

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ПОЛІСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет лісового господарства та екології
Кафедра екології

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Іващенко Тарас Володимирович

УДК 581.57:543.272.8 (045)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА АГРОХІМІЧНІ І
БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ

101 Екологія

(шифр і назва спеціальності)

Подається на здобуття освітнього ступеня магістра
кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання
ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Т.В. Іващенко
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Никитюк Юрій Андрійович
доктор економічних наук, професор

Житомир - 2023

АННОТАЦІЯ

Іващенко Т. В. Екологічні аспекти впливу важких металів на агрохімічні і біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту. – Кваліфікаційна робота на правах рукопису.

Кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня магістра за спеціальністю 101 – екологія. – Поліський національний університет, Житомир, 2023.

Зміст анотації: Кваліфікаційна робота містить 32 сторінки, 7 таблиць. Список використаних джерел налічує 29 позицій.

Об'єктом дослідження є вплив важких металів на агрохімічні і біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту

Мета дослідження полягала у вивченні впливу агрохімічних засобів (органічних, мінеральних, вапнякових добрив і їх поєднання) на фізико-хімічні і біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту, який забруднений важкими металами.

В Розділі 1 наведено аналітичний огляд літератури за темою кваліфікаційної роботи; в Розділі 2 – програма, методика та умови проведення дослідження; в Розділі 3 – представлені результати експериментальних досліджень.

Ключові слова: важкі метали, дерново-підзолистий ґрунт, агрохімічні властивості.

SUMMARY

Ivashchenko T.V. Ecological aspects of the influence of heavy metals on the agrochemical and biological properties of sod-podzolic soil.

Qualification work for the master's degree in speciality 101 - Ecology. - Polissya National University, Zhytomyr, 2023.

Content of the abstract: The qualification work contains 32 pages, 7 tables. The list of references includes 29 items.

The object of research is the influence of heavy metals on the agrochemical and biological properties of sod-podzolic soil

The aim of the study was to investigate the impact of agrochemicals (organic, mineral, limestone fertilisers and their combinations) on the physicochemical and biological properties of sod-podzolic soil contaminated with heavy metals.

Section 1 provides an analytical review of the literature on the topic of the qualification work; Section 2 describes the programme, methodology and conditions of the study; Section 3 presents the results of experimental studies.

Keywords: heavy metals, sod-podzolic soil, agrochemical properties.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. ВАЖКІ МЕТАЛИ В СИСТЕМІ ҐРУНТ - РОСЛИНА (аналітичний огляд літератури).....	8
1.1. Поняття про важкі метали.....	8
1.2. Методи детоксикації важких металів в системі ґрунт-рослина.....	9
Розділ II. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	13
2.1. Програма дослідження.....	13
2.2. Методика дослідження.....	13
2.3. Умови проведення дослідження.....	15
Розділ III. ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА АГРОХІМІЧНІ І БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ҐРУНТУ.....	16
3.1. Вплив агрохімічних заходів на фізико-хімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами	16
3.2. Ферментативна активність дерново-підзолистого ґрунту при забрудненні його важкими металами.....	19
3.3. Вплив агрохімічних заходів на вміст і властивості гумусу дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами	20
3.4. Вплив агрохімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами, на ріст і розвиток рослин.....	21
3.5. Особливості формування продуктивності овочевих культур на ґрунтах, забруднених важкими металами.....	23
3.6. Вплив агрохімічних заходів на вміст і накопичення важких металів в рослинах при забрудненні ґрунту Zn, Pb, Cu і Z.....	25
ВИСНОВКИ.....	28
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	30

ВСТУП

Актуальність дослідження. Невід’ємною частиною екологічних проблем, що пов’язані з охороною навколишнього середовища, стало вивчення забруднення компонентів біосфери, у тому числі ґрунту і рослин, важкими металами, які приносять суттєву шкоду агроценозам. З кожним роком частка забруднених ґрунтів зростає, що створює небезпеку вилучення таких земель із сільськогосподарського використання [1, 7, 11].

Збитки від забруднення будуть значною мірою залежати від властивостей ґрунту, і особливо від тих, які впливають на рухливість важких металів і, як наслідок, на міграцію по ґрунтовому профілю і накопичення в рослинах. Виходячи з цього, очевидною є актуальність розробки науково обґрунтованих агрохімічних заходів детоксикації важких металів при забрудненні ґрунтів для отримання екологічно безпечної продукції рослинництва [5].

Агрохімічні засоби знижують негативний вплив важких металів декількома шляхами, у тому числі інактивацією їх у ґрунті і посиленням фізіологічних бар’єрних функцій рослин, які перешкоджають надходженню важких металів, що супроводжується оптимізацією живлення рослин, і як наслідок покращенням біологічного стану ґрунту. Ця екологічна функція, а саме покращення біологічної активності ґрунту, який забруднений важкими металами під впливом агрохімічних засобів поки що не має експериментального підтвердження. Дослідженнями доведено, що деякі показники біологічної активності, у тому числі ферментативна активність ґрунту, при виникненні в ґрунті стресової ситуації змінюється раніше, ніж інші ґрунтові характеристики, наприклад, агрохімічні. У зв’язку з цим необхідно визначити ступінь негативного впливу важких металів на активність ферментів ґрунту [22, 27].

