

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ВЕТЕРИНАРНОЇ
МЕДИЦИНИ ТА БІОТЕХНОЛОГІЙ ІМ.С.З.ГЖИЦЬКОГО
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ОХОРОНИ ДОВКІЛЛЯ

Кафедра екології та захисту довкілля

Допускається до захисту

"_____" 2025 р.

Зав. кафедри _____

(підпис)

к.б.н., доцент П.Р.Хірівський

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

магістр

(освітній-ступінь)

**на тему: „ Ефективність фіторе mediaції сірих лісових ґрунтів
за вирощування амаранту в умовах Західного регіону України”**

Виконав студент групи Еко- 53

Спеціальності 101 «Екологія»

Попівняк Тарас Романович

Керівник С.Ф. Разанов

Консультант Л.М. Гордійчук

Дубляни 2025 року

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування

Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології
Освітньо-кваліфікаційний рівень «магістр»
Спеціальності 101«Екологія»

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри _____
к.б.н., доцент П.Р.Хірівський

" _____ " _____ 2024р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студента

Попівняка Тараса Романовича

1. Тема роботи: «Ефективність фітореMediaції сірих лісових ґрунтів за вирощування амаранту в умовах Західного регіону України»

Керівник кваліфікаційної роботи Разанов Сергій Федорович, доктор с.-г. наук, професор

Затверджені наказом по університету від « _____ » _____ 2025р. № _____

2. Строк подання студентом дипломної роботи 10 грудня 2025 року

3. Вихідні дані для дипломної роботи

Літературні джерела по дипломній роботі, еколого-географічна характеристика району, звіт про екологічний стан підприємства

4. Зміст дипломної роботи (перелік питань, які необхідно розробити) _____

ВСТУП

1. Техногенне навантаження на сільськогосподарські угіддя та вирощування і використання амаранту.

1.1. Використання амаранту в рослинництві.

1.2. Техногенне навантаження на ґрунти радіонуклідів та важких металів.

1.3. Заходи щодо зниження забруднення ґрунтів токсикантами.

2.1. Умови та методи проведення досліджень.

3. Інтенсивність накопичення та винесення з ґрунту токсикантів за вирощування амаранту.

3.1. Інтенсивність накопичення та винесення цезію-137 з сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту.

3.2. Інтенсивність накопичення і винесення свинцю з сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту.

4. Охорона праці та захист населення.

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

5. Перелік графічного матеріалу (подається конкретний перерахунок аркушів з вказуванням їх кількості) Схеми, рисунки, світлини

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1,2,3,4,5	Разанов С.Ф., доктор с.-г. наук, професор кафедри екології та захисту довкілля		
6	Гордійчук Л.М. доцент кафедри інженерної механіки		

7. Дата видачі завдання 10 вересня 2024 р.

Календарний план

№п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1	Написання розділів «Вступу» та «Огляду літературних першоджерел»	10.09.24- 29.11.24	Вик.
2	Освоєння та формування методики виконання роботи	10.12.24- 20.03.25	Вик.
5	Опис результатів досліджень, формування висновків і пропозицій	20.03.25- 01.11.25	Вик.
6	Написання розділу з охорони праці та захисту населення	10.11.25	Вик.

Студент _____ Тарас ПОПІВНЯК
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи _____ Сергій РАЗАНОВ
(підпис)

УДК: 631.95:504.064:633.3(477.83)

«Ефективність фіторе mediaції сірих лісових ґрунтів за вирощування амаранту в умовах Західного регіону України». Кваліфікаційна робота магістранта Попівняка Тараса Романовича. Кафедра екології та захисту довкілля. – Дубляни, ЛНУВМБ імені С.З. Ґжицького, 2025.

49 с. текст. част., 2 табл., 17 рис., 25 джерел.

У кваліфікаційній роботі розглянуто техногенне навантаження на ґрунти сільськогосподарського призначення та особливості вирощування і використання амаранту в якості фіторе mediaнту.

Показано накопичення цезію-137 та свинцю надземною вегетативною масою амаранту, коефіцієнти небезпеки цезію-137 та свинцю даною культурою. Розраховано інтенсивність винесення з сірого лісового ґрунту цезію-137 та свинцю з вегетативною масою та насінням амаранту.

Встановлено, що коефіцієнт цезію-137 і свинцю у надземній вегетативній масі амаранту складає 0,025 та 0,3, в насінні 0,008; виявлено, що вміст цезію-137 та свинцю у надземній вегетативній масі й насінні не перевищував допустимі рівні.

Встановлено, що за вирощування амаранту на сірих лісових ґрунтах з урожайністю вегетативної маси 22,4 т/га та насіння 2,2 т/га з одного гектару площі виноситься до 373176 Бк цезію-137 та до 35947 мг свинцю.

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ УГІДДЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ Й ВИКОРИСТАННЯ АМАРАНТУ	9
1.1. Використання амаранту в рослинництві	9
1.2. Техногенне навантаження на ґрунти радіонуклідів та важких металів	14
1.3. Заходи щодо зниження забруднення ґрунтів токсикантами	17
РОЗДІЛ 2. УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ	23
2.1. Умови проведення досліджень	23
2.2. Методика проведення досліджень	26
РОЗДІЛ 3. ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИНЕСЕННЯ ТОКСИКАНТІВ З ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ	28
3.1. Інтенсивність накопичення та винесення цезію-137 з сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту	28
3.2. Інтенсивність винесення з насінням амаранту свинцю з сірого лісового ґрунту	34
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	40
ВИСНОВКИ	44
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	46

ВСТУП

В умовах сучасного техногенного навантаження на навколишнє середовище одним із важливих завдань є контроль за переміщенням токсикантів в екосистемах. Помітне підсилення небезпеки токсикантів спостерігається за перебування їх в обмінній формі, що створює певні проблеми для їх контролю та знешкодження. Мігруючи в таких системах як ґрунт → рослини → продукція рослинництва → організм людини токсиканти негативно позначаються на їх стані. Зокрема, високий вміст токсикантів, таких як радіонукліди і важкі метали, призводять до зниження активності корисної мікрофлори ґрунту, пригнічення росту і продуктивності рослин, й загалом виникнення цілої низки захворювань населення. Такі наслідки потребують заходів щодо обмеження надходження цих токсикантів до ґрунтів, що в свою чергу позитивно відобразиться на якості рослинної продовольчої сировини та стані здоров'я населення.

Система заходів, які спрямовуються щодо зменшення ризиків впливу токсикантів на населення, є, насамперед обмеження їх потрапляння у довкілля, зокрема в ґрунтове середовище; переведення забруднювачів у ґрунті в малодоступні (необмінні) форми; застосування сучасних екологічно безпечних технологій переробки рослинницької продукції; а також упровадження методів очищення ґрунтів від цих сполук.

Серед перерахованих заходів особливої уваги за високої екологічної і економічної ефективності є очищення ґрунтів за рахунок фіторемедіації. Тобто, винесення з ґрунту токсикантів з вегетативною масою рослин з подальшою її переробкою чи захороненням.

Серед культур-фіторемедіантів науковців та практиків привертає увагу така рослина як амарант, яка характеризується високою врожайністю, невибагливістю до ґрунтів та природньо-кліматичних умов.

Аналіз літературних першоджерел показує, що амарант в якості фіторемедіанта вивчений в умовах Західного регіону недостатньо, що і визначило нашу тему кваліфікаційної роботи.

За таких умов виникає потреба у зниженні надходження токсичних речовин в системі ґрунт продукція рослинництва. Одним з високоефективних екологічних заходів перешкодження міграції токсикантів до рослин є зниження їх у ґрунтах за рахунок фіторе mediaції.

Метою досліджень було вивчення інтенсивності винесення з сірого лісового ґрунту цезію – 137 та свинцю за вирощування амаранту.

Об'єкт досліджень – інтенсивність транслокації цезію-137 та свинцю в системі ґрунт → надземна вегетативна маса амаранту.

Предмет досліджень – ефективність фіторе mediaції сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту. Для досягнення мети завданням передбачено:

- проведення аналізу літературних першоджерел;
- вивчення інтенсивності накопичення у надземній вегетативній масі амаранту цезію-137;
- вивчення інтенсивності накопичення в насінні амаранту цезію-137;
- дослідження інтенсивності винесення з сірого лісового ґрунту цезію-137;
- вивчити накопичення у надземній вегетативній масі амаранту свинцю;
- вивчити накопичення у насінні амаранту свинцю;
- дослідити інтенсивність винесення з сірого лісового ґрунту свинцю за вирощування амаранту.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

мг/кг – міліграм на кілограм

Бк/кг – беккерель на кілограм

ДР – допустимі рівні

т/га – тонн на гектар

К неб. – коефіцієнт небезпеки

К нак. – коефіцієнт накопичення

¹³⁷Cs – цезій-137

Pb – свинець

РОЗДІЛ 1.

ТЕХНОГЕННЕ НАВАНТАЖЕННЯ НА СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКІ УГІДДЯ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИРОЩУВАННЯ Й ВИКОРИСТАННЯ АМАРАНТУ

1.1. Використання амаранту в рослинництві

Відомо, що альтернативою мінеральних добрив можуть бути зелені добрива, які представлені сидератами. Результативність використання сидератів визначається сукупністю чинників, насамперед видом культури, рівнем накопиченої біомаси та її хімічними особливостями. Найкращий ефект зеленого добрива зазвичай проявляється за достатнього зволоження, коли надземна маса має підвищену вологість. У таких умовах органічна речовина швидше мінералізується ґрунтовими мікроорганізмами й переходить у форми елементів живлення, доступні для рослин. Паралельно відмічають поліпшення водного, повітряного та теплового режимів ґрунту.

Практика свідчить, що серед рослинності найбільш привабливими є бобові і капустяні культури. Бобові сидеральні культури формують поживно цінну вегетативну масу, насамперед завдяки високому вмісту сполук азоту. Капустяні, у свою чергу, вирізняються інтенсивними темпами росту та значним виходом зеленої маси за короткий період вегетації.

До найбільш поширених бобових сидератів відносять горох, вику, боби, люпин, пелюшку та кормові боби. Їх можна висівати у другій половині липня, отримуючи врожайність зеленої маси до 10 т/га. За повного циклу вирощування (від весни) продуктивність може досягати 30-50 т/га і більше. Бобові культури збагачують ґрунт азотом, поліпшують його аерацію, зменшують забур'яненість, а також сприяють переходу важкорозчинних сполук фосфору й калію у більш доступні для рослин форми.

До швидкорослих сидеральних культур родини капустяних належать ріпак (озимий і ярий), гірчиця, редька олійна, суріпиця. За сприятливих умов вони формують значний обсяг зеленої маси до 30 т/га. Заробляння цієї біомаси в

грунт під час приорювання поповнює запаси основних елементів живлення, підсилює фітосанітарний стан ґрунтового середовища та, як правило, сприяє підвищенню врожайності культур у наступній ланці сівозміни.

На практиці також використовують в якості сидератів такі культури як фацелія, гречка, суданська трава, амарант та ін. Високу як економічну, так і екологічну ефективність встановлено за використання сидератів (горох, озимий ріпак, озима пшениця) вирощених з зерна втраченого під час збору врожаю тобто падалишних сидератів. На відміну від вищеперерахованих культур-сидератів амарант є маловивчений.

Площі посівів амаранту в Україні збільшуються повільними темпами. Важливою перевагою цієї культури є відносно економне використання вологи впродовж вегетаційного періоду, що підвищує її адаптивність за умов обмеженого зволоження.

Амарант вирізняється швидкими темпами росту, адже уже через 45-60 діб він здатний сформувати до 40 т/га надземної вегетативної маси, багатої на сполуки азоту. Для цієї культури характерний підвищений уміст азоту в біомасі, зокрема, він є вищим, ніж у гороху (у 1,46 раза), у вики ярої (у 1,83 раза), у кормових бобів (у 1,69 раза), у люпину однорічного (у 1,57 раза), а порівняно з гречкою (у 2,2 раза). Завдяки змішаному типу кореневої системи (стрижневій і мичкуватій, поверхневій) амарант ефективно розпушує ущільнені ґрунти та поліпшує їхню структуру. Серед сидеральних культур він також вирізняється однією з найменших норм висіву [26, 2, 10].

На ґрунтах високого рівня родючості, таких як чорноземи, амарант не потребує обов'язкового удобрення. Дана культура має досить розгалужену кореневу систему, яка проникає в глибокі прошарки ґрунту.

Розгалужена коренева система та глибоке проникнення в ґрунті дає можливість засвоювати поживні речовини з глибоких прошарків ґрунту. Норма висіву амаранту з метою вирощування складає 1,0-1,5 кг/га.

Характеризуючи хімічний склад надземної вегетативної маси амаранту в перерахунку на абсолютно суху речовину, слід зазначити, що вміст основних

елементів живлення становить, зокрема, калію 3,86-4,80%, фосфору 0,40-0,51%, азоту 2,20-2,55%.

Окремо встановлено, що листки амаранту відзначаються підвищеною концентрацією макроелементів (5,2% азоту, 0,82% фосфору, 4% калію, 1,7% магнію, 0,56% сірки, 2,4% кальцію).

Одним із результативних і водночас екологічно прийнятних шляхів поліпшення стану агроландшафтів, забруднених радіонуклідами, розглядають фіторе mediaцію – біологічний механізм зменшення вмісту токсикантів у ґрунті завдяки їх поглинанню та накопиченню в біомасі певних видів рослин [7-9]. Цей підхід широко оцінюють як доцільний для післяаварійного землекористування, зокрема на територіях, що зазнали впливу аварії на Чорнобильській атомній електростанції [15, 8].

За даними численних наукових праць, істотна частка цезію-137, представленого в ґрунті в обмінній (потенційно доступній для рослин) формі, може бути винесена з агроєкосистем у разі вирощування культур із вираженою здатністю до акумуляції та подальшого вилучення радіонуклідів із ґрунтового середовища. У цьому контексті привертає увагу амарант, культура, якій властиві висока екологічна пластичність, стійкість до дефіциту вологи та швидке нарощування надземної фітомаси.

