safety of soils during the cultivation of oil crops intended for the production of biofuel, using the example of chernozem soils of the forest-steppe zone of Ukraine.

*Actuality of theme.* Intensive cultivation technologies of the most common oil crops in Ukraine, such as: sunflower and winter rapeseed, involve the application of high doses of mineral fertilizers and chemical plant protection agents, which leads to a significant increase in soil contamination with heavy metals. Therefore, the study of the ecological safety of soils and the nature of the migration of heavy metals from the soil to plant products is an urgent issue.

*The tasks of the research* involved comparing the concentrations of biogenic elements in soils under conditions of different crop rotations, as well as heavy metals in soils and plant products to assess the ecological safety of soils.

*Methods.* The following methods were used: field (selection of soil samples and plant samples); laboratory, including atomic absorption spectrometry and mass-spectrometry (in the Agroskop International laboratory, Kyiv); calculation (determination of the coefficient of biological accumulation).

*The results.* It was established that the cultivation of oil crops with the use of intensive technologies can create risks of environmental hazards of the soil: lead to a decrease in the reserves of biogenic substances in the soil and an increase in the content of heavy metals, especially Cd.

SOIL, OIL CROPS, HEAVY METALS, MPC, ENVIRONMENTAL SAFETY

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ ТА ПІДХОДИ ДО ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ: ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ.....	9
1.1. Вплив людини на екологічну безпеку ґрунтів.....	9
1.2. Підходи та критерії визначення екологічної безпеки ґрунтів в Україні та світі .....	10
РОЗДІЛ 2 МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА.....	17
2.1. Характеристика ґрунтово–кліматичних умов місця проведення досліджень.....	17
2.2. Обґрунтування експерименту та методика досліджень.....	24
РОЗДІЛ 3 АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИРОЩУВАННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ҐРУНТІВ.....	29
3.1. Вплив вирощування олійних культур на вміст біогенних елементів у ґрунті.....	29
3.2. Аналіз забруднення ґрунтів важкими металами в процесі вирощування олійних культур для виробництва біопалива.....	32
3.3 Міграція важких металів в системі ґрунт-рослина-продукція.....	36
ВИСНОВКИ.....	41
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	42
ДОДАТКИ.....	47

## ВСТУП

Для добробуту нашого суспільства та майбутніх поколінь на першому місці повинна стояти продовольча безпека України. Це потребує не тільки підвищення родючості земель, а також - екологічна безпека та підвищення їх родючості.

Без ефективної і якісної роботи однієї із складових сільського господарства України – тваринництва, сільськогосподарські угіддя не отримують значної кількості всіх видів органічних добрив. основну увагу приділяють застосуванню мінеральних добрив що не сприяє зменшенню забруднення важкими металами найбільш родючих чорноземних ґрунтів країни.

Міграція важких металів (ВМ) по ґрунтовому профілю призводить до перерозподілу їх у ґрунті, а, отже, і у суміжних з ним середовищах (рослинах, воді, повітрі). Присутність металів може призвести до непередбачуваного характеру екологічної небезпеки, оскільки для них не характерна біодеградація, а притаманна акумуляція у навколишньому природному середовищі. А це провокує надходження токсикантів через трофічні ланцюги до організму людини. І тому контроль за міграцією ВМ на техногенно-забруднених ґрунтах є вкрай актуальним і складним завданням [1-4].

В останні роки особливої актуальності набувають дослідження забруднення ґрунтів важкими металами та міграції їх рухомих форм в системі “ґрунт-рослина-сільськогосподарська продукція” [5, 6]. Інтенсивні технології вирощування найбільш поширених в Україні олійних культур, таких як: соняшник і озимий ріпак, передбачає внесення високих доз мінеральних добрив (особливо фосфорно-калійних ) та хімічних засобів захисту рослин від бур’янів, шкідників і хвороб з метою отримання 3-4 т/га насіння. Таке високе антропогенне навантаження призводить до значного збільшення забруднення ґрунтів важкими металами, в тому числі за рахунок збільшення до 20-25 проходів тракторів та сільськогосподарських машин на 1 га.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є визначення екологічної безпеки ґрунтів при вирощуванні олійних культур, призначених для виробництва біопалива, на прикладі чорноземних ґрунтів лісостепової зони України.

**Задачі дослідження:**

- вивчити динаміку вмісту біогенних речовин в ґрунті під посівами олійних культур в умовах лісостепу України;
- виявити стан забруднення верхніх шарів ґрунту важкими металами при інтенсивному вирощуванні олійних культур в різних польових сівозмінах ;
- дослідити накопичення важких металів в різних частинах рослин озимого ріпаку і соняшнику (в т. ч. в основній продукції) при визначеному рівні накопичення їх в ґрунтах.

**Об'єктом дослідження** є система «ґрунт-рослина-продукція олійних культур» в умовах лісостепової зони України.

**Предмет дослідження** – екологічна безпека ґрунтів як результат впливів природних та антропогенних чинників на вміст біогенних хімічних елементів та накопичення важких металів у чорноземних ґрунтах при вирощуванні олійних культур (озимого ріпаку та соняшнику).

## РОЗДІЛ 1

### ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ҐРУНТІВ ТА ПІДХОДИ ДО ЇЇ ВИЗНАЧЕННЯ

#### 1.1. Вплив людини на екологічну безпеку ґрунтів

Поняття екологічної безпеки ґрунтів традиційно інтерпретується в науковій літературі як охорона та збереження природного середовища, а в глобальному сенсі – як стан, при якому навколишнє середовище може забезпечити в тривалій перспективі існування суспільства та задоволення його потреб, також як сукупність дій із забезпечення захищеності життєво важливих інтересів особи, суспільства та природи.

Техногенез являє собою сукупність планетарно масштабних процесів, породжених у земній корі господарською діяльністю людини, яка спричиняє значні зміни в біосфері геохімічного та геофізичного плану. Суто геохімічні аспекти техногенезу включають: 1) вилучення хімічних елементів з природного середовища (літосфери, атмосфери, гідросфери); 2) перегрупування хімічних елементів, зміну хімічного складу сполук, до складу яких ці елементи входять, а також синтезування нових хімічних сполук; 3) застосування залучених до техногенезу хімічних елементів та розсіювання їх в оточуючому середовищі, зокрема, в ґрунтах [7, 8].

Розсіювання залучених до техногенезу елементів часто являє собою побічний, непередбачуваний, зазвичай, стихійний, процес, який здійснюється шляхом викидів техногенних речовин в атмосферу, забруднення ґрунтів і водою промисловими стоками, твердими відходами промислового виробництва.

Негативний вплив техногенезу асоціюється з широко вживаним на сьогодні поняттям забруднення природного середовища, особливо ґрунтового покриву. При цьому забрудненням будемо вважати надходження в природне середовище продуктів суто техногенного походження, передовсім таких, які чинять шкідливий

вплив на людей, інших представників біоти. Нормальний геохімічний фон та амплітуда його тимчасових змін у різних геосистемах істотно різняться, тому не існує і єдиного рівня концентрацій різних техногенних речовин з ефектом забруднення, а отже й встановлення єдиних для різних ґрунтів нормативів - гранично допустимої концентрації речовин в біосфері та ґрунтах викликає певні дискусії.

Базовим тут залишається постулат В. І. Вернадського щодо провідної геохімічної ролі живої речовини в біосфері та її біокосних компонентах, таких як ґрунти, згідно з яким головним критерієм забрудненості (чи її відсутності) ландшафтів та їх окремих компонентів є життєвий стан і функціонування організмів, притаманних даній екосистемі. У незабруднених біокосних системах (ними є перед усім ґрунти) межі коливань концентрацій техногенних речовин, а також форм їх надходження у даній системі повинні задовольняти таким умовам:

- не порушуються газові, окисно-відновні, кислотно-основні та інші функції живої речовини системи, які регулюють її геохімічне самоочищення;
- біохімічний склад первинної та вторинної біопродукції не змінюється настільки, щоб викликати порушення життєвих (фізіологічних) функцій;
- не знижується біопродуктивність та екоінформативність системи;
- зберігається необхідний для існування системи генофонд.

## 1.2. Підходи та критерії визначення екологічної безпеки ґрунтів в Україні та світі

До питання вивчення закономірностей накопичення хімічних елементів в ґрунтах і рослинній продукції, яке є фундаментальною основою формування їх екологічної безпеки чи небезпеки, долучалися представники багатьох наук [9].

Переважаюча більшість дослідників на ранніх етапах вважали, що основним постачальником хімічних елементів для рослин є земна кора. У зв'язку з цим,

накопичення хімічних елементів рослинами порівнювалося з кларками елементів (Кларк Ф., Вернадський В. І., Ферсман А. Е.), були запропоновані коефіцієнти біологічного поглинання (Перельман О. І.), інтенсивності біологічного поглинання (Полинов Б. Б.), біофільності (Перельман О. І.) та багато інших.

Дослідження накопичення хімічних елементів в ґрунтах інтенсивно проводились ґрунтознавцями України у 50-60-ті рр. минулого століття. Ці роботи виконані під керівництвом академіка Власюка П. А. (Інститут фізіології рослин АН), пізніше - роботи співробітників Інституту ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського під керівництвом проф. Крупського М. К., на сучасному етапі - в тому ж інституті - дослідження Балюка С. А., Фатєєва А. І., Медведєва В. В., та інших. Значна кількість досліджень присвячена вивченню закономірностей накопичення в системі «ґрунт – рослина».

Оцінюючи географічні передумови формування екологічної безпеки ґрунтів та рослинної продукції у зв'язку з накопиченням у них важких металів, вивчалася роль та вплив основних факторів та компонентів географічної оболонки на цей процес. Пріоритетними факторами та компонентами, які найбільш суттєво впливають на накопичення важких металів прийняті: літологічний склад гірських порід, рельєф, клімат, гідрологічний режим та антропогенна діяльність людини. Ці фактори та компоненти розглядались дослідниками з позицій умов та особливостей певних територій, що забезпечують розподіл та перерозподіл важких металів в досліджуваній системі «ґрунт – рослина». У зв'язку з цим вони згруповані в такі групи: геолого-геоморфологічні умови території, гідрокліматичні умови та особливості антропогенної діяльності. В сукупності вони впливають на накопичення хімічних елементів, і перш за все мікроелементів, в ґрунтах та продуктах харчування рослинного походження.

Визначено, що з позиції ландшафтного підходу та впливу літогенної основи на розподіл та перерозподіл важких металів у ґрунтах та рослинній продукції найбільш суттєвим є вплив рельєфу. Пояснюється це тим, що корінна порода в

межах території, що досліджується, є досить одноманітною і її вплив відносно не є різноманітним. Наявність певних відмінностей у складі та генезисі гірських порід території, що досліджується, на розподіл та перерозподіл важких металів суттєво не впливають. На відміну від геологічної складової, рельєф території досить різноманітний і суттєво впливає на розподіл та перерозподіл важких металів в ґрунтах та продукції олійних культур.