Об’єкт дослідження – вплив важких металів на агрохімічні і біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту.

Предмет дослідження – важкі метали, дерново-підзолистий ґрунт.

Мета і завдання дослідження. *Метою* дослідження було вивчення впливу агрохімічних засобів (органічних, мінеральних, вапнякових добрив і їх поєднання) на

фізико-хімічні і біологічні властивості дерново-підзолистого ґрунту, який забруднений важкими металами. В *завдання* досліджень входило:

1. Вивчити вплив агрохімічних властивостей ґрунту, застосування гною, вапнякових і мінеральних добрив на рухомість і трансформацію важких металів в дерново-підзолистому ґрунті.

2. Встановити розподіл важких металів по профілю ґрунту в залежності від фізико-хімічних властивостей ґрунту.

3. Дослідити вплив забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu і Pb на урожайність і якість продукції картоплі, буряка і капусти.

4. Вивчити вплив наслідків агрохімічних засобів на уреазну, інвертазну і фосфатазну активність ґрунту при вирощуванні картоплі, цибулі, буряка і капусти.

Наукова новизна. Встановлено, що агрохімічні засоби (органічні, мінеральні і вапнякові добрива) згодом не лише інактивують важкі метали в ґрунті, а й опосередковано виявляють захисні екологічні властивості (знижують негативний вплив важких металів) відносно до активності ферментів. Показано, що ступінь впливу агрохімічних засобів на зниження пригнічення ферментів різна, максимальні протекторні властивості відмічаються на фоні поєднання «ґрунт + вапно+ NPK».

Проведено порівняльне вивчення впливу повторного вапнування і застосування органічних і мінеральних добрив згодом на транслокацію Cd, Zn, Cu і Pb в ґрунті і в рослинах картоплі, цибулі, буряка і капусти та їх вплив на врожай і якість продукції. Показано, що суттєвого зниження рухомості важких металів в ґрунті та їх надходження в рослини можна досягнути при періодичному вапнуванні і використанні вапна разом із гноєм. Встановлені відмінності в характері впливу важких металів на властивості ґрунту, у тому числі вміст і якість гумусу. Вивчена міграція важких металів по профілю ґрунту в залежності від його агрохімічних властивостей. Встановлений ряд активності поглинання важких металів в дерново-підзолистому ґрунті.

Практичне значення роботи. Отримані результати дозволяють дати практичні рекомендації щодо використання показників активності ферменту уреазу з метою діагностики забруднення дерново-підзолистого ґрунту важкими металами.

Розроблені агрохімічні заходи по рекультивації забруднення ґрунтів і визначені рівні реакції середовища, які забезпечують зниження рухомості важких металів і отримання екологічно безпечної продукції рослинництва. Отримані результати можуть стати науковою базою для розробки нормативів і агрохімічних прийомів корінного покращення родючості забруднених ґрунтів.

Встановлена висока стійкість картоплі до забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu і Pb, що дозволяє обґрунтувати можливість її вирощування в умовах високого ступеня забруднення важкими металами ґрунту. Вивчення міграційних процесів сполук Cd, Zn, Cu і Pb дає можливість прогнозувати надходження даних елементів із ґрунту, зокрема, в ґрунтові води.

Структура і об'єм роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, огляду літературних джерел, програми, методики та умов проведення дослідження, експериментальних досліджень, висновків, списку використаної літератури (29 позицій).

Загальний об'єм роботи 32 сторінки. Робота містить 7 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ВАЖКІ МЕТАЛИ В СИСТЕМІ ГРУНТ - РОСЛИНА

(аналітичний огляд літератури)

1.1. Поняття про важкі метали

Метали із щільністю понад 5 г/см^3 відносяться до важких металів (ВМ). Серед 90 елементів, які поширені в природі – 21 неметал, 16 – легкі метали і 53 – важкі метали. Важкі метали – елементи з перемінною валентністю і з не повністю заповненими d – орбіталями. Заданість катіонів важких металів утворювати комплекси, які можуть мати окислювально-відновну активність або не мати її, забезпечуються d – орбіталями [1-5, 29].

Всі ці 53 важких метали не мають позитивної або негативної біологічної функції для живої клітини, оскільки в звичайній екосистемі вони недоступні. Щоб бути біодоступними, важкі метали мають бути присутні в даній екосистемі меншою мірою в наномолярних концентраціях, оскільки концентрація в 1 нМ означає, що в суспензії клітин $10^9/\text{мл}$ кожна клітина може отримати приблизно 600 іонів. Іони металів, які зазвичай присутні в більш низьких концентраціях, можуть використовуватися мікроорганізмом для дуже специфічних цілей, проте чим нижча середня концентрація іону металів в екосистемі, тим меншою є ймовірність, що будь-який вид здатен використовувати або детоксикувати цей специфічний важкий метал [7, 18, 21].