У амаранта надземна біомаса відзначається високою концентрацією біологічно активних сполук. За вмістом вітамінів вона часто не поступається, а в окремих випадках і перевищує поширені овочеві культури. У перерахунку на суху речовину кількість аскорбінової кислоти може досягати 443 мг/100 г, що є співставним із показниками білоголової капусти, молоді картоплі, цибулі та деяких цитрусових. Окрім вітамінного комплексу, амарант накопичує широкий набір макро- та мікроелементів, зокрема K, Ca, P, B, Si, Mn, Ti, Zn, Fe. Листки культури використовують для виготовлення фіточаїв і як сировину для біологічно активних добавок; їх застосовують як самостійний харчовий продукт або як компонент для підвищення поживної цінності різних виробів. У

багатьох країнах широколисті форми амаранту з великою площею листової поверхні (до 100 м²/га) культивують як овочеву культуру [25, 17, 11].

За врожайності зеленої маси близько 75 т/га з 1 га посівів амаранту потенційно можна отримати до 3 т білка, що суттєво перевищує відповідні показники сої (0,6-0,8 т), гороху та ріпаку (0,4-0,5 т), а також пшениці й ячменю (0,2-0,3 т). Амарантовий білок вирізняється високою біологічною цінністю, оскільки за складом незамінних амінокислот наближається до білків тваринного походження. Це обґрунтовує перспективи використання культури як у харчовому й кормовому виробництві, так і як сировинної бази для фармацевтичної та косметичної галузей.

Згідно із сучасними даними, у біомасі амаранту фіксують наявність радіонуклідів, зокрема цезію-137. Водночас відомості про інтенсивність його накопичення амарантом за вирощування на сірих лісових ґрунтах Західного регіону України залишаються фрагментарними. Попри загальну кількість праць, присвячених радіонуклідному забрудненню та міграції цезію-137 у системі «ґрунт–рослина», саме для амаранту й саме для сірих лісових ґрунтів, характерних для цього регіону, дані про динаміку винесення радіонукліда надземною масою представлені недостатньо. Це формує чіткий науково-практичний запит на дослідження процесів акумуляції та вилучення цезію-137 амарантом і на обґрунтування можливостей використання культури в стратегіях біологічного очищення забруднених територій.

Дослідження показали, що інвазивні види амаранту мають сильну здатність до накопичення кадмію та свинцю в районах з низьким рівнем забруднення цими металами. В Україні, де ґрунтово-кліматичні умови дозволяють вирощувати практично всі сорти амаранту, ця культура може стати ефективним інструментом екологічного відновлення забруднених територій.

Амарант може ефективно накопичувати мідь та свинець з забруднених промислових ґрунтів, при цьому застосування азотних добрив значно підвищує ефективність фітоекстракції. Автори встановили, що використання азотних

добрих у дозі 190-380 мг/кг ґрунту сприяє збільшенню накопичення важких металів у надземній частині рослин.

Особливе значення амаранту для фітореMediaції підтверджується дослідженнями, які показали, що амарант є документованим гіперакумулятором кадмію та інших забруднювачів і зазвичай вирощується в Азії та Південній Америці. Важливо, що амарант здатен ефективно функціонувати в субоптимальних умовах, включаючи бідні на поживні речовини кислі ґрунти.

Ефективність амаранту як фітореMediaнта обумовлена специфічними фізіологічними та біохімічними механізмами. Дослідження на *Amaranthus spinosus* показали, що рослина здатна ефективно поглинати важкі метали з ґрунтів автомобільних майстерень та звалищ відходів, при цьому швидкість втрати важких металів свідчить про те, що на досягнення 100% втрати у вегетованому ґрунті потрібно менше часу, ніж у невегетованому.

В українських умовах амарант набуває особливого значення як культура подвійного призначення - із високим рівнем продуктивності та здатністю акумулювати токсиканти. Внесення мінеральних добрив сприяє підвищенню врожайності зеленої маси амаранту та посилює його здатність до фітоекстракції важких металів [1, 2].

Дослідження у Лісостепу Західної України показали, що врожайність різних сортів амаранту коливалася від 1,97 до 4,03 т/га, що забезпечувало рівень рентабельності від 11 до 127%. Такі результати свідчать про перспективність амаранту як високорентабельної продовольчої та кормової культури, а також як об'єкта для фітореMediaційних програм.

Крім того, амарант має високу біологічну цінність як кормова культура. Врожайність зеленої маси амаранту в умовах Полісся сягала 245,5 ц/га, а вміст сирого протеїну коливався залежно від фази розвитку, досягаючи максимуму 24,7% на початку викидання волоті. Оптимальне включення амаранту у комбінований силос (20-26%) позитивно впливало на продуктивність

відгодівельних свиней. Це підкреслює універсальність культури, яка поєднує кормову, продовольчу та екологічну функції.

Особливого значення набувають дослідження, проведені на сірих лісових ґрунтах Львівської області, які продемонстрували здатність амаранту ефективно виносити радіонуклід цезій-137. Зокрема, встановлено, що з гектара надземна маса акумулює близько 336 тис. Бк, тоді як насіння лише близько 9 тис. Бк, що у 37 разів менше. При цьому питома активність у біомасі й насінні значно нижча від допустимих норм (у 40 та 120 разів відповідно). Це робить амарант перспективною культурою подвійного призначення: і для фітореMediaції, і для використання в тваринництві [12].

В умовах України дослідження фітореMediaційного потенціалу сільськогосподарських культур набувають особливої актуальності через техногенне забруднення значних територій, особливо в промислових регіонах. Західний регіон України, незважаючи на менший рівень промислового забруднення порівняно зі східними областями, також потребує постійного моніторингу та розробки ефективних методів реMediaції забруднених ґрунтів.

1.2. Техногенне навантаження на ґрунти радіонуклідів та важких металів

Екологічна ситуація в Україні є нестабільною через цілий ряд наслідків, зокрема, аварії на Чорнобильській АЕС, військових дій та інтенсифікації галузі рослинництва. В навколишнє середовище потрапляє велика кількість шкідливих речовин, які осідають в ґрунтах забруднюючи їх такими речовинами як радіонукліди та важкі метали. Перебуваючи в обмінній формі токсиканти включаються в колообіг, суттєво знижуючи якість та безпеку продукції рослинництва, використання якої як харчової сировини для населення призводить до зниження імунітету та підвищення рівня його захворювання. Відомо, що переважна кількість токсикантів потрапляє в рослини через кореневу систему, яка виконує роль фільтрації так як переважна частина шкідливих речовин затримується кореневою системою.

Аварія на Чорнобильській АЕС призвела до забруднення великої території України, а також і цілого ряду як зарубіжних так і Європейських країн.

Серед найбільш постраждалих територій є Житомирська область, в якій 50 % території виявилось забрудненої, Київської - 26%, поряд з цим необхідно відмітити і Чернігівську, Рівенську, Сумську та Волинську. В залежності від рівня забруднення визначені чотири зони територій України. До них відносять зони відчуження, безумовного відселення, гарантованого добровільного відселення та посиленого радіаційного контролю.

Інтенсивність забруднення ґрунтів у зоні безумовного (обов'язкового) відселення складає по цезію-137 від 15,0 Кі/км² і вище, а по стронцію-90 від 3,0 Кі/км² і вище [8, 4, 9, 10].

Зона гарантованого добровільного відселення передбачає вміст у ґрунті цезію-137 від 5,0 Кі/км² до 15 Кі/км² по стронцію-90 від 0,15 Кі/км² до 3,0 Кі/км². Зона посиленого радіаційного контролю включає ґрунти вміст цезію-137 в яких складає від 1,0 Кі/км² до 5,0 Кі/км², а по стронцію-90 від 0,005 до 0,001 Кі/км².

В навколишнє середовище внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС потрапило біля 420 різного виду радіонуклідів, серед яких найвищою небезпекою характеризується цезій-137 та стронцій-90 через високу міграційну спроможність в системі ґрунт → рослинність.

Цезій-137 в рослинах та в живих організмах може заміщати калій, тому в рослинах найбільше накопичується в калієфілах, а в живих організмах в м'язевій тканині. З живих організмів цезій-137 виводиться протягом двох місяців. Однак, за постійного його надходження з продуктами живлення даний токсикант постійно перебуває у організмі опромінюючи його клітини та тканини.

Стронцій-90 є аналогом кальцію і накопичується переважно у кістковій та хрящовій тканинах. Даний токсикант має вищу міграційну активність порівняно з цезієм-137.

Встановлено, що інтенсивність міграції радіонуклідів, зокрема цезію-137 та стронцію-90 в системі ґрунт – рослини залежить від цілого ряду факторів, до яких необхідно віднести ботанічне походження рослин, тип ґрунту, генерального та органічного складу ґрунту, технології обробітку ґрунту, кислотності ґрунтів, рівня зволоження ґрунтів та ін. факторів.

Переважає частина радіонуклідів потрапляє у рослину трофічним шляхом, тобто через кореневу систему. Виявлено, що деякі рослини можуть накопичувати у своїй біомсі в декілька разів більше радіонуклідів ніж наявність їх в ґрунті.

Сільськогосподарська діяльність населення, особливо галузь рослинництва, стала потужним джерелом забруднення ґрунтів радіонуклідами, зокрема цезієм-137, калієм-40, радієм-226, торієм-232 та ін. Кожного року з мінеральними добривами кількість надходження цих елементів у ґрунти підвищується.

Потужним джерелом забруднення навколишнього середовища важкими металами є також промисловість, автотранспорт та сільськогосподарське виробництво. [6, 5, 24]

Практика показує, що кількість важких металів у навколишньому середовищі, зокрема, і ґрунтах постійно підвищується. Дані токсиканти потрапляють в навколишнє середовище у вигляді викидів промисловості та пересувних джерел. Тому і спостерігається вищий рівень забруднення ґрунтів важкими металами біля підприємств промисловості, особливо кольорової металургії, хімічних підприємств та автодорожнього та залізничного автополотна. Сільськогосподарське виробництво є також потужним забрудненням навколишнього середовища важкими металами, особливо ґрунтів сільськогосподарського виробництва.

Основними джерелами забруднення ґрунтів сільськогосподарського призначення є мінеральні та органічні добрива. Мінеральні добрива, такі як фосфорні та калійні, мають вищий вміст важких металів порівняно з органікою одержаною від галузі тваринництва.

Серед важких металів найбільша частка припадає на свинець, кадмій та цинк. Свинець відноситься до слабких мігрантів. Тому у ґрунті даний токсикант може накопичуватись у високих кількостях. Однак, враховуючи високий рівень надходження та негативний вплив його на живі організми свинець відносять до особливо небезпечних забруднювачів.

Кадмій є природнім компонентом ґрунтів, який потрапляє в них з ґрунтоутворюючих порід. Вміст кадмію у ґрунті коливається в таких межах від 0,01 мг/кг до 1 мг/кг. Кадмій, так як і свинець, має високу міграційну властивість та не належить до речовин необхідних для існування рослинного та тваринного світу.

Накопичення ґрунтами сільськогосподарських угідь важких металів стало певною проблемою у сільськогосподарському виробництві особливо за органічного землеробства.

Накопичення важких металів рослинністю має свої особливості, які залишають від цілого ряду факторів зокрема від кількості їх в ґрунті. Доведено, що за наявності у ґрунті лише одного токсиканту засвоюється рослиною спостерігається вище порівняно з комплексним вмістом.

У міграції важких металів важливу роль відіграють сорбційні властивості ґрунту, які в свою чергу залежать від вмісту у ґрунтах гумусу. В ґрунтах з високою кислотністю міграція важких металів в рослинність [20].

Потрапляючи в ґрунт важкі метали разом з іншими хімічними комплексами утворюють повільно рухомі сполуки. Встановлено, що органічна складова більш фіксує важкі метали порівняно з мінеральною. Виявлена і різниця в накопиченні рослинністю важких металів в залежності від їх хімічної природи. Так, свинець і мідь міцніше зв'язується в ґрунті порівняно з кадмієм. Накопичення і фіксація у ґрунтах важких металів залежить також певною мірою від кількості окису кальцію та фосфору. Інтенсивність накопичення важких металів рослинами може перевищувати їх кількість у ґрунтах. Природно-кліматичні фактори також мають суттєвий вплив на міграцію важких металів у ґрунту в рослинність. Потрапляючи в рослини важкі метали

розподіляються не рівномірно. Максимальна кількість свинцю і кадмію зосереджується в кореневій системі у надземній вегетативній масі накопичується менше важких металів порівняно з корінням.

1.3. Заходи щодо зниження забруднення ґрунтів токсикантами

Найбільш поширеною формою сучасного землеробства залишається інтенсивне сільськогосподарське виробництво, що базується на отриманні високих урожаїв за рахунок підвищених норм застосування агрохімікатів та інтенсивного використання ґрунтових ресурсів. Така модель спрямована на максимізацію обсягів продукції, однак масове виробництво і використання хімічних речовин створює додаткові ризики для довкілля та здоров'я людини. Інтенсифікація агровиробництва зумовила зростання надходження токсикантів у компоненти навколишнього середовища, що підвищує імовірність негативних медико-екологічних наслідків. У зв'язку з цим екологічні наслідки інтенсивного землеробства потребують системної оцінки та науково обґрунтованих заходів мінімізації [7, 13, 14].

В основу сучасної моделі агропромислового виробництва часто покладено концепцію використання сільськогосподарських угідь для отримання максимальної врожайності та прибутку. Досягнення таких показників забезпечується застосуванням типових інтенсивних методів господарювання: збільшенням використання мінеральних добрив і пестицидів, інтенсивним зрошенням, залученням важкої техніки для обробітку ґрунту та використанням високопродуктивних сортів і гібридів. Водночас посилення антропогенного тиску може призводити до погіршення фізичних і біологічних властивостей ґрунту, зокрема до пригнічення ґрунтової мікробіоти, зниження біологічної активності та порушення природних процесів ґрунтоутворення. У результаті інтенсивне сільськогосподарське виробництво стає одним із чинників забруднення ґрунту, повітря і води різними токсикантами [21, 22, 23].