В результаті аналізу впливу гідро-кліматичних особливостей на формування екологічної безпеки ґрунтів та рослинної продукції визначено їх пріоритетну роль у цьому процесі. Визначено, що головна географічна передумова впливу на водну міграцію хімічних елементів полягає у гідрологічних особливостях місцевості.

Встановлено, що мала рухомість важких металів у ґрунті та гігієнічна чистота будь-якої із сільськогосподарських культур забезпечується при  $pH=5,5$  водної суспензії ґрунту.

Колоїдна міграція і сорбція суттєво впливають на розподіл та перерозподіл хімічних елементів.

Зрошення істотного впливу на валовий вміст мікроелементів у шарі 0 – 30 см не має [10].

Ґрунт не може бути відірваний від географічних умов його формування. Функціональна залежність генезису та властивостей ґрунтів від факторів ґрунтоутворення є головним законом ґрунтознавства, який відображує єдність ґрунту і середовища.

Регіональне забруднення, яке визначає ступінь екологічної безпеки ґрунтів, характерне, головним чином, для промислових районів і великих населених пунктів. Основними забруднювачами є підприємства, транспорт, комунальні стічні води. До ґрунтів забруднюючі речовини потрапляють також з добривами та пестицидами.

Мікроелементи надходять до рослин з ґрунтів та внаслідок повітряного переносу. Ступінь засвоєння конкретного хімічного елементу рослинністю

залежить від його форми в ґрунті. Більш ефективно засвоюються ті елементи, які знаходяться в розчині, або в адсорбованому стані на поверхні колоїдних частин ґрунту.

Надходження елементів з ґрунту до рослин залежить від загального хімічного складу ґрунту, його реакції, окислювально-відновлювального потенціалу, фізичних властивостей ґрунту та біологічної діяльності ґрунтових організмів.

Ландшафтно-геохімічний підхід є одним із просторово-системних підходів до аналізу й оцінки екологічного стану території. Він дає змогу на підставі визначення геохімічного фону з'ясувати ступінь забруднення та склад забруднень, міграційні здатності залежно від хімічного складу й фізико-хімічних властивостей компонентів довкілля, імовірність і можливі місця накопичення забруднюючих речовин, геохімічну здатність ландшафтів до самоочищення від забруднень.

Фундаментальні теоретичні основи щодо геохімічної міграції елементів були закладені О. П. Виноградовим, Б. Б. Полиновим, О. І. Перельманом.

Екологічні аспекти негативного впливу важких металів на навколишнє середовище представлено в працях як вітчизняних, так і зарубіжних науковців: Ю.В. Алексєєва, М. Ф. Реймерса, А. Кабати-Пендіас, С. П. Мальованого, І. В. Кармазиненко, А. І. Кураєва, Ю. Ю. Самчук, Ю. Ю. Войтюк, В. Й. Манічева. Проблема безпечності продуктів харчування розглядається в працях Т. М. Дабіжук, О. С. Чалої, А. Н. Некос, Н. Войтович, О. І. Щербаченко [1, 9, 11].

Цими роботами визначені наукові засади та підходи до забезпечення екологічної безпеки аграрного землекористування. Визначене співвідношення між безпекою та небезпекою як полярних станів у процесі використання орних земель польових сівозмін, проаналізовані фактори впливу на стан екологічної безпеки. Проведена діагностика стану екологічної безпеки аграрного землекористування та встановлені напрями еколого-конструктивної та еколого-деструктивної трансформації земель сільськогосподарського призначення.

Поняття екологічної безпеки традиційно інтерпретується в науковій літературі як охорона та збереження природного середовища, а в глобальному сенсі – як стан, при якому навколишнє середовище може забезпечити в тривалій перспективі існування суспільства та задоволення його потреб (статичний підхід), також як сукупність дій із забезпечення захищеності життєво важливих інтересів особи, суспільства, природи та держави від реальних і потенціальних небезпек (процесуальний підхід). Як зазначає Пилипенко О. О., існуюча сукупність дефініцій екологічної безпеки не стосується специфіки сільськогосподарського виробництва, що в ринкових умовах має на меті отримання нешкідливої для здоров'я людей високоякісної сільськогосподарської продукції та задоволення в ній потреб суспільства [9].

Частина науковців розглядає екологічно безпечне землекористування як систему заходів різного характеру для збереження та охорони земель із метою ефективного економічного їх використання. Балаж Н. Й. робить акцент на балансі екологічного оздоровлення та забезпечення продовольчої безпеки, Будзяк О. С. обмежує еколого-безпечне використання земель ємністю екосистем і умовами недопущення незворотних змін у них [12, 13].

Екологічно безпечне використання земель (за Балаж Н. Й.) – територіально-просторове використання землі в балансо-круговому процесі взаємовідносин «земля – користувач», у межах ємності екосистем, за умов, які гарантують стан її захищеності та недопущення незворотних екологічних процесів на Землі [12]. В широкому розумінні Купріянич І. П. визначає екологобезпечне землекористування як екологічне оздоровлення земельних ресурсів при одночасному забезпеченні продовольчої безпеки [14]. Екологобезпечне використання земель передбачає комплексну систему заходів, спрямованих на освоєння, відновлення, поліпшення, охорону природного середовища, визначення ступеня змін, які виникають у ландшафтах внаслідок господарського втручання, та ефективне використання сільськогосподарських земель.

Стосовно нормування безпечного вмісту хімічних елементів в ґрунті, існує величезна різниця між результатами лабораторних і польових досліджень токсичності металів [15, 16]. Основні проблемні питання, які при цьому виникають: 1) як встановити критичні концентрації металів для ґрунтових організмів; 2) як екстраполювати короткострокові лабораторні випробування на польові умови; 3) як можна гарантувати, що встановлені межі вмісту металів захищають усі залучені групи населення та процеси [17].

Референтні значення або критерії якості для захисту здоров'я людини та/або екосистем встановлені в різних країнах; однак ці правила застосовуються до різних процесів і сильно різняться між країнами. Наприклад, у Нідерландах Міністерство навколишнього середовища розробило набір довідкових значень для забруднених ділянок на основі критеріїв реабілітації та охорони здоров'я [18]. У Німеччині закон про захист забруднених ділянок [19] передбачає превентивні значення для розслідування та втручання для захисту екосистем від негативного впливу забруднення ґрунту. Це також має місце в Іспанії, де центральний уряд визначив, що кожен регіон несе відповідальність за розробку контрольних рівнів для ухвалення рішення щодо оголошення ґрунту забрудненим [20], але навіть на сьогодні такі контрольні значення не були встановлені у всіх регіонах.

Процес оцінки екологічного ризику забрудненого ґрунту є складним завданням з огляду на неоднорідність ґрунту, а також його використання та управління ним. Великий вплив на ці процеси чинять відмінності наукових підходів, приватні та адміністративні інтереси [21]. Поки що це зробило методи, що застосовуються при аналізі забруднених ґрунтів, набагато менш досконаліми, ніж ті, що застосовуються до водних систем. Визначення політики щодо ґрунтів є непростим завданням через високу мінливість ґрунтів, а також можливих забруднюючих речовин і складності їхньої поведінки в ґрунтах. Однак велика різноманітність критеріїв якості ґрунту або нормативних значень, вочевидь, пов'язана з відсутністю консенсусу та застосовуваної методології.

Таким чином, аналіз літературних джерел по вивченню забруднення ґрунтів та погіршення їх екологічного стану свідчить, що переважна більшість робіт була присвячена виявленню змін накопичення важких металів в ґрунтах та вирощування на них рослин поблизу постійних джерел забруднення, таких як гірничо-добувна галузь, хімічні комбінати, газо-нафтова промисловість, залізничні та автомобільні дороги.

Вплив інтенсивних технологій вирощування олійних культур які передбачають внесення високих доз фосфорно-калійних добрив, пестицидів, значних проходів тракторів та сільськогосподарських машин, вивчений недостатньо. Тому дане дослідження було спрямоване на встановлення впливу інтенсивних систем землеробства на забруднення чорноземних ґрунтів основними важкими металами та трансформації їх в системі «ґрунт – рослина – сільськогосподарська продукція».

## РОЗДІЛ 2

# МЕТОДИКА ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ҐРУНТІВ ПРИ ВИРОЩУВАННІ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА

### 2.1. Характеристика об'єкта та ґрунтово-кліматичних умов місця проведення досліджень

Дослідження про визначення екологічної безпеки чорноземних ґрунтів при інтенсивних технологіях вирощування олійних культур, виконувались протягом 2021-2022 р.р. в умовах агрофірми «Рось» Рокитнянського району Київської області, що знаходиться біля с. Салиха (рис. 2.1).