Мінімізація впливу факторів, що мають негативні екологічні наслідки, повинна бути основою сучасної стратегії розвитку рослинництва. З огляду на це зростає потреба у поступовому переході від суто інтенсивних технологій до адаптивних систем землеробства. Такий підхід, з одного боку, розглядається як наближення до органічного виробництва, а з іншого, як практична альтернатива надмірній хімізації та техногенному навантаженню.

Сучасна стратегія зниження техногенного навантаження на ґрунти має ґрунтуватися на поєднанні організаційних, технологічних і правових складових. Організаційні заходи передбачають належне фінансове забезпечення розвитку галузі та запобігання екологічним ризикам, у тому числі модернізацію технічної бази, впровадження ресурсощадних технологій та підвищення культури землеробства. Важливим напрямом є застосування безпечніших методів контролю бур'янів, шкідників і хвороб рослин, зокрема інтегрованого захисту з використанням малотоксичних та біологічних засобів.

Технологічні підходи мають бути спрямовані на зменшення хімічного навантаження і підвищення стійкості ґрунтової системи. Зокрема перспективним є ширше використання органічних і зелених добрив, що сприяють підтриманню гумусного стану та не підвищують кислотність ґрунтів у такій мірі, як значні дози мінеральних добрив. Оптимізація кислотності позитивно впливає на продуктивність культур і може опосередковано знижувати потребу в додаткових хімічних засобах.

Важливу роль у зниженні техногенного навантаження відіграє удосконалення технологій обробітку ґрунту та догляду за посівами. Сучасні екотехнологічні підходи передбачають переважно поверхневий або мінімізований обробіток на глибині 10-14 см із застосуванням комбінованих агрегатів, що виконують кілька операцій за один прохід. Це дозволяє скорочувати витрати пального, зменшувати ущільнення ґрунту та загалом знижувати антропогенне навантаження [18, 20].

У сучасних екотехнічних підходах виробництва продукції рослинництва закладено курс на скорочення застосування суто хімічних методів за рахунок альтернативних рішень. Зокрема особливу увагу приділяють використанню сидератів, біологічних препаратів, агротехнічних і механічних методів контролю бур'янів, а також впровадженню науково обґрунтованих сівозмін, які стабілізують фітосанітарний стан посівів і підтримують родючість ґрунтів.

Правильне застосування сівозміни перериває трофічні зв'язки шкідників, обмежує розвиток бур'янів і знижує поширення хвороб. Такий підхід суттєво зменшує потребу в хімічних засобах захисту рослин. Введення до польових сівозмін бобових культур сприяє біологічному накопиченню азоту в ґрунті та дає змогу скоротити внесення азотних мінеральних добрив. Серед бобових культур, що широко використовуються в умовах Лісостепу, доцільно зазначити сою, горох, кормові боби, а також багаторічні бобові трави (конюшину, еспарцет та інші).

Виробництву рекомендовано дотримуватися правил раціонального використання ґрунтів, сутність яких полягає у збереженні та відтворенні їхньої родючості протягом усього періоду експлуатації. Власники й орендарі сільськогосподарських угідь мають виконувати відповідні вимоги, визначені нормативними документами та умовами договорів оренди [18].

Певну роль у підтриманні родючості ґрунтів відіграють і технології вирощування культур. Одним із перспективних напрямів є екотехнології, зокрема органічне землеробство, у якому синтетичні пестициди та гербіциди не використовують або застосовують лише у виняткових випадках.

Контроль над появою бур'янів здійснюють насамперед агротехнічними способами, зокрема, правильно підібраними сівозмінами, механічним обробітком, мульчуванням і своєчасним доглядом за посівами.

Отже, зниження техногенного навантаження на ґрунти в системі сучасного рослинництва має здійснюватися комплексно, через поєднання науково обґрунтованих сівозмін, біологізації удобрення, ґрунтозахисного

обробітку, інтегрованого захисту рослин і розвитку органічних та адаптивних технологій. Підсилення технологічних рішень організаційними й правовими механізмами, а також належним кадровим забезпеченням створює умови для стабільного відтворення родючості та зменшення ризиків накопичення токсикантів. Для систематизації наведених підходів та практичного змісту подано класифікацію основних агроекологічних заходів щодо зниження техногенного навантаження на ґрунти (табл. 1).

Таблиця 1. – Класифікація агроекологічних заходів зі зниження техногенного навантаження на ґрунти

Група заходів	Спрямованість	Типові приклади
Організаційні	Недопущення або мінімізація надходження забруднювачів	екологічне зонування; обмеження харчових культур у зонах ризику; буферні смуги вздовж доріг і промоб'єктів
Агроекологічно-технологічні	Підвищення стійкості агроecosистем і ґрунту	ґрунтозахисні сівоzmіни; сидерація; мінімізація обробітку; контроль ущільнення
Органо-структурні	Нарощування гумусу й сорбційної здатності	органічні добрива; компости; повернення решток
Хімічно-меліоративні	Регулювання рН та зниження рухомості токсикантів	вапнування кислих ґрунтів; внесення фосфатних/мінеральних сорбентів; гіпсування за потреби
Біологічні та фіторемедіаційні	Біологічне зв'язування/вилучення токсикантів	фітостабілізація; фітоекстракція; використання енергетичних культур у зонах ризику; мікробні препарати
Протиерозійні	Запобігання перенесенню забруднювачів із частками ґрунту	лісосмуги; покривні культури; мульчування
Моніторингові	Контроль ефективності та ризиків	регулярний аналіз ґрунтів і продукції; картографування; контроль якості добрив

Для узагальнення результативності запропонованих підходів і обґрунтування їхнього практичного значення наведено очікуваний екологічний

ефект від основних груп агроекологічних заходів щодо зниження техногенного навантаження на ґрунти (табл. 2).

Таблиця 2. – Екологічний ефект від основних груп заходів

Група заходів	Основний очікуваний ефект	Показники, що поліпшуються/знижуються
Організаційні	Зменшення первинного надходження забруднювачів	нижчі ризики локальних осередків; стабілізація фонового рівня забруднення
Агроекологічно-технологічні	Підвищення буферності ґрунту та стабільності агроекосистем	краща структура і щільність; менша ерозійна вразливість; активніші ґрунтові біопроцеси
Органо-структурні	Імобілізація частини токсикантів і підсилення самоочищення	зростання вмісту гумусу; зменшення біодоступності Pb, Cd, Zn, Cu
Хімічно-меліоративні	Зниження рухомості та токсичності металів за рахунок оптимізації рН	нормалізація рН; зменшення коефіцієнтів небезпеки; покращення умов росту культур
Біологічні/фіторемедіаційні	Стабілізація або поступове виведення забруднювачів у контрольованих умовах	скорочення рухомих форм; можливе зменшення загального вмісту за тривалих програм екстракції
Протиерозійні	Зменшення вторинного забруднення через перенесення ґрунтових часток	зниження втрат ґрунту; стабілізація вмісту токсикантів у верхньому горизонті
Моніторингові	Раннє виявлення негативних тенденцій і корекція практик	своєчасне управлінське реагування; оптимізація структури землекористування

Таким чином, реалізація агроекологічних заходів є ключовою передумовою екологічної безпеки агроландшафтів і довгострокової продуктивності сільськогосподарських угідь.

РОЗДІЛ 2

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Умови проведення досліджень

Західний регіон міста Львова має специфічні природні умови, що визначають його кліматичні особливості, ландшафт та ґрунтовий покрив. Особливо важливим у цьому регіоні є поширення сірих лісових ґрунтів, які формуються під широколистяними лісами та лесових суглинкових відкладах. Розуміння характеристик цих ґрунтів є важливим для оцінки природного потенціалу території та можливостей її раціонального використання.

Львівська область знаходиться у межах помірно континентального кліматичного поясу. Її клімат має перехідні риси, що пояснюється розташуванням території в помірних широтах і в зоні активного переміщення повітряних мас різного походження. Відчутний вплив також мають особливості рельєфу та підстильної поверхні: поєднання заболочених рівнин, піщаних ділянок, височин і гірських масивів. Тип клімату помірно-континентальний із м'якою зимою та помірно теплим літом. Середньорічна температура повітря становить $+7...+8^{\circ}\text{C}$, при цьому найхолоднішим місяцем є січень ($-3...-4^{\circ}\text{C}$), а найтеплішим – липень ($+17...+19^{\circ}\text{C}$).

Річна кількість опадів становить 750-850 мм, що робить цю територію однією з найбільш зволених у Західній Україні. Найбільше опадів припадає на літній період, що сприяє активним ґрунтовим процесам. Домінують західні та північно-західні вітри, які приносять вологе повітря з Атлантики.

Складна тектонічна й геологічна будова Львівської області зумовлює не менш строкатий характер її рельєфу, що надає території виразної своєрідності та високої пізнавальної й естетичної цінності. Область є своєрідною, адже в її межах поєднуються низинні рівнини, височини, горбогірні ландшафти та гірські форми. Вона цікава тим, що аналіз просторових відмін рельєфу дозволяє простежити етапи та механізми його формування й відтворити історію розвитку території. Привабливість регіону зумовлена живописністю місцевості,

контрастністю форм і динамічністю ландшафтів, що створює виразний візуальний образ та підсилює рекреаційну цінність області.

Рельєф західної частини Львова - переважно хвиляста рівнина з окремими підвищеннями. Територія сформована під впливом льодовикових та водно-льодовикових процесів, тому тут поширені леси, суглинки та моренні відклади. Висоти досягають 350-360 метрів над рівнем моря. Такі умови є сприятливими для формування сірих лісових ґрунтів.

Сірі лісові ґрунти формуються під широколистяними лісами на лесах та суглинках в умовах достатнього зволоження і промивного водного режиму. Основні фактори формування:

- помірний клімат, що сприяє гумусоутворенню;
- велика кількість органічних решток деревних порід;
- вилуговування карбонатів та пересування глинистих часток у глибші горизонти.

Профіль сірих лісових ґрунтів представлений такими горизонтами:

- гумусовий (H) – темно-сірий, з вмістом гумусу 2,5-4%;
- перехідний (HP) – світліший, структурований;
- ілювіальний (Bt) – ущільнений, бурий, з підвищеним вмістом глинистих частинок.

Подібна будова вказує на інтенсивність процесів гумусоутворення та ілювіації.

Сірі лісові ґрунти характеризуються слабокислою реакцією середовища (рН 5,0-6,5), середнім вмістом гумусу та поживних речовин, зернисто-грудкуватою структурою, доброю водопроникністю і повітропроникністю. Завдяки цим якостям вони належать до середньо і високородючих, особливо після внесення органічних добрив та проведення меліоративних заходів.

До основних недоліків сірих лісових ґрунтів відносять:

- схильність до підкислення, що зменшує доступність елементів живлення;
- вилуговування поживних речовин унаслідок підвищеного зволоження;
- можливе оглеєння в пониженнях рельєфу.

Для підвищення продуктивності цих ґрунтів потрібні вапнування, органічні добрива, структуротворчі заходи та правильний обробіток.

Природно-кліматичні умови західного регіону Львова характеризуються значним зволоженням, помірним кліматом і наявністю лесових порід, що створюють сприятливі умови для формування сірих лісових ґрунтів. Ці ґрунти вирізняються достатньою родючістю, а також цінними фізичними та агрономічними властивостями. Водночас вони потребують раціонального використання та періодичного проведення меліоративних заходів. Сірі лісові ґрунти мають важливе значення для природного середовища і господарської діяльності регіону.

До екологічних проблем території належить урбанізація та ущільнення ґрунтів, забруднення важкими металами, зміни водного режиму через забудову, вирубування лісів і його наслідки. Західний регіон Львова, попри порівняно сприятливі природні умови, має низку екологічних проблем, пов'язаних із інтенсивним розвитком міської інфраструктури, транспортним навантаженням, промисловими об'єктами та деградацією природних лісових комплексів. Ці процеси негативно впливають як на стан довкілля загалом, так і на якість сірих лісових ґрунтів, що поширені на даній території. Через урбанізацію відбувається втрата екосистемної рівноваги, а процеси відновлення ґрунтів у міських умовах значно уповільнені.

Західна частина Львова має кілька джерел забруднення, зокрема, промислові підприємства (механічні та машинобудівні цехи, склади, промзона «Рясне-2»), інтенсивний транспортний рух (кільцева дорога, проспект Чорновола, Городоцька), автозаправні станції, склади ПММ, логістичні центри.

У ґрунтах фіксується накопичення важких металів (свинцю від транспорту; кадмію та цинку від промислових підприємств; міді, нікелю, хрому від техногенних відкладень).

Ці елементи погіршують родючість сірих лісових ґрунтів, спричиняють кислотні зрушення та пригнічують мікробіоту.

Інтенсивний рух транспорту та промислові викиди спричиняють осідання на ґрунт пилу з техногенними частками, підвищення концентрації оксидів сірки й азоту, формування кислотних дощів. Кислотні опади особливо небезпечні для сірих лісових ґрунтів, оскільки вони й так мають слабокислу реакцію. Через значну кількість опадів і щільну забудову порушуються природні шляхи стоку води. Основні проблеми:

- підйом рівня ґрунтових вод;
- підтоплення окремих ділянок у Рясне-1 і Рясне-2;
- локальні заболочення після дощів
- зниження водопроникності ґрунту через асфальтування великих площ.

Унаслідок цього сірі лісові ґрунти місцями піддаються процесам оглеєння, що погіршує їхню структуру та знижує родючість.