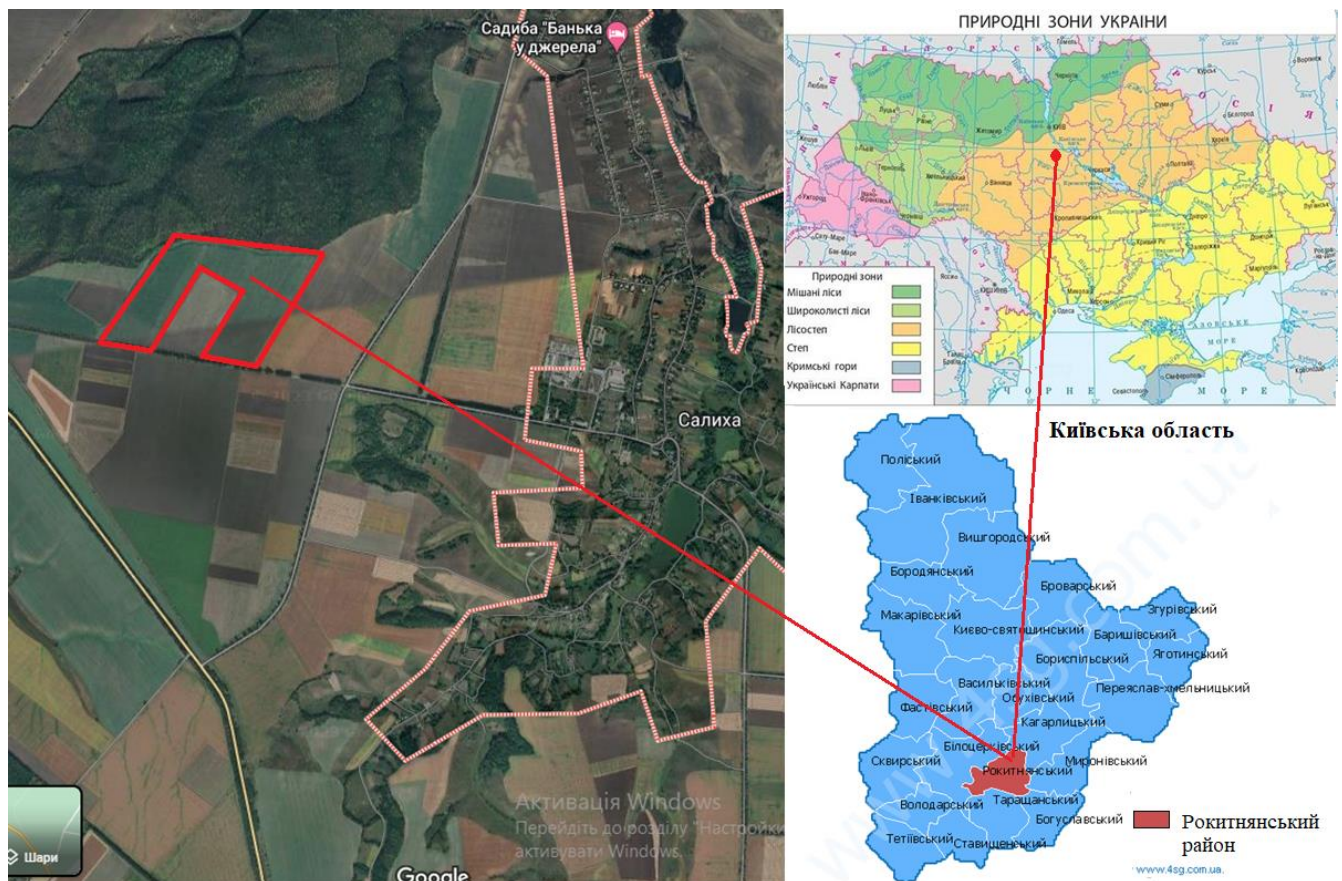


Рис. 2.1 – Оглядова карта району дослідження

Територія господарства рівнинна за винятком трьох полів, де приблизно на кожному із них на площі 20 га є незначний ухил (1-3°). Ґрунти агрофірми «Рось» представлені в основному чорноземами типовими (67% сільськогосподарських угідь), 1% - займає територія села (будівлі та присадибні земельні ділянки), 4% - луки та пасовища, що знаходяться по берегах р. Рось. Загальна територія сільськогосподарських угідь – 2670 га. У 2010 році на цій території організовано 2 польові сівозміни з насиченістю олійними культурами: в першій сівозміні - до 30% озимим ріпаком і до 15% соняшником, насиченість у другій сівозміні - до 35% соняшником та до 15% озимим ріпаком (рис. 2.2). Чергування культур в сівозмінах наведено в таблиці 2.1.

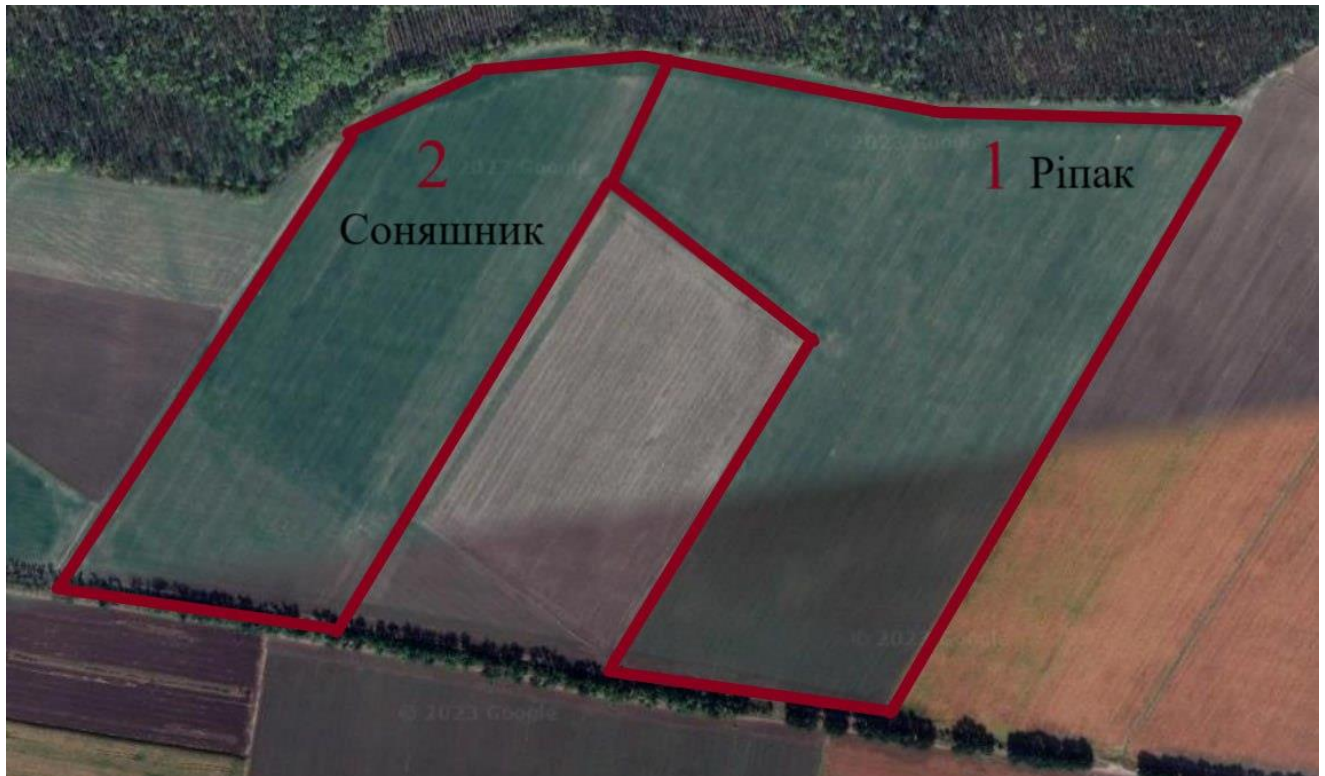


Рис. 2.2 – Територія дослідження:

1 – перша польова сівозміна, 2 – друга польова сівозміна

Таблиця 2.1

**Чергування культур в польових сівозмінах**

Роки сівозміни	Перша польова сівозміна	Друга польова сівозміна
1	Горох	Пшениця озима
2	Пшениця озима	<i>Ріпак озимий</i>
3	<i>Ріпак озимий</i>	<i>Соняшник</i>
4	Пшениця озима	Горох
5	Кукурудза на зерно + <i>соняшник</i>	Пшениця озима
6	Пшениця озима + пшениця яра	<i>Соняшник</i>
7	<i>Ріпак озимий</i>	Кукурудза на зерно
8	Кукурудза на зерно	Ячмінь ярий
9	<i>Соняшник</i>	<i>Соняшник</i>
10	<i>Ріпак озимий</i>	

Технологія вирощування ріпаку озимого після озимих колосових культур складається із дискування на 6-8 см відразу після збирання попередника, агрегат МТЗ-82 + АГ-2,4. За 2-4 тижні до сівби культури проводять оранку на глибину 22-25 см агрегат Джон Дір + Лемке, відразу вирівнюють і ущільнюють ґрунт, можуть працювати агрегати МТЗ-82 + КПС-4 або Джон Дір + Беднар, при необхідності додаються котки КЗК-9,2. Сівбу проводять за три тижні до настання оптимального строку сівби пшениці озимої, працюють агрегати Кейс + Пьотінгер або Джон Дір + Хорш. В осінній період при появі сходів та утворенні розетки листків кожні три дні спостерігають за появою шкідників (прихованохоботник капустяний і пильщик ріпаковий), при необхідності застосовують інсектициди. В осінній період спостерігають за проявом хвороб і при необхідності проводять фунгіцидний обробіток. Система удобрення ріпаку озимого складається із основного внесення під оранку, середні норми добрив у діючій речовині (д.р.) складають: азот 20-30 кг/га, фосфор 40-60 кг/га, калій 90-120 кг/га, сірка 30-40 кг/га. В весняний період на початку відростання озимого ріпаку по мерзлоталому ґрунту вносять 50-60

кг/га азоту, через 2-3 тижні доза азоту складає 30-35 кг/га, поєднують внесення азоту з мікродобривами бором 0,3-0,5 кг/га, молібденом 0,2 кг/га. Контролюють прояви хвороб та появу шкідників, при необхідності під час росту стебла можна поєднувати застосування інсектицидів і фунгіцидів в бакових сумішах. Під час цвітіння та утворення стручків контролюють прояви хвороб. Іноді застосовують краєві профілактичні інсектицидні обробітки проти шкідників. Те ж саме проводять і під час дозрівання стручків. Скошування у валки проводять за вологості насіння 30-35%, а обмолот - за вологості 12%. Іноді застосовують пряме комбайнування за вологості насіння 15%.

Соняшник вирощують по попередниках - кукурудза на зерно та колосові культури. Обов'язковим заходом є дискування на різну глибину + оранка через 2-3 тижні. В весняний період проводять закриття вологи, передпосівну культивуацію і сівбу. Система удобрення складається із основного внесення фосфорних і калійних добрив під оранку. В весняний період при сівбі застосовують внесення мінеральних добрив азоту і фосфору. Іноді проводять підживлення КАС-32.

Характеристика ґрунту. Характеристика ґрунту наводиться за даними ґрунтового обстеження, що проводилось працівниками Управління земельних ресурсів Київської області в 1992 році, коли на цій території базувалося господарство «Перемога». Зараз на цій території працюють агрофірма «Рось» та фермерські господарства з земельними паями від 55 до 146 га.

Розораність сільськогосподарських угідь складає від 86% від загальної площі. ґрунти формувались переважно на лесових породах, що притаманні вододілам та надплавним лесовим терасам річкових долин. Схили балок і уступи правих корінних берегів під дією тривалої ерозії мають інші ґрунотвірні породи – глини, давні піски, елювій пісковиків та щільних карбонатних порід. Заплави річок і днища балок представлені алювіальними і пролювіальними покладами.

Чорноземи типові мають найбільш репрезентативну для усього типу чорноземів будову профілю, яка для цілинного екзота має вигляд: Но + Н/к + Нrk + НРk + Phk + Рk. Скипання від НСІ спостерігається у нижній частині Нр/к горизонту. Спочатку воно слабе через незначну кількість карбонатів, а зі збільшенням їх кількості посилюється у формі нечастого та розсіяного псевдоміцелію і прожилок, яких стає більше в нижній частині профілю.

Чорноземи типові характеризуються глибоким гумусовим профілем, що сягає 120 см, містить 4,5 – 5,12 % гумусу, має добрі фізичні властивості, підвищений вміст рухомих форм НРК і в цілому характеризується високою біологічною активністю [44].

Ґрунт дослідних полігонів аналізували в лабораторії «Агроскоп Інтернешнл» (м. Київ), він представлений чорноземом типовим слабозмитим малогумусним середньо-суглинковим на карбонатному лесі і характеризується такими агрохімічними показниками: рН сольової витяжки – 6,5- 7,0; загальний вміст гумусу в орному шарі – 4,86 %;  $P_2O_5$  – 102 мг/кг ґрунту;  $K_2O$  – 179 мг/кг ґрунту (за Чириковим).

Кліматичні умови зони проведення досліджень характеризуються помірно континентальним кліматом. Величина сумарної сонячної радіації сягає 440-461 кДж/см<sup>2</sup>. Середньорічна температура повітря складає 6,8 °С. Найхолоднішим є січень (-7,8 °С), найтеплішим – липень (+20,7) °С (рис. 2.3, Додаток 1).

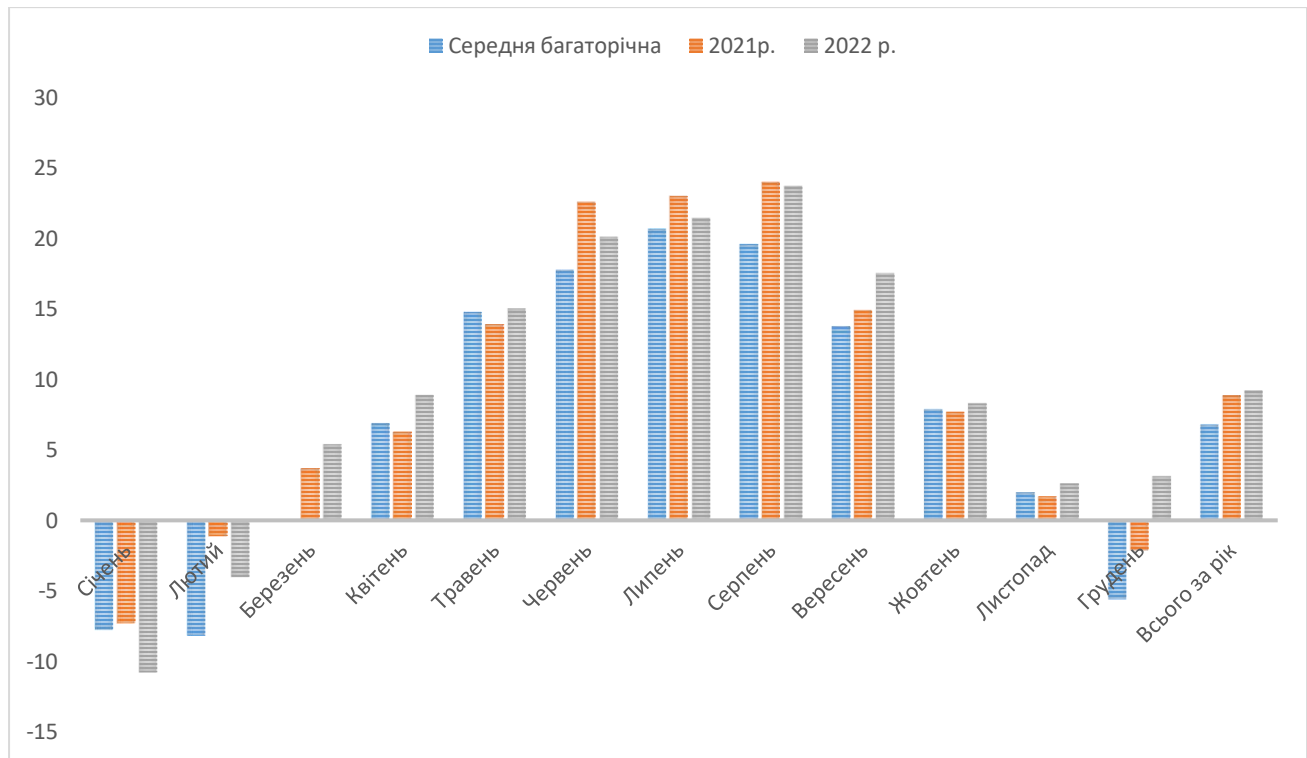


Рис. 2.3 – Хід середньомісячних температур за роки досліджень (2021 р. та 2022 р.) за даними Білоцерківської метеостанції, °C

Основним агрокліматичним показником термічних ресурсів території є сума активних температур повітря вище 10 °C. Сума активних температур господарства становить 2 730 °C.

Починаючи з початку вересня і до жовтня температури можуть зменшуватися на 6 іноді до 10 °C. в подальшому зниження температури менш різке, а уже в середині грудня можуть бути мінусові температури в межах 3-4 °C.

Атмосферні опади – тумани, дощі, сніги – є джерелом поповнення вологи у ґрунті, кількість вологи – це одна із основних характеристик клімату – 65% від загальної кількості опадів припадає на весняні – початок осені місяці а у холодний період – початок весни, кінець осені та зиму – 35% від загальної кількості. Для господарства характерний континентальний тип ходу опадів, що співпадає з показниками середніх багаторічних. Найбільша кількість опадів випадає у липні – в середньому 71 мм, а за всю весну – 111 мм.

При переході середньодобової температури через + 5 °С, відносна вологість зменшується до 57% у квітні-травні, мінімальна за рік відносна вологість у травні в окремі роки може знижуватися навіть до 31%. При випаданні дощів у літні місяці вона дещо збільшується (на 2.5%).

В середньому за рік відносна вологість становить 72%. У господарстві як кількість опадів так і середньодобова сума опадів за середніми багаторічними даними значно змінювалася. Кількість опадів іноді перевищувала на 8.3% -10.7% за опади, що випадали в зоні Лісостепу України.

Середня багаторічна кількість опадів за даними Білоцерківської метеостанції становить 670 мм (рис. 2.4, Додаток 2), дві третини їх випадає під час вегетації рослин, але часто - у вигляді зливових дощів.

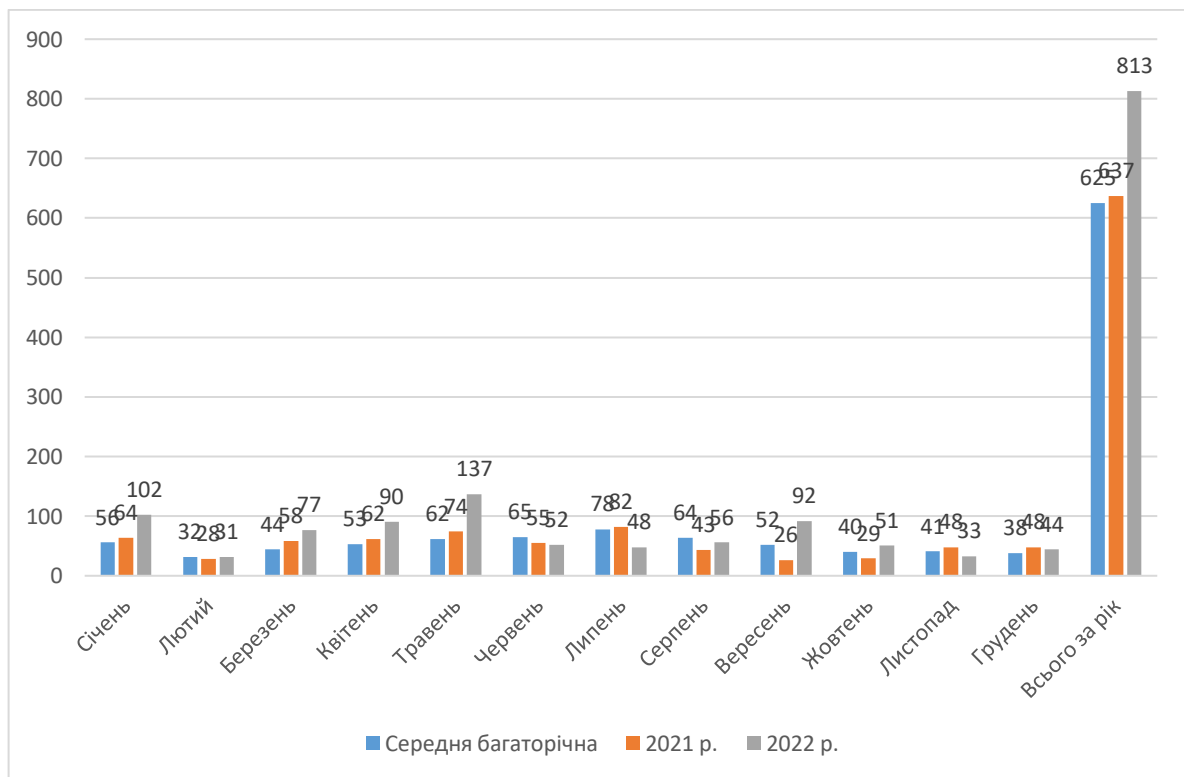


Рис. 2.4 – Сума опадів за роки досліджень (2021 р. та 2022 р.) за даними Білоцерківської метеостанції, мм

За середніми багаторічними даними тієї ж метеостанції найбільш вологим місяцем є липень, а найменша кількість опадів випадає в лютому.

Таким чином, погодні умови протягом 2021 р. та 2022 р. за погодними умовами (кількістю опадів та їх розподілом) помітно відрізнялися від середніх багаторічних показників, а в окремі періоди високі температури та мінімальна кількість вологи створювали рослинам екстремальні умови.

## 2.2. Обґрунтування експерименту та методика досліджень

Інтенсивні технології використання земель передбачають суттєве збільшення вирощування таких важливих та економічно вигідних олійних культур як соняшник та озимий ріпак. Зараз вони є найбільш важливими експортними культурами, що можуть використовуватись для виробництва біопалива.

Разом з тим, такі технології вирощування олійних культур передбачають внесення високих доз мінеральних добрив на рівні 80-100 кг діючої речовини, що призводить до збільшення надходження разом з ними важких металів. З агроекологічної точки зору, важливими для оцінки можливої негативної дії мінеральних добрив на довкілля є: кількісний та якісний склад мінеральних добрив, в тому числі домішок; особливість впливу їх на процеси міграції біогенних елементів та токсикантів; активність мікробіологічних процесів у ґрунті; вплив на якість сільськогосподарської продукції.

Найбільш поширеним азотним добривом, яке вноситься в господарстві під соняшником та озимий ріпак є аміачна селітра. Вітчизняна аміачна селітра містить Zn - 0,2 мг/кг, Cu - 0,25 мг/кг, Pb - 0,05 мг/кг [22, 23]. При систематичному внесенні цих добрив можливе нагромадження в ґрунті важких металів, міграція токсикантів та погіршення якості продукції.

При застосуванні 100 кг фізичної маси аміачної селітри (N35 діючої речовини) в ґрунт надійде 84 мг/га Ni, 20-25 мг/га Cd, Zn та Cu. В агрофірмі

«Рось», вноситься 200-250 кг/га фізичної маси аміачної селітри, що збільшує надходження важких металів в ґрунт.