Екологічні проблеми західного регіону Львова мають комплексний характер і пов'язані переважно з антропогенним навантаженням. Сірі лісові ґрунти – природно чутливі до кислотності, ущільнення та зміни водного режиму – є особливо вразливими до урбанізаційних процесів. Їхній стан потребує системного моніторингу, а територія – продуманого екологічного планування, відновлення лісових площ та впровадження сучасних природоохоронних заходів.

2.2. Методика проведення досліджень

Дослідження з визначення інтенсивності акумуляції токсикантів (радіонуклідів ^{137}Cs та свинцю) у надземній вегетативній масі та насінні амаранту виконували на сірих лісових ґрунтах Західного регіону України (Львівська область). Відповідно до класифікації радіоекологічної ситуації дослідна територія віднесена до зони посиленого радіоекологічного контролю, оскільки щільність забруднення ґрунтів ^{137}Cs не перевищує 1 Ки/км^2 . Польовий експеримент закладали у чотирикратній повторності, а вирощування культури здійснювали за загальноприйнятою для польових культур технологією. Ґрунтові зразки для радіологічного аналізу відбирали за методом «конверта»,

тоді як зразки вегетативної маси та насіння формували з точкових проб із подальшим об'єднанням у середні зразки.

Питому активність ^{137}Cs у ґрунті, вегетативній масі та насінні визначали методом γ -спектрометрії із застосуванням високочутливого напівпровідникового детектора. Одержані дані опрацьовували стандартними статистичними методами. Коефіцієнт небезпеки (Кнеб) для ^{137}Cs у вегетативній масі й насінні розраховували як відношення питомої активності радіонукліду в відповідному зразку до допустимого рівня (ДР), установленого чинними санітарними нормами для рослинної продукції, що дало змогу оцінити потенційні ризики використання продукції амаранту за умов слабого радіоактивного забруднення.

Оцінювання інтенсивності накопичення свинцю в надземній вегетативній масі та насінні амаранту також проводили на сірих лісових ґрунтах Львівської області. Дослід закладали у чотирикратній повторності за схемою рандомізованих блоків. Агротехніка відповідала загальноприйнятим вимогам до польових культур із урахуванням біологічних особливостей амаранту та ґрунтово-кліматичних умов регіону. Відбір ґрунту для хімічного аналізу здійснювали методом «конверта» з глибини орного шару 0-20 см; вегетативну масу та насіння відбирали точковими пробами з подальшим формуванням середніх зразків. Підготовку рослинного матеріалу проводили за стандартними методиками, а вміст свинцю у ґрунті, вегетативній масі та насінні визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії.

Коефіцієнт накопичення (Кн) свинцю розраховували як відношення концентрації металу в рослинному матеріалі до його вмісту в ґрунті. Коефіцієнт небезпеки (Кнеб) свинцю визначали як відношення фактичної концентрації елемента в відповідному зразку до гранично допустимої концентрації (ГДК), установлені санітарними нормами для рослинної продукції: для вегетативної маси застосовували ГДК для кормових культур (5,0 мг/кг), для насіння ГДК для зернових культур (0,5 мг/кг).

РОЗДІЛ 3

ІНТЕНСИВНІСТЬ НАКОПИЧЕННЯ ТА ВИНЕСЕННЯ ТОКСИКАНТІВ З ҐРУНТУ ЗА ВИРОЩУВАННЯ АМАРАНТУ

3.1. Інтенсивність накопичення та винесення ^{137}Cs з сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту

Результати щодо визначення питомої активності радіонуклідів ^{137}Cs у зразках сірого лісового ґрунту за чотирма варіантами дослідів наведено на рисунку 1. Отримані значення перебувають у вузькому інтервалі 0,15-0,19 Бк/кг. Мінімальний рівень зафіксовано у варіанті 1 (0,15 Бк/кг), тоді як найвищий показник відмічено у варіанті 2 (0,19 Бк/кг). У варіантах 3 і 4 питома активність була однаковою та становила по 0,18 Бк/кг, що вказує на незначні відмінності радіоактивного фону ґрунту в межах дослідної площі та загалом слабку просторову мінливість забруднення.

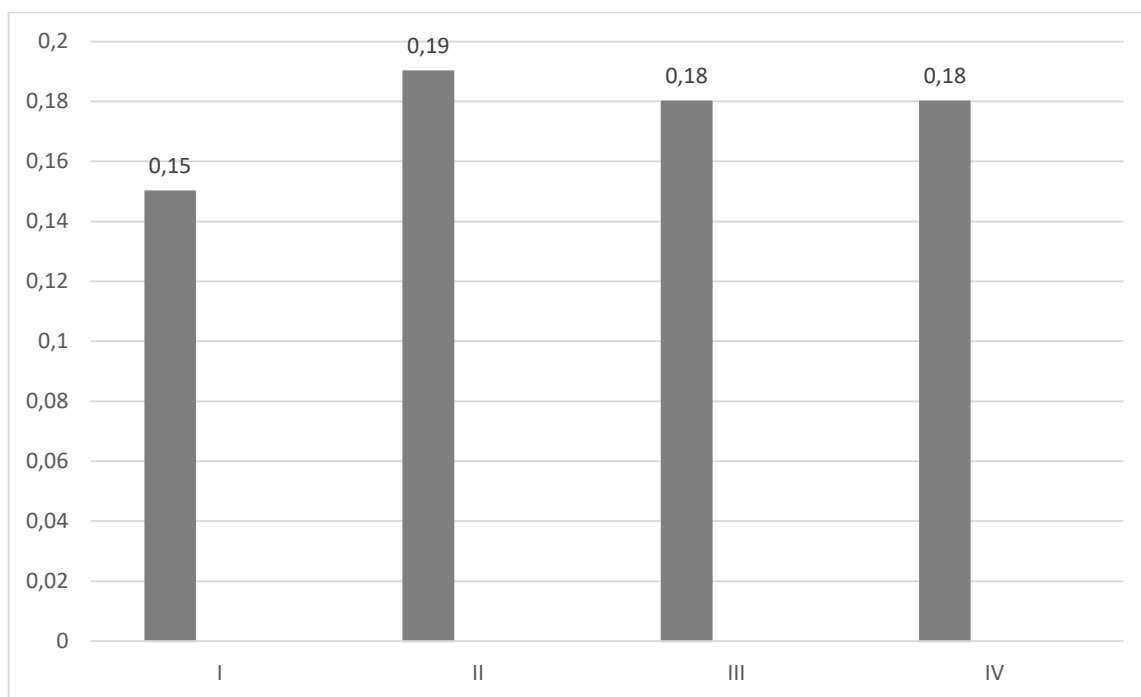


Рис. 1. Питома активність ^{137}Cs у сірому лісовому ґрунті, Бк/кг

Рисунок 2 демонструє врожайність надземної зеленої маси амаранту в чотирьох варіантах дослідів, закладеного на сірих лісових ґрунтах. Найвищий показник отримано у варіанті I (22,7) т/га, що свідчить про інтенсивний ріст і ефективне нагромадження фітомаси. У варіантах II та IV урожайність була

близькою до максимальної (становила відповідно 22,4 та 22,5 т/га), тоді як мінімальне значення зафіксовано у варіанті III (22,2 т/га).

Загальне коливання між варіантами було незначним і не перевищувало 0,5 т/га, що вказує на стабільне формування вегетативної маси амаранту в умовах дослідження. Отримані результати підтверджують, що культура здатна підтримувати продуктивне нарощування надземної біомаси навіть за наявності слабкого радіоактивного фону, що є важливою передумовою для її потенційного застосування у фітореMediaційних технологіях.

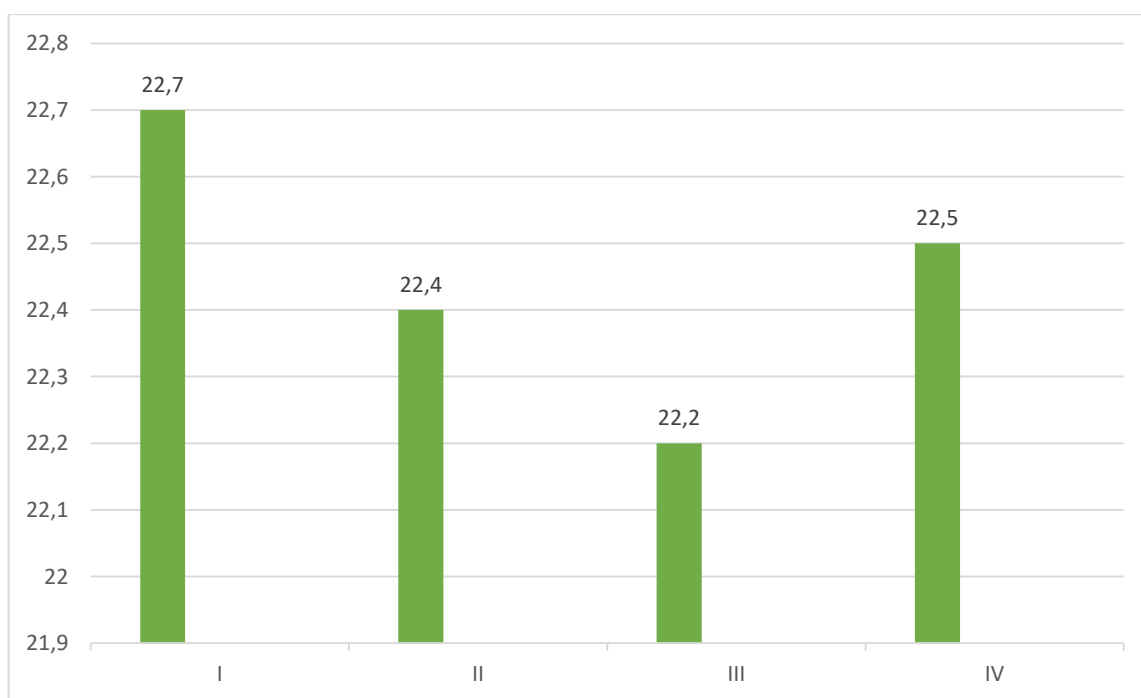


Рис. 2. Урожайність вегетативної маси амаранту, т/га

На рисунку 3 наведено показники врожайності насіння амаранту за варіантами дослідів. Максимальне значення отримано у варіанті III (2,3 т/га), що вказує на достатньо сприятливі умови для генеративного розвитку рослин. У варіантах I та IV урожайність була близькою до найвищої й становила по 2,2 т/га, тоді як мінімальний результат зафіксовано у варіанті II (2,0 т/га).

У цілому розбіжності між варіантами були помірними, а загальна картина свідчить про відносно стабільне формування насіннєвої продукції амаранту в умовах експерименту. Одержані дані підтверджують спроможність культури

забезпечувати товарний урожай насіння на сірих лісових ґрунтах досліджуваної території.

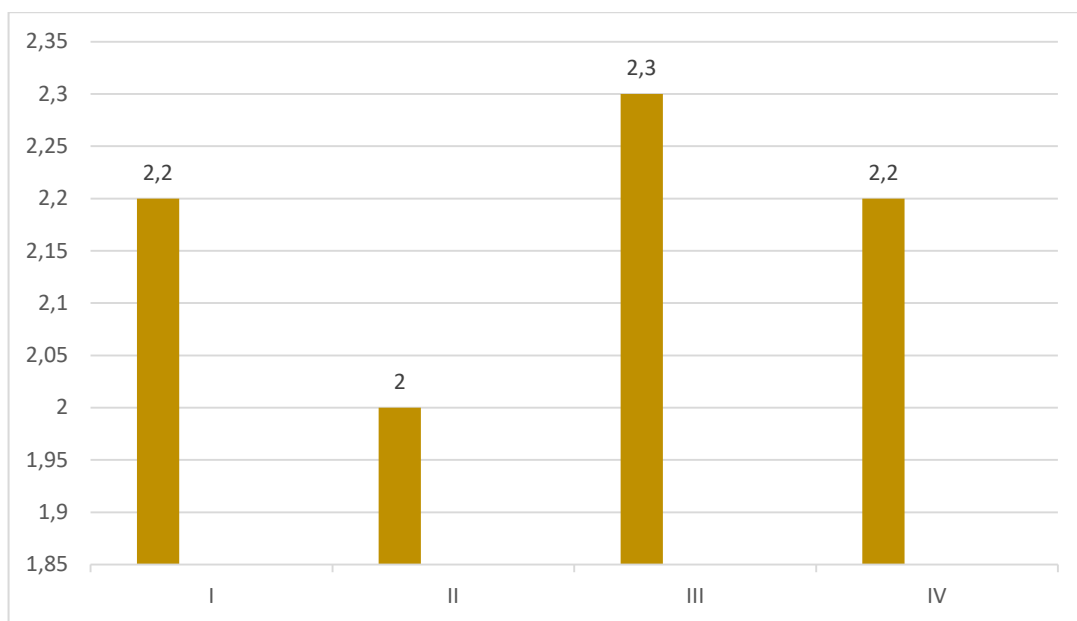


Рис. 3. Урожайність насіння амаранту, т/га

Результати, наведені на рисунку 4, свідчать, що питома активність ^{137}Cs у надземній вегетативній масі амаранту в усіх чотирьох варіантах досліду змінювалася у межах 13,9-16,2 Бк/кг. У середньому за варіантами цей показник становив $14,9 \pm 0,87$ Бк/кг, що є суттєво нижчим за встановлений допустимий рівень (у 40,2 раза).