Фосфорні добрива посідають перше місце серед мінеральних за вмістом токсичних домішок, що пов'язано геологічним походженням фосфорних руд. Основними компонентами фосфорних руд, що йдуть на виробництво добрив, є фосфорити (осадового походження) і апатити (вивержені мінерали). Залежно від геологічного походження та географічного положення, фосфорні руди мають різну кількість домішок важких металів та токсичних елементів [24, 25]. Так, вміст Cd у фосфатній сировині (apatити та фосфорити) з різних країн світу коливається у доволі широких межах (від 8 мг/кг в США, до 75 мг/кг в Сенегалі). Cd вважають найнебезпечнішим компонентом фосфорних добрив. Відомо, що Cd у фосфорних добривах присутній у формі фосфатів різної розчинності. Його кількість залежить від якості сировини і чистоти кислот, які використовують для технологічного процесу. Для обмеження забруднення природного середовища Cd у деяких країнах уведено нормативи на вміст цього елемента у добривах. Вітчизняні суперфосфати - простий і подвійний - характеризуються таким вмістом домішок: Zn - 10,0-12,3 мг/кг, Cu - 18,3-31,2 мг/кг, Pb - 21,7-29,0 мг/кг, Cd - 0,25 мг/кг [26, 27, 28].

При виробництві добрив з фосфорних руд більша частина токсичних елементів переходить у готовий продукт. Так, при одержанні суперфосфатів Cd повністю залишається у готовому продукті, а при виробництві фосфорної кислоти близько 2/3 кадмію переходить у готовий продукт. Токсичні елементи, які надходять у ґрунт з фосфорними добривами, під впливом комплексу факторів беруть участь у іонообмінних реакціях, але їхні розчинність, рухомість, міграційна здатність та біодоступність, здебільшого, значно підвищуються, що свідчить про їхню більшу токсикологічну небезпечність. За результатами досліджень, застосування 100 кг фізичної маси суперфосфатів - простого та подвійного - зумовлює найбільше надходження у ґрунт токсичних домішок на одиницю площі

порівняно з іншими видами добрив. Так, Cu надійде 1830-3120 мг/га, Pb - 2170-2900 мг/га, Ni - 1290-2650 мг/га [26, 28].

Сировиною для виробництва калійних добрив є природні калійні солі. Основною сировиною для виробництва хлоридних калійних добрив слугує сильвініт. Небезпеку можуть являти також токсичні домішки, які містяться у калійних добривах, про що свідчать результати оцінки хлористого калію: Zn - 3,1 мг/кг, Cu - 8,7 мг/кг, Ni - 4,3 мг/кг, Pb - 8,7 мг/кг, Cd - 0,25 мг/кг. Такі кількості токсичних домішок зумовляють надходження у ґрунт Cu та Pb по 870 мг/га, Zn та Ni - 300-400 мг/га. Сульфат калію містить вищі концентрації домішок у розрахунку на одиницю маси добрива, тому й надходження токсикантів у ґрунт вищі порівняно з хлористим калієм. Найбільшу загрозу являє забруднення Cd - 100 мг/га ґрунту[10]. Кількість важких металів, яка надходить у ґрунт з мінеральними добривами при вирощуванні соняшнику та озимого ріпаку, наведена у табл. 2.2.

Таблиця 2.2

**Надходження важких металів у ґрунт з мінеральними добривами  
при вирощуванні соняшнику та озимого ріпаку**

Культури	Види добрив	Дози добрив в фізичній масі, кг/га	Надходження важких металів у ґрунт з добривами, мг/га			
			Cd	Pb	Zn	Cu
Соняшник	Азотні: аміачна селітра	200	18	42	24	56
	КАС	150	26	21	18	21
	Фосфорні: подвійний суперфосфат	100	2800	3100	1230	2420
	Комплексні: нітроамофоска	300	2160	2520	866	1150
Всього			5004	5683	2138	3647
Ріпак озимий	Азотні: аміачна селітра	160	12	36	21	42
	Фосфорні: подвійний суперфосфат	120	2640	2410	1200	2250
	Калійні : сульфат калію	150	82	870	310	870
Всього			2734	3316	1531	3162

Необхідно також враховувати, що на формування 1 т насіння соняшнику використовується близько 65 кг азоту, 27 кг фосфору і 155 кг калію [22, 29]. При урожайності в господарстві соняшнику за останні роки на рівні 2,5-3,5 т/га насіння, необхідно, відповідно, збільшувати дози внесення добрив. Разом з ними збільшується надходження в ґрунт і важких металів.

На формування 1 т насіння озимого ріпаку використовується азоту 50-62 кг, фосфору 25-35 кг, калію 25-40 кг. Це в п'ять разів більше, ніж забирають з ґрунту зернові культури. Тому під озимим ріпаком в господарстві вносять мінеральні добрива в дозі (діючої речовини) N - 60-80 кг/га, P - 40-60 кг/га, K - 40-60 кг/га. Під час сівби в рядку вносять гранульований суперфосфат в дозі 20 кг/га.

Суттєвою особливістю негативного впливу на екологічну безпеку ґрунтів при інтенсивних технологіях вирощування олійних культур є збільшенням (до 12-16) проходів тракторів, машин та агрегатів на цих площах. Це призводить до забруднення атмосфери та додаткового надходження у ґрунти продуктів згорання бензину та дизельного палива.

Важкі метали приймають участь у метаболізмі рослин. При високих концентраціях вони накопичуються у рослинах та стають токсичними для них.

Надходження важких металів в рослини з ґрунту контролюють дві групи чинників: вміст рухомих форм важких металів у ґрунті, який регулюється властивостями самого ґрунту, та біологічними особливостями рослин по відношенню до іонів важких металів [30].

Дане дослідження по виявленню накопичення окремих техногенних металів (Pb, Cd, Cu, Zn) в ґрунті та в продукції олійних культур проводились в такій послідовності з використанням наступних методів:

- зразки ґрунту та рослин відбирали згідно з вимогами ДСТУ (ДСТУ 4287-2004, ДСТУ ISO 10381-4-2005) у межах однієї пробної ділянки. Площа пробної ділянки становила 100 м<sup>2</sup>. У межах пробної ділянки зразки відбиралися методом

конверту з формуванням одного середнього зразка. Глибина відбору ґрунтових зразків - в межах 0-20 см;

- рослинні зразки (вегетативна фракція, генеративна фракція, корені) відбирали в цих же місцях та формували середні проби з вегетативної маси (стебла + листя), генеративної (насіння + плодові оболонки) та корені;

- вміст легкогідролізованого азоту в ґрунті (за методом Корнфілда), рухомі форми фосфору і калію (за Чириковим) [22] визначались в лабораторії «Агроскоп Інтернешнл» (м. Київ);

- рухомі форми важких металів у фітомасі рослин визначали в їх зольних розчинах методом атомно-абсорбційної спектрометрії на приладі марки СТЕ-1 та методом мас-спектрометрії;

- для характеристики міграції ВМ та біохімічних особливостей рослин застосовували методику Авесалової та ін. (1987). Кількісну оцінку надходження ВМ з ґрунту в рослини розраховували за коефіцієнтом біологічного накопичення (КБН). Цей коефіцієнт визначає співвідношення вмісту металу в одинці маси акцептора (рослина в перерахунку на її суху масу) і донора – ґрунту.

$$\text{КБН} = L_x / N_x,$$

де  $L_x$  - вміст елемента в золі рослини,

$N_x$  - його вміст у ґрунті.

## РОЗДІЛ 3

### АНАЛІЗ ВПЛИВУ ВИРОЩУВАННЯ ОЛІЙНИХ КУЛЬТУР ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА БІОПАЛИВА НА ЕКОЛОГІЧНУ БЕЗПЕКУ ҐРУНТІВ

#### 3.1. Вплив вирощування олійних культур на вміст біогенних елементів у ґрунті

Серед біогенних речовин найбільш важливе значення для росту і розвитку олійних культур мають такі елементи як азот, фосфор та калій. Вони в найбільшій кількості серед макро- та мікроелементів поглинаються рослинами і мають важливе біогенне значення, беруть участь у більшості біохімічних процесів у рослині.

Нітратний азот не поглинається у ґрунтах, зберігає високу активність і за відповідних умов може вимиватись у ґрунтові води. За рекомендаціями ФАО добова доза нітратів складає приблизно 5 мг/кг, але при цьому летальною дозою є 8-15 г/кг. Нітратна форма азоту досить нестійка і легко вимивається опадами в більш глибокі шари ґрунту. Для рослин більш важлива лужногідролізована форма азоту, яка свідчить про кількість доступного для рослин азоту.

В задачу дослідження входило виявити вплив вирощуваних олійних культур на зміни цієї форми азоту протягом вегетації. Визначали кількість лужногідролізованого азоту двічі за вегетацію культур - навесні і восени після їх збирання. За контроль брали вміст лужногідролізованого азоту під основною зерновою культурою – озимою пшеницею. Отримані результати досліджень за 2021 та 2022 р.р. представлені на рис. 3.1 та 3.2.

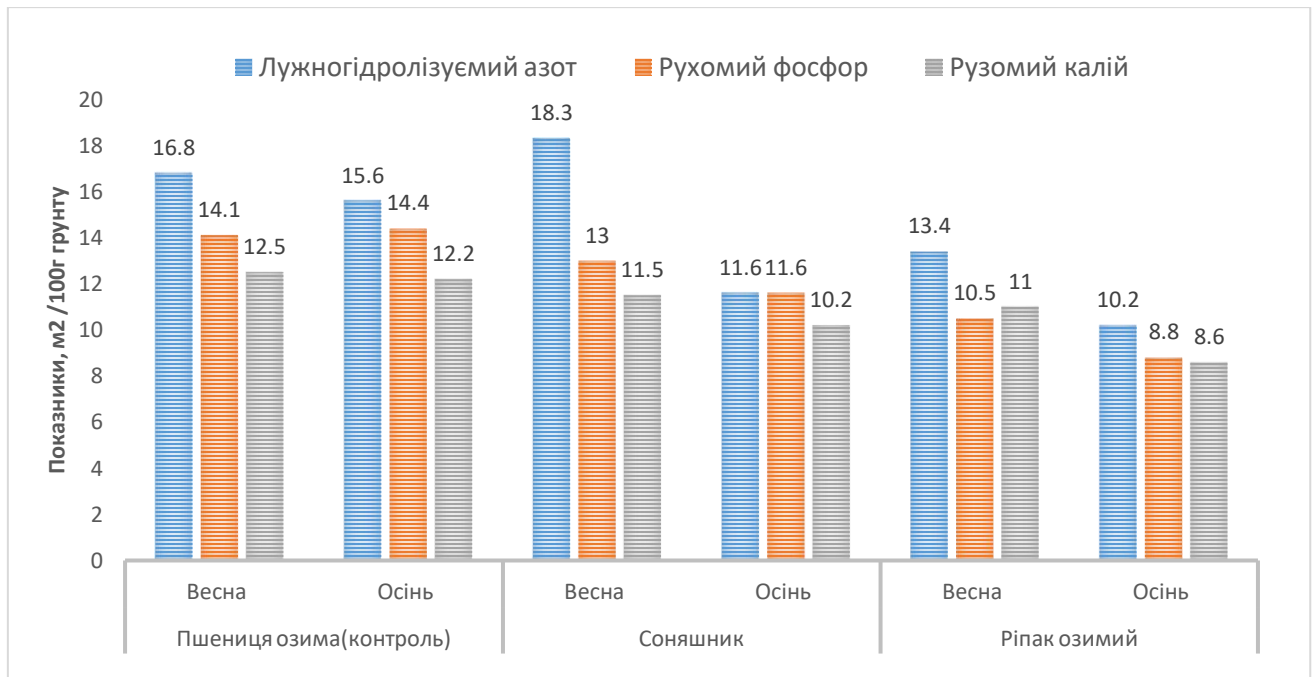


Рис 3.1 – Динаміка рухомих форм NPK в орному шарі ґрунту під різними олійними культурами, 2021 рік

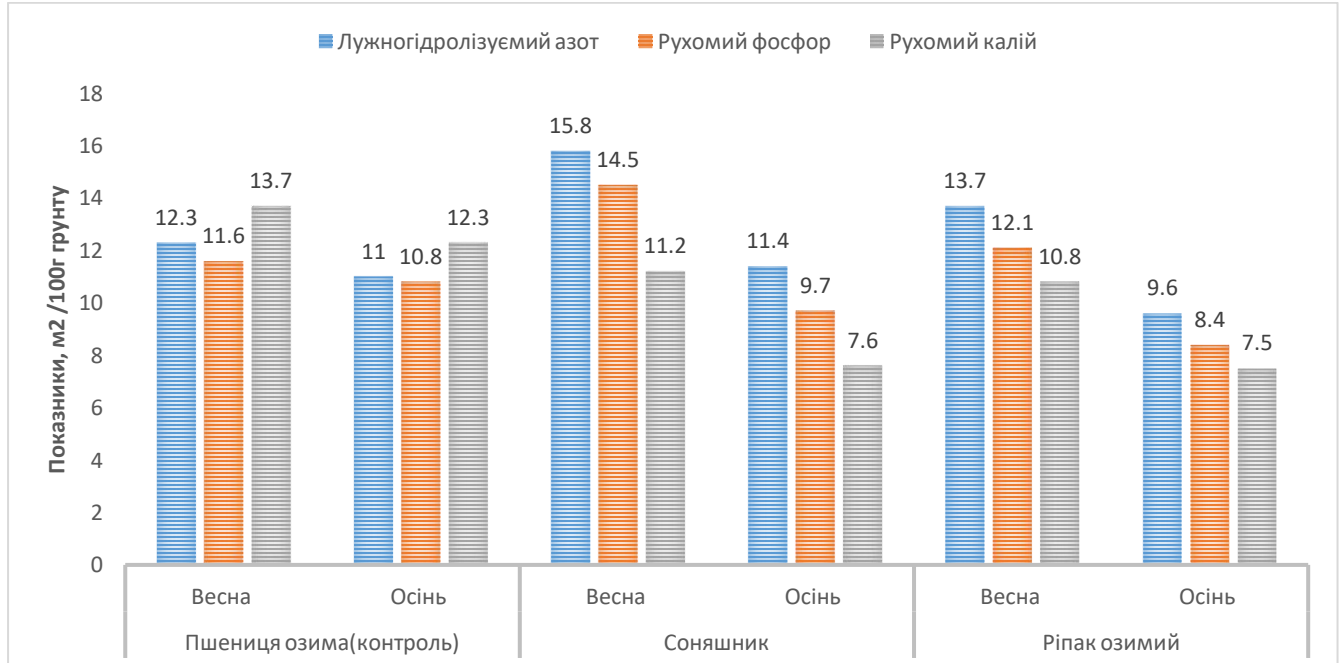


Рис 3.2 – Динаміка рухомих форм NPK в орному шарі ґрунту під різними олійними культурами, 2022 р.

Отримані дані показують, що олійні культури значно більше виносять лужногідролізовані форми азоту з ґрунту ніж озима пшениця, і після збирання озимого ріпаку кількість цієї форми азоту в орному шарі ґрунту в 2021 році зменшується з 13,4 до 10,2 мг/100 г ґрунту. В ґрунті під соняшником кількість лужногідролізованого азоту також зменшується від 18,3 мг/100 г ґрунту навесні до 11,6 мг/100 г ґрунту при його збиранні. Таким чином, незважаючи на високі дози внесених мінеральних добрив (N60, P80, K80) за 10 останніх років відмічається значний винос рухомого азоту олійними культурами та зменшення його запасів в ґрунті після збирання культур. Вміст рухомого фосфору більшою мірою знижується в ґрунті в осінній період при збиранні культур, особливо соняшнику. Так, якщо при сівбі за сприятливих умов його накопичення в верхньому шарі ґрунту складало 13,0 мг/100 г ґрунту, то перед збиранням вміст рухомого фосфору зменшився до 11,6 мг/100 г ґрунту або на 10,8 %. Ці результати свідчать про значний винос фосфору з ґрунту при вирощуванні соняшнику із високим насичення його в сівозміні і про потребу внесення високих доз фосфорних добрив, які будуть збільшувати забруднення ґрунтів важкими металами.

Кількість рухомого калію в ґрунті при вирощування олійних культур також суттєво зменшується перед збиранням, приблизно однаково як для озимого ріпаку, так і соняшнику (на 1,6 і 1,3 мг/100 г ґрунту відповідно). При цьому запаси рухомого калію протягом вегетації озимої пшениці практично не змінюються і знаходяться на рівні 12,2-12,5 мг/100 г ґрунту.

Таким чином, проведені у 2021 році дослідження свідчать про досить значне зниження запасів рухомих форм азоту, фосфору і калію в ґрунті під олійними культурами при значній насиченості ними польових сівозмін. Якщо ця тенденція буде зберігатись і надалі, то вона призведе до зменшення родючості чорноземних ґрунтів та їх хімічної деградації.

У 2022 році спостереження за запасами рухомих поживних речовин в ґрунті під олійними культурами дали наступні результати (рис. 3.2).

Цей рік відрізняється від попереднього більш оптимальною зволоженістю, особливо в період вегетації культур.

Необхідно зазначити, що встановлені закономірності зниження запасів рухомих поживних речовин в ґрунті зберігаються при вирощуванні як соняшнику, так і озимого ріпаку. Разом з тим, створення оптимального водного режиму ґрунту сприяє збільшенню кількості рухомих форм азоту і фосфору в ґрунті при сівбі олійних культур та значно більшим виносом їх з урожаєм основної та побічної продукції. Особливо високі втрати запасів рухомого фосфору в ґрунті (при насиченості сівозміни культурами до 33%) відмічаються при вирощуванні соняшнику. Запаси рухомого азоту зменшуються до 9,6 мг/100 г ґрунту і 11,4 мг/100 г ґрунту, рухомого фосфору до 8,4 і 9,7 мг/100 г ґрунту, рухомого калію до 7,5 і 7,6 мг/100 г ґрунту перед збиранням соняшнику і ріпаку озимого відповідно.

Таким чином встановлено суттєве зниження запасів важливих біогенних речовин в чорноземних ґрунтах при збільшенні насиченості сівозмін соняшником та озимим ріпаком протягом десяти років, коли сівозміни почали другу ротацію.

### 3.2. Аналіз забруднення ґрунтів важкими металами в процесі вирощування олійних культур для виробництва біопалива

В ході дослідження визначався вміст рухомих сполук найбільш шкідливих важких металів (Pb, Cd, Zn та Cu) в ґрунті під різними олійними культурами.

Свинець (Pb) - це важкий метал 1 класу небезпеки. Його вважають одним із найбільш токсичних хімічних елементів, значно поглинається гумусовим шаром ґрунту. Майже не мігрує в дерново-підзолистих ґрунтах і неможливе його транзитне перенесення з верхніх шарів у нижні на еродованих ґрунтах. Значно накопичується свинець при лужній реакції ґрунтового розчину, де він сприяє появі важкорозчинних осадів основних карбонатів, фосфатів або гідроокисів та впливає на живлення рослин. При накопиченні в ґрунтах свинцю в межах 2030

мг/кг ґрунту сприяє значній токсичності для росту і розвитку рослин. Свинець не належить до життєво необхідних мікроелементів. Він є дуже токсичним для живих організмів.

Цинк (Zn) також важкий метал 1 класу небезпеки. В умовах підвищеної вологості характерна висока міграційна здатність цинку в ґрунті.

Кадмій (Cd) є одним із важливих важких металів 1 класу небезпеки. Він має високі токсичні властивості, може накопичуватися в живих організмах та рослинах. Дсорбція кадмію відбувається в ґрунтах з великою ємністю вбирання, значним вмістом гумусу та високим показником рН ґрунтового розчину. Міграція кадмію в глибину збільшується із зменшенням вмісту гумусу, а також у ґрунтах з легким механічним складом. Кадмій не належить до мікроелементів, які беруть участь в метаболізмі рослин та інших живих організмів. Він є надзвичайно токсичним, навіть у незначних концентраціях та вважається одним із найнебезпечніших металів, що забруднюють їжу [32, 33, 34].

Мідь (Cu) – хімічний елемент, який належить до важких металів 2 класу небезпеки. В незначних концентраціях він відіграє позитивну роль для здійснення метаболічних процесів рослин.

Дослідження концентрацій рухомих сполук важких металів проводилися в сівозмінах з різною насиченістю олійними культурами (табл. 1.1).

За контрольний варіант (фон) був взятий вміст важких металів у ґрунті під луками та пасовищами у господарстві «Рось». Концентрація рухомих форм біогенних речовин макро- та мікроелементів в цих ґрунтах наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1

**Вміст біогенних елементів, макро- та мікроелементів, важких металів в ґрунті під культурними луками та пасовищами, мг/кг**

Показник	Вміст хімічних елементів в ґрунті, мг/кг		
	2021 р.	2022 р.	Середні
Рухомий азот (N)	119	140	130
Рухомий фосфор (P)	140	108	124
Рухомий калій (K)	87	86	86
Натрій (Na)	8	6	7
Сірка (S)	3	6	5
Бор (B), W	1,1	1,2	1,2
Марганець (Mn)	0,9	1,1	1,0
Цинк (Zn)	0,05	0,05	0,05
Мідь (Cu)	0,08	0,012	0,01
Свинець (Pb)	0,50	0,74	0,62
Кадмій (Cd)	0,24	0,30	0,27

Як свідчать дані табл. 3.1, досліджувані ґрунти мають низький рівень забезпечення такими важливими біогенними речовинами як азот та фосфор, та достатній рівень забезпечення калієм. Ці ґрунти потребують додаткового внесення таких мікроелементів, як сірка, бор та марганець.

Вміст важких металів в рухомій формі у верхньому 0-15 см шарі ґрунту під луками та пасовищами знаходиться на досить низькому рівні, особливо Zn (0,05 мг/кг ґрунту) та Cu (0,08 мг/кг ґрунту). Середня концентрація Pb - 0,62 мг/кг і Cd - 0,27 мг/кг, також значно нижче ГДК, що свідчить про незначне забруднення ґрунтів цих сільськогосподарських угідь важкими металами.