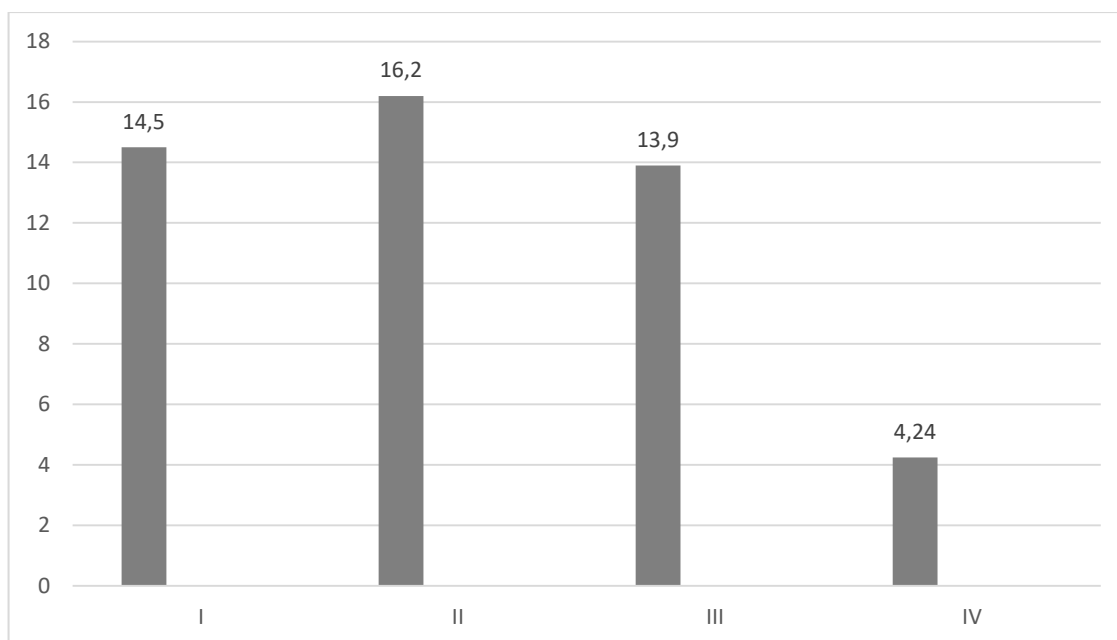


Рис. 4. Питома активність ^{137}Cs у надземній вегетативній масі амаранту, Бк/кг

За даними, наведеними на рис. 5, коефіцієнт накопичення ^{137}Cs надземною вегетативною масою амаранту змінювався у діапазоні 23,0-96,0. Середнє значення цього показника за варіантами становило 59,7.

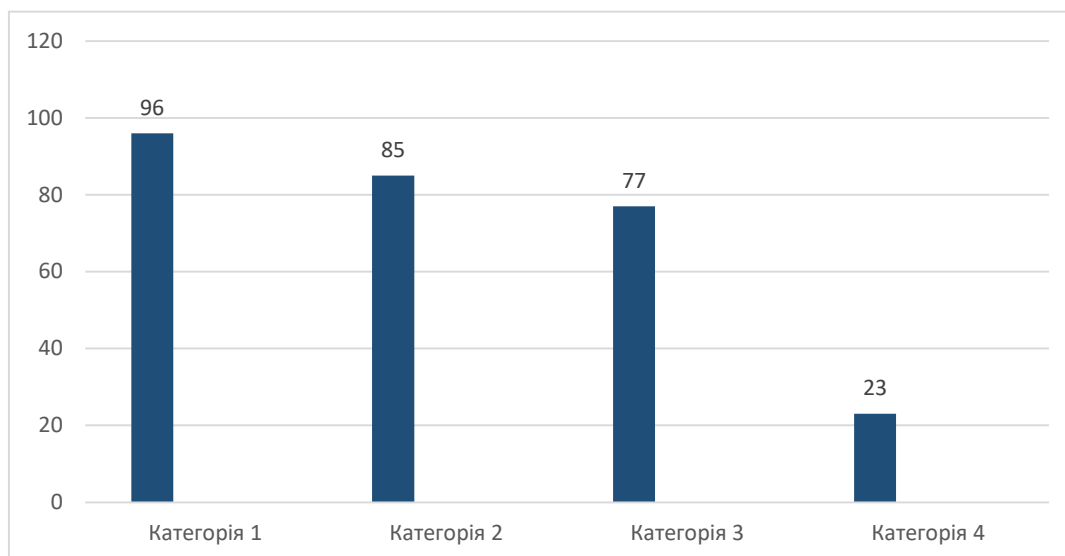


Рис. 5. Коефіцієнт накопичення ^{137}Cs у вегетативній масі амаранту.

Оцінюючи інтенсивність винесення ^{137}Cs із сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту (табл. 6), встановлено, що врожайність зеленої маси становила 22,2-22,7 т/га (у середньому 22,4 т/га). За такої продуктивності сумарне винесення радіонукліду надземною вегетативною масою амаранту перебувало в межах 308 580-362 880 Бк/га. Розрахунок показника проводили за співвідношенням між питомою активністю ^{137}Cs у фітомасі та врожайністю зеленої маси.

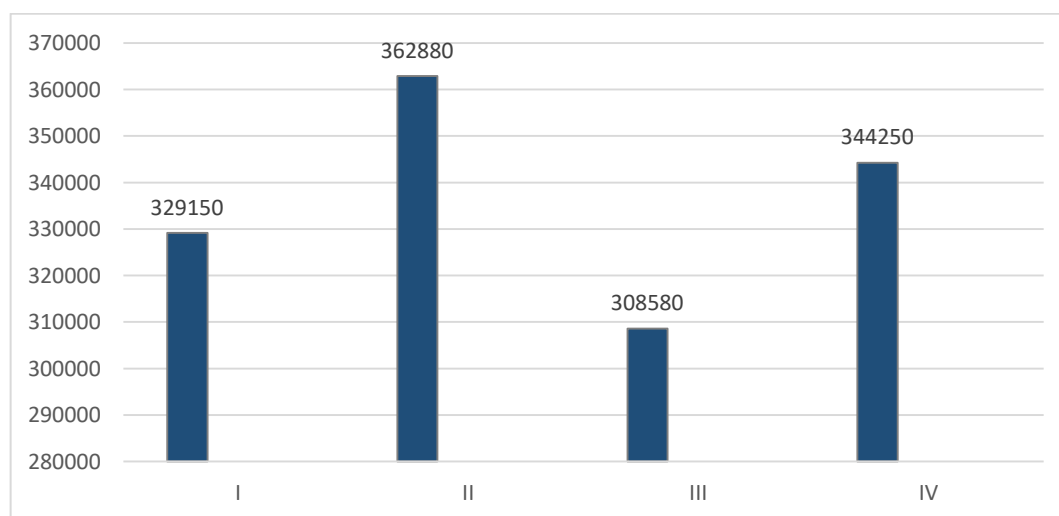


Рис. 6. Інтенсивність винесення з ґрунту ^{137}Cs вегетативною масою амаранту, Бк

У середньому за варіантами дослідів інтенсивність виносів ^{137}Cs надземною масою амаранту становила 336 215 Бк/га. Одержані дані вказують на спроможність культури забезпечувати помітне вилучення радіонукліда з ґрунтового середовища, що обґрунтовує доцільність подальших досліджень амаранту як потенційної фітореMediaційної рослини для очищення забруднених територій.

На рис. 7 подано значення коефіцієнта небезпеки ^{137}Cs у надземній вегетативній масі амаранту за варіантами дослідів. Показник змінювався у дуже вузьких межах 0,023-0,027, що свідчить про стабільний рівень радіологічної безпеки зеленої маси. Найвище значення відмічено у варіанті II (0,027), найнижче – у варіанті III (0,023); у варіантах I та IV коефіцієнт становив 0,024 і 0,025 відповідно. Усі отримані значення є нижчими за граничний рівень 1,0, тому надземна маса амаранту може розглядатися як кормова сировина.

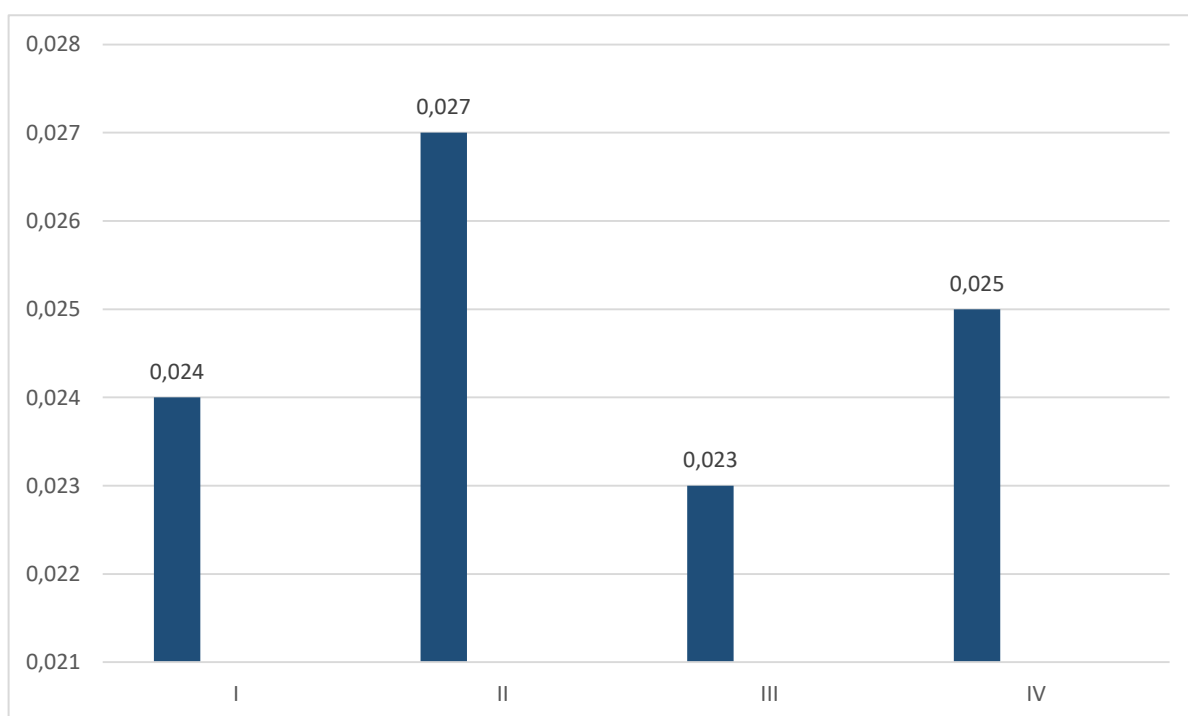


Рис. 7. Коефіцієнт небезпеки ^{137}Cs у вегетативній надземній масі амаранту

Питома активність ^{137}Cs у насінні амаранту (рис.8) в середньому за варіантами дослідження становила 4,17 Бк/кг, що у понад 100 разів нижче встановленого допустимого рівня.

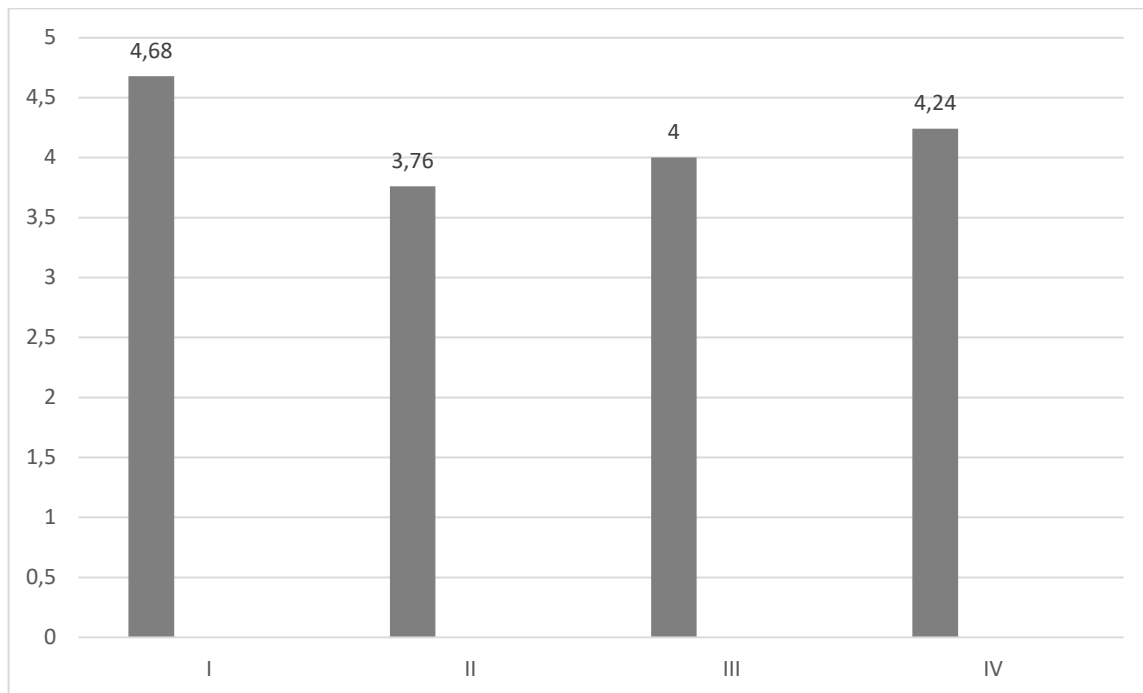


Рис. 8. Питома активність ^{137}Cs у насінні амаранту, Бк/кг.

Коефіцієнт небезпеки (рис.9) для насіння амаранту становив 0,008, що у понад сто разів нижче гранично допустимого значення (1,0). Отримані результати підтверджують безпечність насіння амаранту та обґрунтовують можливість його використання у тваринництві та харчовій промисловості.

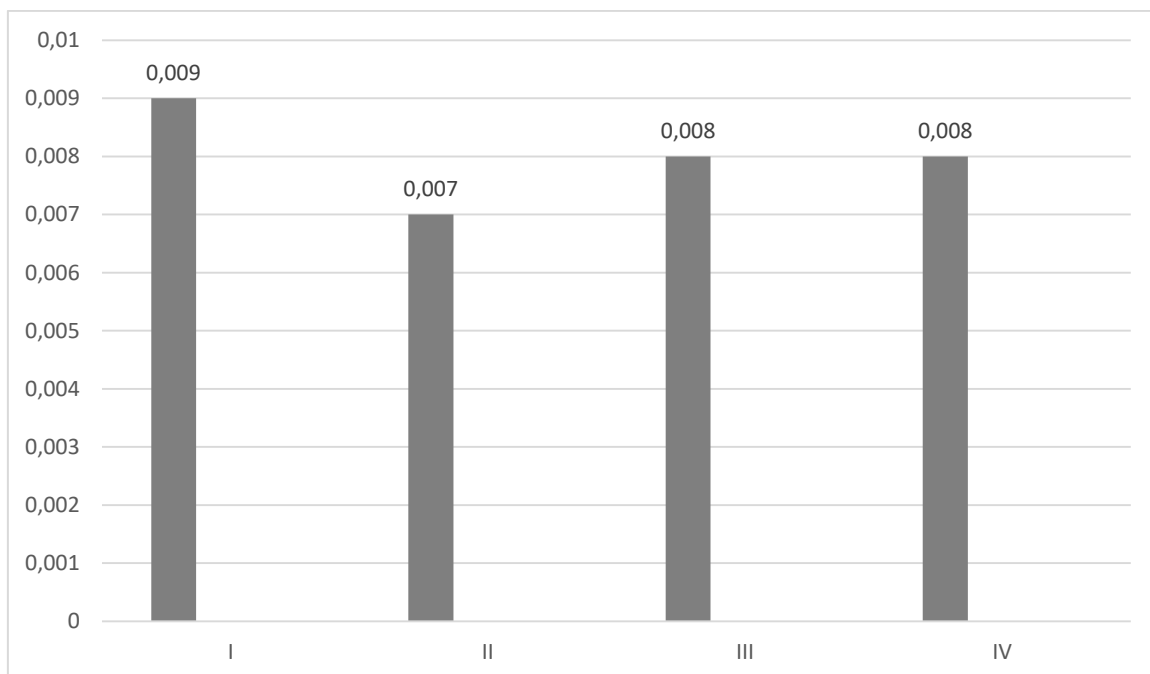


Рис. 9 Коефіцієнт накопичення ^{137}Cs насінням амаранту

За даними (рис. 10) встановлено, що винесення ^{137}Cs із сірого лісового ґрунту разом із насінням амаранту коливалося в інтервалі 7520-10296 Бк/га, а середнє значення за варіантами становило 9086 Бк/га.

Порівняння з показниками винесення радіонуклідів надземною вегетативною масою свідчить, що насіннева продукція забезпечує приблизно у 37 разів менше вилучення ^{137}Cs . Це підтверджує доцільність розгляду амаранту передусім як фіторе mediaційної культури у системах кормовиробництва, де використовується вся надземна біомаса, а не лише насіння.

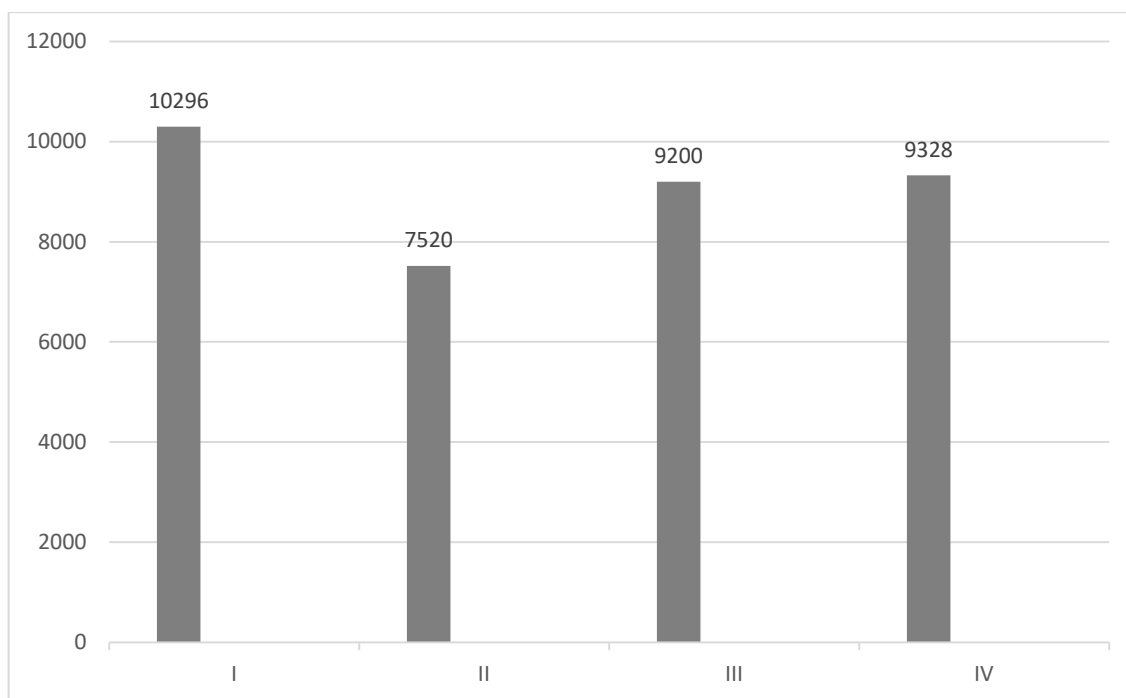


Рис. 10. Винесення ^{137}Cs з ґрунту за вирощування амаранту, Бк/кг

3.2. Інтенсивність винесення з насінням амаранту Рb з сірого лісового ґрунту

Аналіз отриманих даних (рис. 11) засвідчив, що за середнього вмісту Рb у сірому лісовому ґрунті $0,68 \pm 0,04$ мг/кг його концентрація в надземній вегетативній масі амаранту становила в середньому $1,52 \pm 0,40$ мг/кг. Це значення є у 3,28 раза нижчим за гранично допустиму концентрацію для кормових культур (ГДК = 5,0 мг/кг), що свідчить про

відповідність вегетативної маси амаранту санітарним нормативам за вмістом Pb.

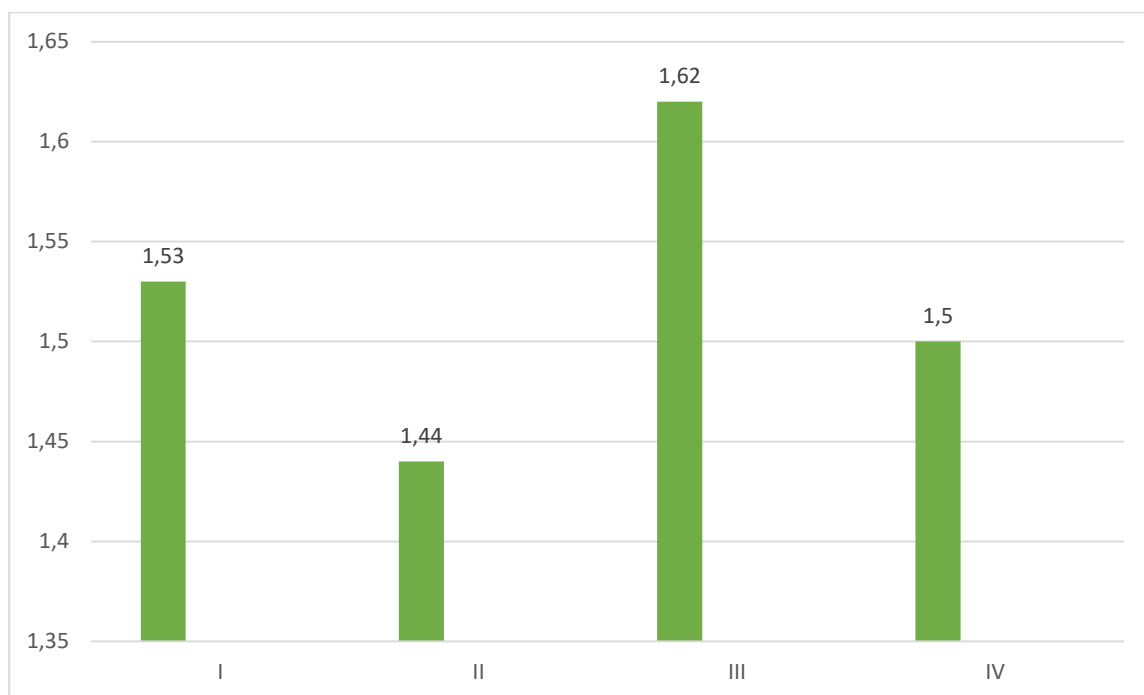


Рис. 11. Інтенсивність накопичення Pb вегетативною масою амаранту, мг/кг

Коефіцієнт накопичення Pb у надземній вегетативній масі амаранту (рис. 12) був відносно високим і змінювався в межах 2,0-2,4, становлячи в середньому $2,2 \pm 0,3$. Такі значення вказують на здатність амаранту інтенсивно поглинати Pb із ґрунтового розчину та переміщувати його в надземні органи.

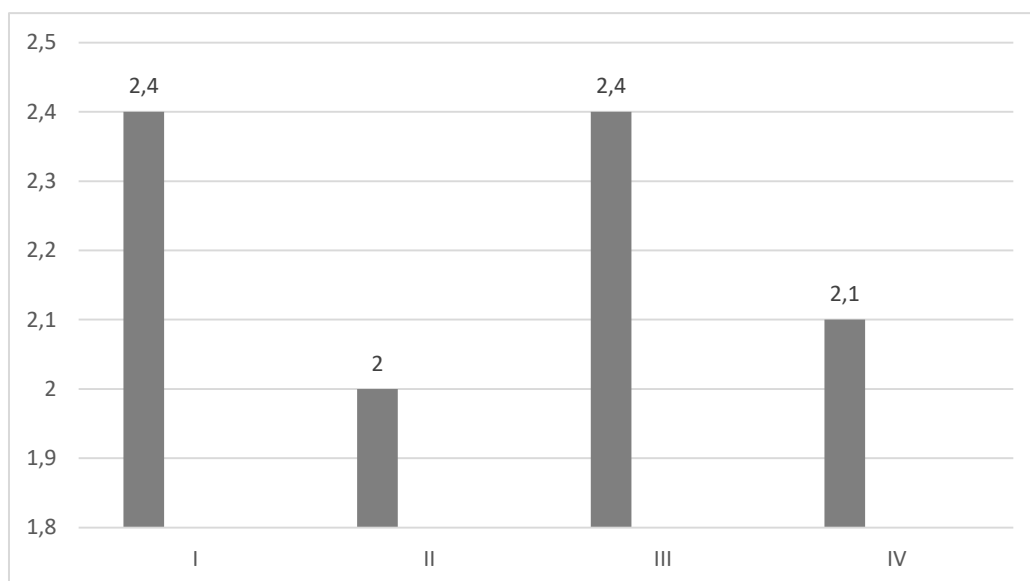


Рис. 12. Коефіцієнт накопичення Pb у вегетативній масі амаранту

Коефіцієнт небезпеки Pb у надземній вегетативній масі амаранту (рис. 13) не перевищував граничного рівня 1,0 і коливався в межах 0,28–0,32, а середнє значення становило $0,30 \pm 0,024$. Це свідчить про відсутність ризику для здоров'я тварин за умови використання цієї продукції як кормової сировини.

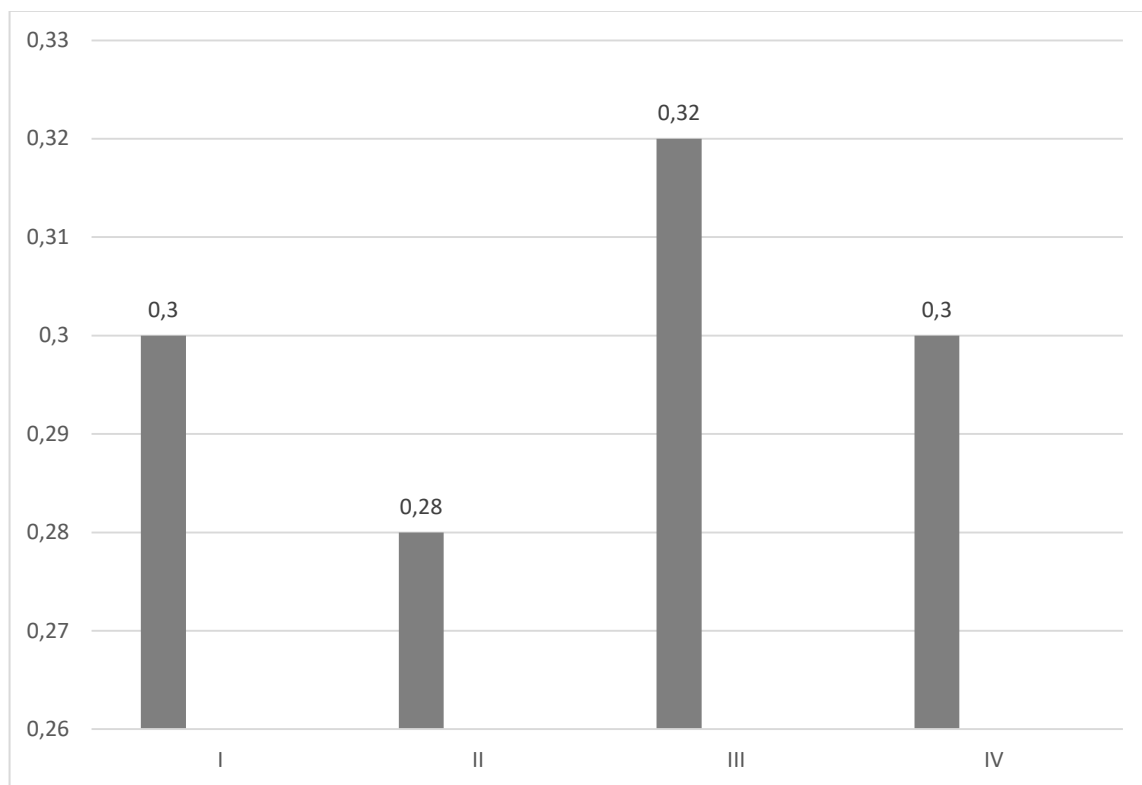


Рис. 13. Коефіцієнт небезпеки Pb у вегетативній масі амаранту

Результати, наведені на рис. 14, демонструють інтенсивне винесення Pb із сірого лісового ґрунту надземною вегетативною масою амаранту. За середньої врожайності фітомаси 22,4 т/га середній рівень винесення Pb з 1 га становив 34175 мг, що є вагомим показником з позицій фіторе mediaційного потенціалу культури. Між варіантами дослідження значення змінювалися в межах 32256–35964 мг/га, що узгоджується з відмінностями у продуктивності надземної маси та концентрації Pb у рослинній тканині.