Одним із завдань дослідження було визначення концентрації та накопичення важких металів в ґрунтах польових сівозмін, в яких протягом 10 років вирощувались олійні культури із високим рівнем їх насиченості. Отримані дані по забрудненню чорноземних ґрунтів основними важкими металами наведені в таблиця 3.2.

Таблиця 3.2

**Концентрація рухомих форм Pb, Cd, Cu, Zn в ґрунті  
при вирощуванні олійних культур, мг/кг**

Важкі метали	ГДК	Вміст під озимим ріпаком			Вміст під соняшником		
		2021 р.	2022 р.	Середнє	2021 р.	2022 р.	Середнє
Pb	6,0	1,81	2,33	2,07	2,67	3,01	2,84
Cd	0,7	0,47	0,75	0,61	0,42	0,68	0,55
Cu	23,0	0,94	1,22	1,08	0,79	1,13	0,96
Zn	3,0	0,60	0,86	0,73	0,63	0,87	0,75

Аналіз, представлених в табл. 3.2 даних, свідчить, що в умовах вегетаційного періоду 2022 року при оптимальному зволоженню ґрунту, значно більше накопичується рухомих форм важких металів. Ця закономірність простежується для всіх важких металів, що вивчалися. В середньому за 2 роки у першій сівозміні в ґрунті накопичувалося більше Cd (0,61 мг/кг) і Zn (0,73 мг/кг) ніж у другій сівозміні. При більш суттєвому насиченні сівозміні соняшником в ґрунті накопичується вищий вміст Pb (до 2,84 мг/кг) і Zn (0,73 мг/кг). Але їх кількісний вміст знаходиться в межах гранично допустимих концентрацій (6,0 мг/кг та 3,0 мг/кг ґрунту відповідно). Концентрація Cd (0,55-0,61 мг/кг) досить близька до допустимих граничних показників (0,7 мг/кг).

Таким чином, в першій польовій сівозміні з насиченістю озимим ріпаком до 30 % накопичується більше Cd ніж у другій сівозміні. При суттєвому збільшенні насиченості сівозміні соняшником накопичується більше Pb. Всі ці показники значно нижчі за гранично допустимі концентрації. І тільки концентрація Cd в першій і другій сівозміні близька до гранично допустимих показників. Це потрібно враховувати при подальших дослідженнях та прийнятті рішень по зменшенню забруднення ґрунтів цим важким металом.

### 3.3. Міграція важких металів в системі «грунт – рослина – сільськогосподарська продукція»

Хімічний склад рослин в значній мірі відтворює хімічний склад ґрунту, але не всі елементи, що знаходяться в ґрунті накопичуються в них. Представники видів рослин в однакових ґрунтово-кліматичних умовах накопичують різну кількість певного елемента. Генеративні та вегетативні частини рослин можуть накопичувати різну кількість елементів. Навколишнє середовище та складові технології вирощування впливають не тільки на ґрунти але і рослини. В таких умовах найбільша кількість певних елементів накопичується в корінні, значно менше у вегетативній частині рослини (в стеблах та листі), і мало або майже не накопичується в генеративних органах рослин. Численними дослідженнями встановлено, що на різних стадіях розвитку рослин вміст хімічних елементів може бути різним [10, 35, 36, 37]. На стадіях інтенсивного росту і розвитку рослин вони найбільш енергійно поглинають мінеральні речовини ґрунту. Ця інтенсивність поглинання значно залежить як від наявності мінеральних речовин в ґрунті так і тривалості розвитку рослин. Найменше накопичують в собі хімічних елементів рослини, що вегетують протягом однієї вегетації. На процес накопичення хімічних елементів має значений вплив швидкість переміщення елементів із складу важких металів кадмій, цинк та свинець в ґрунті малорухомі, а мідь – елемент надзвичайно рухомий [38, 39, 40]. Ґрунти значно впливають на накопичення цих елементів та в значній мірі формують екологічну якість рослинної продукції [41].

Існує кореляційний зв'язок між вмістом важких металів у ґрунті та рослинах. Більшість вчених визначають, що існують наступні шляхи потрапляння важких металів з ґрунту у рослини. Важкі метали можуть поглинатися кореневою системою рослин та переміщуватись або метаболічним шляхом або пасивно. До складу рослин входить 78 елементів із 108 відомих у природі. З активним транспортом по культурі пересуваються макро- та мікроелементи, які виконують

біологічні функції. Іноді хімічно подібні метали можуть замінити метали, які необхідні для рослин [41, 42, 43].

Різні види рослин мають неоднакову акумулятивну здатність і кількість важких металів в них є неоднаковою. На акумулятивна здатність рослин впливають такі чинники навколишнього середовища як: вологість, температура, тип ґрунту, його використання та ін. Процес міграції важких металів у системі «ґрунт – рослина» залежить від концентрації їх рухомих форм у ґрунті. Види рослин мають неоднакову здатність до накопичення важких металів і їх біо акумуляція має певну тенденцію, що дозволяє впорядкувати їх у кілька груп:

- кадмій – елементи інтенсивного поглинання;
- цинк, молібден, мідь, свинець – елементи середнього ступеня поглинання.

Під час росту рослин, хімічні елементи накопичуються та можуть перерозподіляються по їх вегетативних та генеративних частинах. Мідь і цинк мають найменшу концентрацію у коренях рослин, значно більша їх концентрація притаманна для зерна, найбільша кількість їх в соломі. Найбільша концентрація свинцю, кадмію та стронцію накопичуються в зерні, значно менше в соломі та найменша кількість – в коренях.[11].

В табл. 3.3 представлені отримані дані по концепції важких металів в різних фракціях фітомаси озимого ріпаку та соняшнику. Дані табл. 3.3 свідчать, що найбільша кількість Cd в фітомасі озимого ріпаку відмічається в корінні (1,28 мг/кг), менше - у вегетаційній фракції (0,92 – 0,97 мг/кг) і найменше накопичується в насінні (0,48 м/кг). Спостереження за вмістом Pb свідчить, що більше всього цього елемента накопичується в вегетативній масі, потім - в насінні і в коріннях ріпаку. Pb – це єдиний досліджуваний забруднювач, який характеризується стабільним накопичуванням в підземній фракції (корінні) озимого ріпаку. Це, ймовірно, характеризує легку доступність цього металу з ґрунту. Максимальна кількість Cu накопичується в вегетативній масі (в листі - 4,87 мг/кг), потім - в насінні (3,97 мг/кг) і найменше - в коренях (1,65 мг/кг). Zn

також накопичується в різних частинах рослини, але в значно меншій кількості, і просліджується та сама закономірність що і для Cu.

Таблиця 3.3

**Вміст Cd, Pb, Cu та Zn у фракціях фітомаси  
озимого ріпаку та соняшнику (2022 рік)**

Фракція фітомаси		Елемент	Вміст, мг/кг	
			Озимий ріпак	Соняшник
Генеративна фракція (насіння)		Cd	0,48	2,70
		Pb	4,05	5,82
		Cu	3,94	2,55
		Zn	1,36	1,08
Вегетативна фракція	Листя	Cd	0,97	1,07
		Pb	5,28	6,24
		Cu	4,87	4,06
		Zn	2,66	2,83
	Стебла	Cd	0,92	1,40
		Pb	2,41	4,71
		Cu	2,05	3,35
		Zn	1,14	2,17
Підземна фракція (коріння)		Cd	1,28	1,56
		Pb	3,44	4,85
		Cu	1,65	1,98
		Zn	0,56	0,74

За вмістом важких металів в різних частинах рослин озимого ріпаку досліджувані метали можна росташувати у такі ряди:

- підземна фітомаса (корені): Pb > Cu > Cd > Zn;
- генеративна фітомаса (насіння): Pb > Cu > Zn > Cd;
- вегетативна фітомаса:(листя): Pb > Cu > Zn > Cd;
- вегетативна фітомаса: (стебла): Pb > Cu > Zn > Cd.

Дещо інша закономірність спостерігається в накопиченні важких металів в фітомасі соняшнику. Найбільша кількість Cd (2,70 мг/кг) накопичується в насінні, менше - в кореневій системі і вегетативній фракції, особливо в стеблах.

Свинець за загальним вмістом переважає всі інші елементи, але найбільше накопичується в листях, потім - в насінні, коренях та стеблах рослин.

Міді накопичується більше всього в листях та стеблах, менше - в насінні та коренях рослин.

Цинку в фітомасі соняшнику накопичується значно менше, ніж інших важких металів, і він кількісно переважає у вегетативній масі.

За вмістом важких металів у різних частинах соняшнику досліджувані важкі метали можна розташувати у такі ряди:

- підземна фітомаса (корені):  $Pb > Cu > Cd > Zn$ ;
- генеративна фітомаса (насіння):  $Pb > Cd > Cu > Zn$ ;
- вегетативна фітомаса (листя, стебла):  $Pb > Cu > Zn > Cd$ .

Загальний вміст важких металів у різних частинах рослин ріпаку озимого та соняшнику наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4

**Загальний вміст Cd, Pb, Cu та Zn у фітомасі озимого ріпаку та соняшнику,  
мг/кг.**

Елементи	Вміст елементів, мг/кг	
	ріпак озимий	соняшник
Cd	3,65	6,73
Pb	15,18	21,62
Cu	12,51	11,94
Zn	5,72	6,82

Як свідчать дані табл. 3.4, у фітомасі озимого ріпаку і соняшнику більше всього накопичується Рb (5,18 мг/кг та 21,62 мг/кг відповідно), менше - Cu, Zn та Cd. При цьому їх концентрація в фітомасі рослин перевищує вміст цих важких металів у ґрунті.

## ВИСНОВКИ

1. В результаті проведеного дослідження встановлені закономірності зниження запасів біогенних речовин в ґрунті при вирощування олійних культур в порівнянні з контрольною культурою – озимою пшеницею. Запаси рухомого азоту зменшується до 9,6-11,4 мг/100 г ґрунту (під озимою пшеницею – 12,3-16,8 мг/100 г ґрунту), рухомого фосфору - до 8,4-9,7 мг/100 г ґрунту (під озимою пшеницею – 11,6-14,1 мг/100 г ґрунту), рухомого калію до 7,5-7,6 мг/100 г ґрунту (під озимою пшеницею – 12,5-13,7 мг/100 г ґрунту).

2. Вирощування олійних культур в сівозмінах за насиченості озимим ріпаком до 35% збільшує концентрацію в ґрунті Pb - в середньому до 2,07 мг/кг за 2 роки (0,62 мг/кг – під луками), Cd – до 0,61 мг/кг (0,27 мг/кг – під луками), Cu – до 1,08 мг/кг (0,01 мг/кг – під луками) і Zn - до 0,73 мг/кг (0,05 мг/кг – під луками). Вміст Cd в ґрунті досить близький до граничних концентрацій (0,7 мг/кг). Аналогічна закономірність відмічається в сівозміні за насиченості до 35% соняшником.