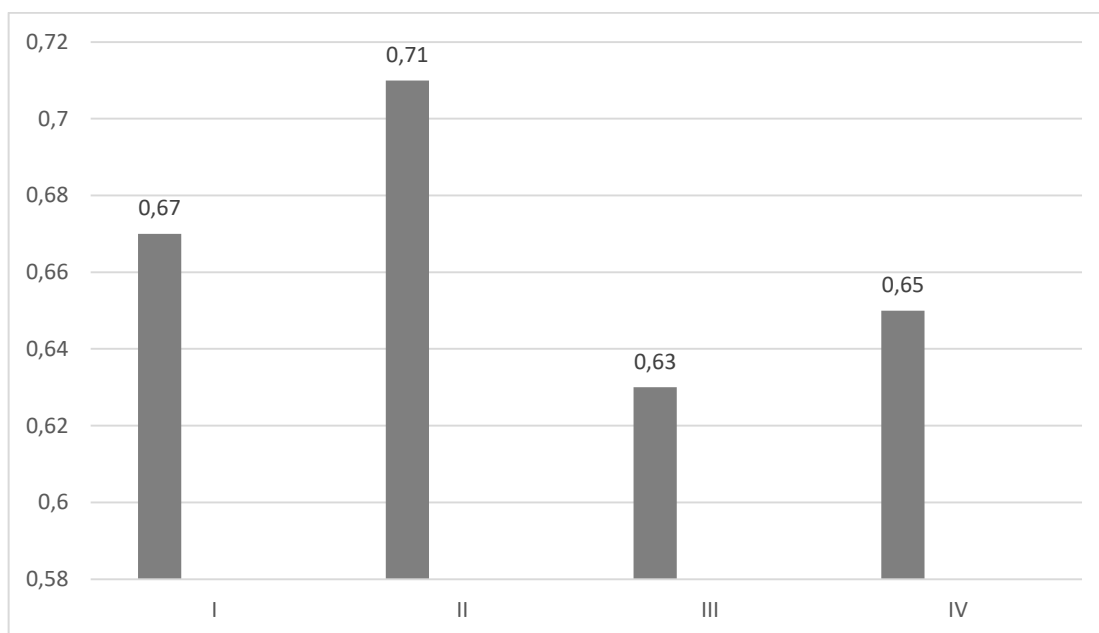


Рис. 14. Вміст в насінні амаранту Pb, мг/кг

Концентрація Pb у насінні амаранту, вирощеного на сірому лісовому ґрунті за середнього вмісту Pb у ґрунті $0,68 \pm 0,04$ мг/кг, становила 0,63–0,71 мг/кг, а середнє значення дорівнювало $0,66 \pm 0,031$ мг/кг (рис. 14). Важливо зазначити, що вміст Pb у насінні перевищував норматив для зернових культур (ГДК = 0,5 мг/кг) у 1,32 раза.

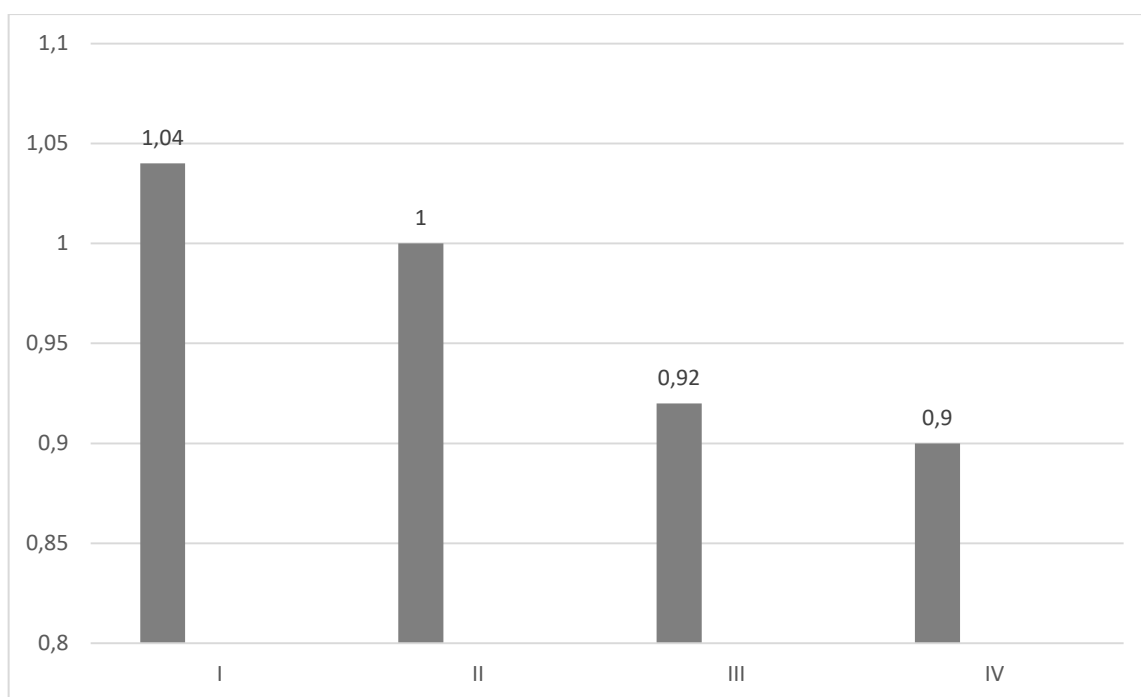


Рис. 15. Коефіцієнт накопичення Pb в насінні амаранту

Коефіцієнт накопичення Pb у насінні амаранту (рис. 15) був помітно нижчим, ніж у надземній вегетативній масі, і змінювався в межах 0,90–1,04, а середнє значення за варіантами становило $0,96 \pm 0,024$. Такий рівень свідчить про часткове обмеження надходження Pb до репродуктивних органів, що може бути проявом бар'єрних механізмів транспорту металу в рослині.

Водночас коефіцієнт небезпеки Pb у насінні перевищував гранично допустиме значення 1,0 у 1,33 раза, що вказує на потенційний ризик використання насіння в харчових цілях без додаткових заходів зниження вмісту Pb.

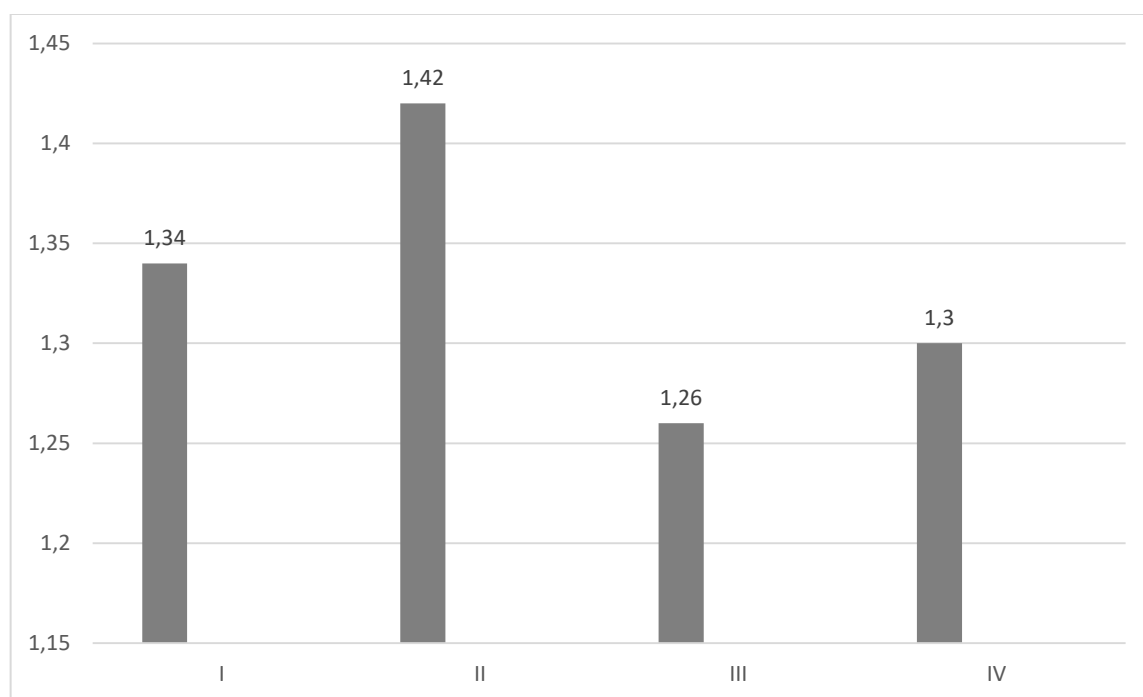


Рис. 16. Коефіцієнт небезпеки Pb у насінні амаранту

Винесення Pb із сірого лісового ґрунту разом із насінням амаранту (рис. 17) було істотно нижчим порівняно з надземною вегетативною масою. За середньої врожайності насіння $2,17 \pm 0,22$ т/га показник винесення Pb змінювався в межах 1420-1474 мг/га, а середнє значення становило 1443 ± 12 мг/га.

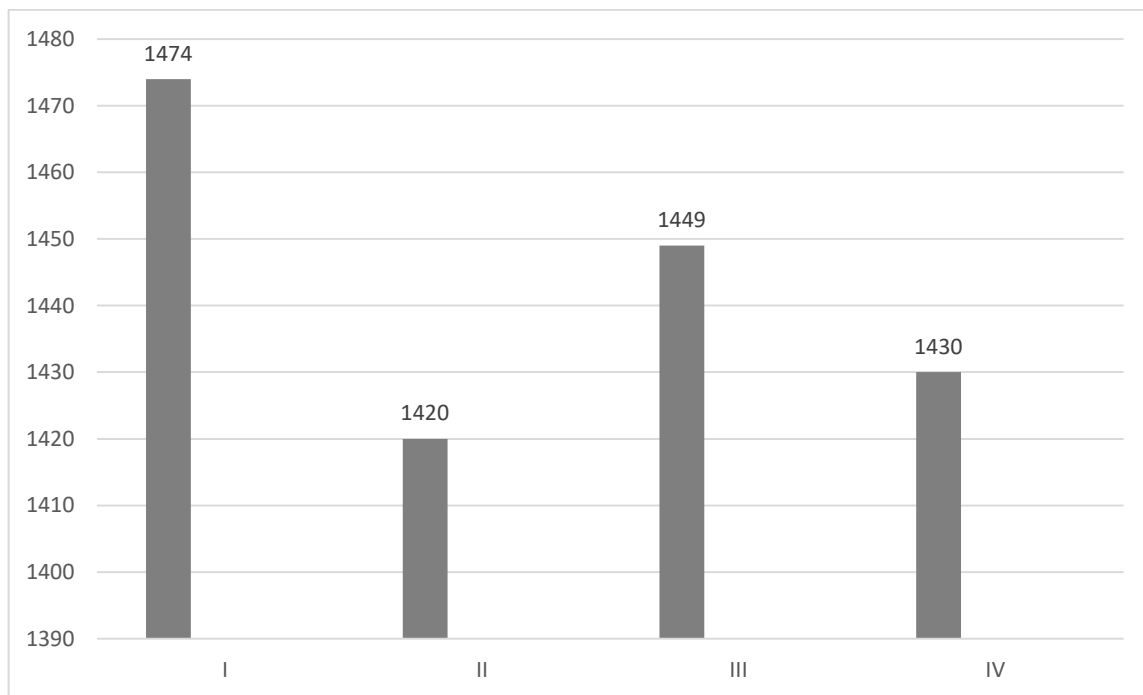


Рис. 17. Інтенсивність винесення Рb з сірого лісового ґрунту за вирощування амаранту

Підкреслимо, що винесення Рb надземною вегетативною масою амаранту із сірого лісового ґрунту було у 23,7 раза інтенсивнішим, ніж винесення з насінням (34175 мг/га проти 1443 мг/га). Така різниця вказує на переважне накопичення Рb у вегетативних органах рослини.

РОЗДІЛ 4.

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона навколишнього природного середовища за сучасних умов розвитку народного господарства посідає одне з провідних місць. Така увага пояснюється суттєвими обсягами надходження шкідливих речовин у атмосферне повітря, ґрунт та ґрунтові води. Екологічні виклики стосуються і сільськогосподарського виробництва, де помітний вплив мають інтенсивна хімізація агропромислового комплексу, деградація родючого шару, забруднення ґрунтів і підґрунтових вод. У зв'язку з цим забезпечення екологічної безпеки в аграрній сфері є актуальним і практично значущим завданням.

Основні завдання екології в аграрному виробництві спрямовані на збереження та відновлення родючості ґрунтів, зниження їх кислотності, обмеження накопичення небезпечних хімічних речовин, а також їх знешкодження й очищення поверхневого шару від неорганічних сполук. Нормативно-правову основу охорони довкілля визначає Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», який закріплює принципи і завдання екологічної політики, встановлює екологічні права й обов'язки громадян та передбачає відповідальність за порушення вимог природоохоронного законодавства.

На рівні аграрного підприємства практичні заходи з охорони довкілля під час організації сільськогосподарського виробництва забезпечує головний агроном. Екологічні аспекти застосування засобів хімізації належать до компетенції агронома із захисту рослин, тоді як загальну координацію природоохоронної діяльності здійснює директор підприємства. Важливою складовою системи екологічного управління є й інформаційно-роз'яснювальна робота: в приміщеннях агрономічної служби розміщуються наочні матеріали, що орієнтують працівників на дотримання екологічно безпечних підходів у веденні господарства.

Вагому роль у системі природоохоронної роботи підприємства відіграє екологічний паспорт господарства. У ньому окреслюються основні джерела забруднення навколишнього природного середовища та визначаються заходи щодо мінімізації негативного впливу на довкілля. У межах господарства найбільш поширені ризики забруднення пов'язані з порушенням вимог до застосування мінеральних добрив і пестицидів на ґрунтах. Додатковим чинником екологічної небезпеки є обробіток ґрунту на схилах, що сприяє розвитку деградаційних процесів та руйнуванню ґрунтового покриву. Згідно з екологічним паспортом, зниження такого впливу забезпечується науково обґрунтованим використанням пестицидів і агрохімікатів із чітким дотриманням регламентів, норм внесення, строків застосування та санітарних відстаней до населених пунктів. Також визначено підходи до зменшення кислотності ґрунтів і регламентовано особливості обробітку земель на схилових ділянках.

З метою послаблення ерозійних процесів у господарстві збільшують частку культур суцільного посіву на схилах, зберігаючи стерню до весняного періоду. Культури, що потребують міжрядного обробітку, переважно розміщують на рівнинних землях або висівають упоперек схилу. У технологіях землеробства застосовують поверхневий і плоскорізний обробіток, а також кулісні посіви як елемент протиерозійного захисту.

У структурі ґрунтового покриву господарства нерідко трапляються кислі ґрунти. Це зумовлено як інтенсивною хімізацією агровиробництва, так і природними властивостями ґрунтоутворювальних умов. Переважання світло-сірих і сірих опідзолених ґрунтів, які від природи характеризуються підвищеною кислотністю, обумовлює потребу у вапнуванні різного ступеня інтенсивності. Раніше як вапняковий матеріал використовували дефека́т. Проте через спад цукропереробної галузі його постачання до господарства припинилося, унаслідок чого наразі вапнування ґрунтів фактично не здійснюється.

Лісові насадження в межах господарства приурочені переважно до малородючих підзолистих ґрунтів і схилових ділянок. Лісосмуги розміщені здебільшого впоперек схилів та у напрямі, що відповідає переважаючим вітрам. За функціональним призначенням їх поділяють на полезахисні та придорожні. Полезахисні лісосмуги закладають по межах полів; вони зменшують прояви водної ерозії, послаблюють силу вітру, сприяють утриманню вологи та формують сприятливі мікрокліматичні умови для вирощування сільськогосподарських культур. Придорожні лісосмуги розташовані вздовж шляхів і виконують снігозатримувальну функцію, запобігаючи утворенню заметів на дорогах. Як правило, такі насадження закладають із північного або західного боку дороги, що полегшує їй швидше підсихання після опадів. Усі лісосмуги потребують систематичного догляду, зокрема проведення проріджень і санітарних рубок з видаленням сухостійних, пошкоджених і зламаних гілок.

На території господарства функціонує склад для зберігання хімічних засобів. Будівля цегляна, накрыта шифером, обладнана припливно-витяжною вентиляцією та має асфальтоване покриття підлоги. Територія хімскладу огорожена, передбачене окреме приміщення для зберігання пестицидів. Тут також облаштовано майданчик для приготування робочих розчинів із твердою (асфальтованою) основою; неподалік розміщено ящик із піском для локалізації й знешкодження випадкових проливів. Водночас через фінансові труднощі нині хімсклад утримується недостатньо належним чином, а обсяги мінеральних добрив і пестицидів, що зберігаються, скорочуються.

Під час застосування агрохімікатів у господарстві дотримуються санітарно-гігієнічних вимог і правил безпеки. Обробки проводять за сприятливих погодних умов, при швидкості вітру до 5 м/с, у теплу сонячну погоду, уникаючи виконання робіт безпосередньо перед опадами або відразу після дощу. Застосування препаратів здійснюють на відстані не менше 1 км від населених пунктів і водойм.

Для внесення мінеральних добрив використовують розкидачі РУМ-8, СТТ-10 та МВУ-0,5, а для застосування пестицидів застосовують обприскувачі ОП-2000 і змішувач ядохімікатів. У середньому щорічно у господарстві вносять близько 50 т аміачної селітри, 5 т суперфосфату та 10 т нітроамофоски. З пестицидних засобів орієнтовно застосовують 30 л протруювачів, 25 л фунгіцидів, 15 л інсектицидів і 65 л гербіцидів на рік.

Рекомендації щодо вдосконалення природоохоронної роботи в аграрному господарстві можуть бути наступними:

1. Упроваджувати науково обґрунтовану систему землеробства з орієнтацією на ресурсозбереження та мінімізацію відходів у технологічних процесах.
2. Забезпечити використання та поступове оновлення техніки для внесення агрохімікатів, яка дає змогу зменшувати втрати препаратів і точно дотримуватися норм витрати.
3. Організувати вапнування кислих ґрунтів шляхом внесення відповідних вапнякових матеріалів відповідно до агрохімічних показників.
4. Посилити протиерозійний захист на схилах через контурно-меліоративні прийоми обробітку, залуження та поетапне заліснення найбільш уразливих ділянок.
5. Обмежити потрапляння стоків тваринницьких відходів у ставки і зменшити ризики їх інфільтрації у підґрунтові води завдяки належному облаштуванню та контролю місць накопичення.
6. Проводити планові заходи з поліпшення санітарного стану лісових насаджень, включно з доглядовими та санітарними рубками.
7. Привести у належний стан водні джерела господарства та забезпечити системне запобігання їх забрудненню.

ВИСНОВКИ

З'ясовано, що за вирощування амаранту на сірих лісових ґрунтах із щільністю забруднення ^{137}Cs до $0,175 \text{ Кі/км}^2$ питома активність радіонуклідів у надземній вегетативній масі була у 40,2 раза нижчою за допустимий рівень, а в насінні у 120 разів нижчою, що підтверджує радіологічну безпечність отриманої продукції. За умов вирощування без внесення добрив урожайність надземної маси становила $22,4 \text{ т/га}$, а насіння – $2,2 \text{ т/га}$. Винесення ^{137}Cs з ґрунту надземною вегетативною масою досягало в середньому 336215 Бк/га , що істотно перевищувало винесення з насінням (9086 Бк/га).

За вирощування амаранту на сірих лісових ґрунтах Західного регіону України спостерігається виражена здатність культури до акумуляції Pb у рослинних тканинах. Кнак у надземній вегетативній масі становив $2,2 \pm 0,3$, що характеризує амарант як рослину, здатну інтенсивно поглинати Pb із ґрунтового розчину та переносити його в надземні органи. У насінні цей показник був нижчим, що вказує на нерівномірний розподіл Pb між вегетативними й репродуктивними органами. Середня концентрація Pb у вегетативній масі амаранту залишалася нижчою за норматив для кормових культур у 3,28 раза, що узгоджується з коефіцієнтом небезпеки і дає підстави розглядати біомасу як придатну для кормового використання. Водночас у насінні вміст Pb перевищував допустиме значення для зернових у 1,32 раза; відповідно коефіцієнт небезпеки складав $1,33 \pm 0,042$, що вказує на обмеження щодо використання насіння без додаткового контролю/заходів зниження вмісту Pb. Фіторемедіаційний потенціал амаранту підтверджується рівнем винесення Pb із ґрунту, у середньому $34,2 \text{ г/га}$ з надземною вегетативною масою та $1,4 \text{ г/га}$ з насінням. Переважне накопичення Pb у надземній біомасі (приблизно у 23,7 раза більше, ніж у насінні) підкреслює доцільність використання амаранту насамперед як культури для вилучення Pb із забруднених ґрунтів за умови повного використання/видалення надземної маси.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

За умов підвищеного вмісту у сірих лісових ґрунтах радіонуклідів і важких металів, коли існує ризик одержання рослинницької продукції з перевищенням допустимих рівнів, доцільно включати амарант у польову сівозміну як фіторемедіаційну культуру. Рекомендується після формування біомаси забезпечувати повне видалення надземної вегетативної маси з поля з подальшим контрольованим поводженням/утилізацією відповідно до чинних вимог. Такий підхід може сприяти зниженню забруднення ґрунту (у перерахунку на 1 га) приблизно на 336 215 Бк ^{137}Cs та 35,2 г Pb.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Гопцій Т.І., Воронков М.Ф., Бобро М.А. та ін. Амарант: селекція, генетика та перспективи вирощування: монографія. Харків: ХНАУ, 2018. 362 с.
2. Гудковська Н.Б. Урожайність та вміст білка в зеленій масі амаранту залежно від способів та строків сівби в Лівобережному Лісостепу України. *Овочівництво і багтанництво*. 2016. Вип. 62. С. 68–76.
3. ДСТУ ISO 10381-1:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. Частина 1. Настанови щодо складання програм відбирання проб. [Чинний від 01.04.2006]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 36 с.
4. Куценко М.І. Інтенсивність накопичення радіонуклідів вегетативною масою фацелії пижмолистої. *Таврійський науковий вісник. Сільськогосподарські науки*. 2024. Вип. 139. Ч. 1. С. 273-279. DOI <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2024.139.1.35>.
5. Лихочвор В.В. Петриченко В.Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге видання, доповн.і виправл. Львів: НФВ «Українські технології», 2012.324 с.
6. Макаренко Н.А. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив за впливом на ґрунтову систему: дис...доктора с.-г. наук. Київ, 2012.377 с.
7. Мислива Т.М. Надточій П.П., Герасимчук Л.О. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі і умовах посиленого впливу на навколишнє середовище / за ред. Т.М. Мисливої. Житомир, 2011. 52 с.
8. Разанов С.Ф., Куценко М.І. Оцінка рівня накопичення радіонуклідів сільськогосподарськими бобовими нектаропилконосними рослинами в умовах Північного Полісся. *Сільське господарство та лісівництво*. 2024. № 3. С. 198–207. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2024-3-17>

9. Razanov S., Kutsenko M., Klymenko M., Bakhmat M., Klymenko O., Bakhmat O., Holubieva T., Kovalchuk N., Mazurak O. Assessment of Phytoremediation of ^{137}Cs Contaminated Soils During the Cultivation of Nectar-Pollinating Plants. *Journal of Ecological Engineering*. 2023. Vol. 24, № 5. P. 316–321. DOI: <https://doi.org/10.12911/22998993/161767>
10. Razanov S., Aliexsieiev O., Snitynskyi V., Aliexsieieva O., Razanova A., Postoienko V., Dydiv O., & Dydiv I. Peculiarities of lead, cadmium, zinc and copper accumulation in *Miscanthus × giganteus* grown on different soil types in Ukraine. *Journal of Ecological Engineering*. 2025. Vol. 26, Issue 8. P. 143-152. doi:10.12911/22998993/203914
11. Романчук Л. Д., Кравчук-Ободзінська Т. В. Амарант і традиційні культури: біохімічна характеристика та перспективи використання. *Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2024. Випуск 4(108). С. 194–204. doi: <https://doi.org/10.31713/vs4202414>
12. Разанов С.Ф., Разанова А.М., Дидів А.І., Мазурак І.В., Міщенко Б.Д. Інтенсивність винесення амарантом цезію-137 із сірого лісового ґрунту в умовах Західного регіону України. *Таврійський науковий вісник. Серія: Сільськогосподарські науки*. 2025. Вип. 144. С. 320-327. doi:10.32782/2226-0099.2025.144.40
13. Рідей Н.М., Строкаль В.П., Наумовська О.І., Рибалко Ю.В. Оцінка придатності сільськогосподарських земель для формування екологічно чистих сировинних зон. Київ: УкрДГРІ, 2009. 190 с.
14. Рідей Н.М., Строкаль В.П., Рибалко Ю.В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Видавництво Олді-плюс, 2011. 258 с.
15. Снітинський В.В., Ткачук О.П., Разанова А.М., Коруняк О.П. Ефективність фітореMediaції забрудненого важкими металами ґрунту за вирощування розторопші плямистої. *Сільське господарство та*

лісівництво. 2023. № 28(1). С. 164–171. DOI: <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2023-1-11>

16. Тетерук О.О., Ковальов В.Б., Ландін В.П., Феценко В.П. Перспективи вирощування конопель, сої та амаранту на радіоактивно забруднених територіях. *Збалансоване природокористування*. 2018. № 4. С. 37–45.

17. Тирус М.Л. Економічна ефективність вирощування сортів амаранту в умовах Лісостепу Західного України. *Агробіологія*. 2025. № 1. С. 181-187.

18. Тараріко О.Г. Оцінка придатності сільськогосподарських земель України для створення екологічно чистих сировинних зон і господарств по виробництву продуктів дитячого та дієтичного харчування. Методичні рекомендації / за ред. акад. О.Г.. Тараріко. Київ: 1998. 58 с.

19. Самохвалова В.Л., Фатєєв А.І., Зуза С.Г., Зуза В.О. Спосіб ремедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2019. Вип.80. С.101-110.

20. Скопецька О.В., Косик О.І., Мусієнко М.М. Комплексний еколого-фізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроєкосистемах. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2014. Т. 36, №1 С. 27-35.

21. Фатєєв А.І., Мірошніченко М.М., Самохвалова В.А. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення важкими металами. *Вісник аграрної науки*. 1999.

22. Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: методичні рекомендації. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 70 с.

23. Фатєєв А.І., Самохвалова В.Л., Мірошніченко М.М. Надходження важких металів до рослин та ефективність добрив на техногенно забруднених ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 2005. №2. С. 61-65.

24. Янюк Т.І., Грюнвальд Н.В. Виробництво амаранту в Україні: стан і перспективи. *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10, № 18. С. 179–192. DOI: <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-18>

25. Янюк Т.І., Тракало Т.О., Ганзенко В.В. Вивчення властивостей зернобобової сировини для отримання функціональних продуктів. *Молодий вчений*. 2021. № 6(2). С. 108-113.