3. Аналіз накопичення важких металів в різних фракціях фітомаси рослин олійних культур показав, що найбільша кількість Cd відмічається в коренях ріпаку озимого, менше - у вегетаційній фракції та насінні. Pb, в основному, накопичується в листях, менше - в насінні та коренях. Така ж закономірність відмічається для Cu та Zn.

4. Найбільше накопичення Cd у фітомасі соняшнику фіксується в насінні (2,70 мг/кг), Pb - в листях, менше - в насінні та коренях.

5. Вирощування олійних культур із застосуванням інтенсивних технологій може створювати ризики екологічної небезпеки ґрунтів. Для зменшення ризику необхідно замінити використання мінеральних добрив на внесення біопрепаратів, мікродобрив та більш широко використовувати післяжнивні посіви сидеральних культур.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Дабіжук Т. М., Денисик Г. І. Аналіз джерел забруднення сполуками важких металів продуктів харчування в Україні. *Наукові записки Вінницького педуніверситету. Серія Географія*. 2010. Вип. 20. С. 161–167.
2. Купчик О. Ю. Визначення кореляції між вмістом важких металів у продуктах рослинництва при екологічному моніторингу. *Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування*. 2016. № 1(13). С. 85–91.
3. Білявський Г. О., Бутченко Л. І. Основи екології: теорія та практикум : навч. посіб. Київ : Лібра, 2006. 368 с.
4. Джигирей В. С. Екологія та охорона навколишнього природного середовища : навч. посіб. Київ : Знання, 2007. 422 с.
5. Бондарева О. Б., Коноваленко Л. І., Мілігула О. М. Міграція та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. *Агроекологічний журнал*. Київ. 2012. №3. С. 20-23.
6. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека / Гришко В. М. та ін. Донецьк : Донбас, 2012. 304 с.
7. Зеркалов Д. В., Ткачук К. Н., Ткачук К. К. Інженерна екологія: проблеми, моніторинг, управління : монографія. Київ : Основа, 2011. 580 с.  
URL:<http://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2012/01/%D0%86%D0%9D%D0%96%D0%95%D0%9D%D0%95%D0%A0%D0%9D%D0%90-%D0%95%D0%9A%D0%9E%D0%9B%D0%9E%D0%93%D0%86%D0%AF.-%D0%9C%D0%BE%D0%BD%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%8F.pdf>
8. Гамкало З. Г. Екологічна якість ґрунту : навч. посіб. Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2009. 412 с.

9. Некос А. Н. Конструктивно-географічні засади аналізу формування рівня забруднення рослинної продукції : дис. д. геогр. наук : 11.00.11. Харків, 2013. 412 с.

10. 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. Харків : ННЦ ІГА, 2015. 24 с.

11. Щербаченко О. І. Важкі метали як токсичний фактор забруднення природного середовища. Стійкість і адаптація рослин до їх впливу. *Наук. записки державного природознавчого музею*. 2014. № 30. С. 157–182.

12. Балаж Н. Й. Регіональні особливості проблем екологізації сільськогосподарського землекористування (на прикладі Закарпатської області): автореф. дис. канд. екон. наук: 08.00.05 / Держ. вищ. навч. закл. «Ужгород. нац. ун-т». Ужгород, 2009. 26 с.

13. Будзьяк О. С. Організаційно-економічний механізм екологобезпечного використання земель України: автореф. дис. д-ра екон. наук: 08.00.06. Київ : НУБіП України, 2013. 39 с.

14. Купріянич І. П. Економіко-ландшафтне зонування сільськогосподарських земель як наукова основа їх екологобезпечного використання на регіональному рівні: автореф. дис. канд. екон. наук: 08.00.06. Київ : Нац. ун-т біоресурсів і природокористування України, 2009. 19 с

15. Jensen J., Mesman M. Ecological Risk Assessment of contaminated land. Decision Support for Site specific investigations. National Institute for public health and the environment, RIVM, Bilthoven, The Netherlands. 2006.

URL: <https://www.rivm.nl/bibliotheek/rapporten/711701047.pdf>

16. Baath E. Effects of Heavy Metals in Soil on Microbial Process and Populations. *A Review Water Air Soil Pollutants*. 1989. Vol. 4. Pp. 335-379.

URL: <https://www.scirp.org/%28S%28lz5mqp453edsnp55rrgjct55%29%29/reference/referencespapers.aspx?referenceid=659462>

17. Giller K.E., Witter E., McGrath S.P. Toxicity of heavy metals to microorganisms and microbial processes in agricultural soils: a review. *Soil Biol Biochem.* 1998. Vol. 30. Pp. 1389-1414.

URL: [https://doi.org/10.1016/S0038-0717\(97\)00270-8](https://doi.org/10.1016/S0038-0717(97)00270-8)

18. Circular on target and intervention values for soil remediation / Ministry of Housing, Spatial Planning and the Environment. Bilthoven, The Netherlands. VROM. 2000. 51 p.

URL: [https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annexs\\_i2000dutch%20environmental%20standards.pdf](https://support.esdat.net/Environmental%20Standards/dutch/annexs_i2000dutch%20environmental%20standards.pdf)

19. Federal Soil Protection and Contaminated Sites Ordinance (BBodSchV). 1999. URL: [https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration\\_files/Normas\\_secundarias/Anexo\\_documental/Rep%C3%BAblica\\_Federal\\_de\\_Alemania/Suelo/AL-SU-05-FSP.pdf](https://www.sea.gob.cl/sites/default/files/migration_files/Normas_secundarias/Anexo_documental/Rep%C3%BAblica_Federal_de_Alemania/Suelo/AL-SU-05-FSP.pdf)

20. Law 22/2011 of 28 July, Contaminated Waste and Soil. 2011.

URL: <https://nicholasinstitute.duke.edu/plastics-policies/law-222011-july-28-contaminated-waste-and-soil>

21. Jensen J., Pedersen M. B. Ecological Risk Assessment of Contaminated Soil. *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology.* 2006. Vol. 186. Pp. 73-105. DOI: 10.1007/0-387-32883-1\_3

22. Агрохімічний аналіз: підруч. / М. М. Городній та ін.; за ред. М. М. Городнього. Київ : Арістей, 2005. 476 с.

23. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія / В. П. Патика та ін. ; за ред. В. П. Патики. Київ : Основа, 2005. 300 с.

24. Смирнов В. І. Геологія корисних копалин. Київ : Вища школа, 1995. 286 с.

25. Носко Б. С., Христенко А. О., Максимова В. П. та ін. Використання фосфоритів родовищ України на чорноземних ґрунтах. *Вісник аграрної науки.* 2001. №1. С. 34-36.

26. Гриньова Я.Г., Криштоп Є. А. Проблеми забруднення навколишнього середовища важкими металами та шляхи їх подолання. *Інженерія природокористування*. 2021. № 1(19). С. 111–119.

27. Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd в дерново-підзолистому ґрунті при різних рівнях імпактного поліметалічного забруднення. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Науково-теоретичний збірник*. 2011. №2 (29). Том 1. С. 21-37.

28. Мислива Т. М. Свинець і кадмій у ґрунтах агроландшафтів Житомирського Полісся. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2013. Вип. 3 (25). С. 43-50.

29. Бондарева О. Б., Коноваленко Л. І., Мілігула О. М. Міграція та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. *Агроекологічний журнал*. Київ, 2012. №3. С. 20-23.

30. Важкі метали у компонентах навколишнього середовища м. Маріуполь (еколого-геохімічні аспекти) / Кармазиненко С. П. та ін. Київ : Інтерсервіс, 2014. 168 с.

31. Демура В. І., Готвянська В. О., Павличенко А. В. Розподіл та накопичення важких металів в рослинах та ґрунтах на територіях розміщення відходів вуглевидобутку. *Геотехнічна механіка*. 2013. Вип. 111. С. 23-29.

32. Носко Б. С., Христенко А.О., Максимова В.П. та ін. Використання фосфоритів родовищ України на чорноземних ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2001. №1. С.34-36.

33. Мислива Т. М. Важкі метали в рослинництві Українського Полісся. *Таврійський науковий Вісник*. 2010. Вип. 70. С. 224-233.

34. Мислива Т.М. Проблеми нормування важких металів в ґрунті. *Вісник ХНАУ*. 2008. № 4. С. 155-161.

35. Самчук А. І., Кураєва І. В., Єгоров О. С. Важкі метали в ґрунтах Українського Полісся та Київського маґаполісу. Київ : Ін-т геохімії, мінералогії та рудоутворення НАН України, 2006. 108 с.

36. Долгова Т. І. Визначення функцій самовідновлення екосистем ґрунтів при різних рівнях їх забруднення. *Екологія і природокористування*. Дніпропетровськ : ІППЕ НАН України, 2000. Вип.2. С. 88-91.

37. Бондарева О. Б., Коноваленко Л. І., Мілігула О. М. Міґрація та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. *Аґроекологічний журнал*. Київ. 2012. №3. С. 20-23.

38. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека / Гришко В.М. та ін. Донецьк: Донбас, 2012. 304 с.

39. Єгорова Т. М. Еколого-геохімічні процеси міґрації цинку в аґроландшафтах України. *Аґроекологічний журнал*. Київ. 2014. №3. С. 14-22.

40. Мислива Т. М. Свинець і кадмій у ґрунтах аґроландшафтів Житомирського Полісся. *Вісник Сумського національного аґрарного університету*. Вип. 3 (25). 2013. С. 43-50.

41. Ткачук О. П. Використання багаторічних бобових трав для зниження вмісту важких металів у ґрунті. *Збалансоване природокористування : наук.-практ. журнал*. 2015. №4. С. 138-140.

42. Бакка М. Т., Стрельченко В. П., Божок П. Т. Основи ведення сільського господарства та охорона земель : навч. посіб. Житомир : ЖІТІ, 2000. 366с.

43. 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.

**Середньомісячна температура повітря (°С)  
(за даними Білоцерківської метеостанції)**

Місяць	Середня багаторічна	2021р.	2022 р.
Січень	-7,8	-7,3	-10,8
Лютий	-8,2	-1,1	-4,0
Березень	-0,1	3,7	+5,4
Квітень	6,9	6,3	+8,9
Травень	14,8	13,9	+15,0
Червень	17,8	22,6	+20,1
Липень	20,7	23	+21,4
Серпень	19,6	24	+23,7
Вересень	13,8	14,9	+17,5
Жовтень	7,9	7,7	+8,3
Листопад	2,0	1,7	+2,6
Грудень	-5,6	-2,1	+3,1
Всього за рік	6,8	8,9	9,2

**Сума опадів (мм) (за даними Білоцерківської метеостанції)**

Місяць	Середня багаторічна	2021 р.	2022 р.
Січень	56	64	102
Лютий	32	28	31
Березень	44	58	77
Квітень	53	62	90
Травень	62	74	137
Червень	65	55	52
Липень	78	82	48
Серпень	64	43	56
Вересень	52	26	92
Жовтень	40	29	51
Листопад	41	48	33
Грудень	38	48	44
Всього за рік	625	637	813