Важкі метали поділяються на 4 класи на основі показника концентрації в середовищі:

- часто трапляються мікроелементи з концентраціями між 100 нМ і 1 мкМ - Fe, Zn и Mo;
- мікроелементи, які трапляються помірно з концентраціями 10 і 100 нМ - Ni, Cu, As, N, Mn, Sn и U;
- мікроелементи, які трапляються зрідка - Co, Se, Ag и Sb;
- Cd, Cr, W, Ga, Zr, Th, Hg и Pb – нижче рівня 1 нМ [6, 17, 24].

Відносна розчинність важких металів при фізіологічних умовах обумовлює відмінності в біологічній значимості і токсичності важких металів відносно споріднення із середовищем та інших взаємодій з макроелементами у складі живих

організмів. Із-за низької розчинності трьох- або чотирьохвалентні катіони Sn, Ce, Ga, Zr і Th не мають ніякого біологічного значення. З решти 17 важких металів: Fe, Mo і Mn – важливі мікроелементи з низькою токсичністю; Zn, Ni, Си, V, Co, W і Cr – токсичні елементи з високою – середньою значимістю в якості мікроелементів і As, Ag, Sb, Cd, Hg, Pb і U не мають ніякої корисної функції, проте розглядаються як токсини для клітин [27-30].

На додачу до важливої каталітичної ролі, катіони важких металів, утворюючи комплекси з біомолекулами у складних біохімічних реакціях, таких як азотфіксація, фотоліз води під час фотосинтезу, кисневе чи нітратне дихання, одноелектронний каталіз, перегрупування C-C-зв'язків, асиміляція, водневий розклад, розкладання сечовини, транскрипція генів у мРНК тощо, можуть також утворювати в клітинах неспецифічні комплексні сполуки в підвищених концентраціях, що призводить до токсичних ефектів. Катіони таких важких металів, як Hg^{2+} , Cd^{2+} та Ag^{+} , є дуже токсичними комплексоутворювачами та часто небезпечними для будь-якої біологічної функції. Навіть такі найбільш значущі мікроелементи, як Zn^{2+} або Ni^{2+} , і особливо Cu^{2+} , є токсичними в підвищених концентраціях. Тому кожна форма життя була змушена розвинути якусь систему гомеостаз, щоб забезпечити жорсткий контроль над концентрацією іонів важких металів усередині клітин [11, 15, 17, 21, 29].

1.2. Методи детоксикації важких металів в системі ґрунт-рослина

Для детоксикації ґрунтів від важких металів необхідно організувати господарювання таким чином, щоб якщо не ліквідувати, то значно скоротити об'єми надходження токсикантів в навколишнє середовище. Для промислових підприємств цього можна досягнути впровадженням нових технологій і вловлювачів викидів, для автотранспорту – використанням добавок до палива, які не містять важких металів, або взагалі переходом на альтернативні види палива [23].

Ґрунт як природне тіло має певну здатність до самоочищення: матеріали антропогенного походження, які в нього надходять впродовж якогось відрізка часу руйнуються і розкладаються. При незначному забрудненні важкими металами ґрунт може переводити їх в малоактивні форми [3, 8, 9, 10, 26].

Проте захисні можливості ґрунту обмежені, особливо якщо вони містять мало гумусу і мають легкий гранулометричний склад. З'являється необхідність допомогти ґрунту тим, щоб використати його плодючість з господарською метою. Суть такої допомоги полягає в інактивації надлишку важких металів, у послабленні їх атаки на живі організми в цілому, у зменшенні їх вмісту в сільськогосподарських культурах.

До рекомендованих прийомів детоксикації надлишку важких металів в ґрунті відносяться внесення вапна і застосування органічних добрив [13, 26].

При вапнуванні ґрунту надходження важких металів в рослини зменшується. Цьому може бути декілька пояснень: 1) внаслідок зростання рН важкі метали випадають із ґрунтового розчину в осад у вигляді гідроксидів, карбонатів і фосфатів; 2) в результаті зростання рН і вмісті в ґрунті Ca^{2+} зменшується здатність коренів рослин до поглинання ряду важких металів, зокрема свинцю; 3) вапнування сприяє утворенню комплексів органічних речовин ґрунту з важкими металами [25].

Дані про рухомість важких металів в різних природних умовах, неоднакових за кислотно-лужними і окислювально-відновними умовами, свідчать, що не для усіх важких металів зміна рН ґрунту шляхом вапнування може стати вирішальним фактором обмеження їх рухомості: такі основні токсиканти, як As і Cd, зберігають рухомість на одному і тому ж рівні в широкому діапазоні умов. Те ж саме можна сказати і про синець [2, 4, 6, 11, 14].

Дози вапна, що необхідні для інактивації важких металів, залежать від кислотності і величини рН, яка відповідає найменшій рухомості металів – забруднювачів. У різних металів вона різна. При підвищенні рН зменшується рухомість Hg, Cd, Pb, Zn, Cu, Ni, Cr і, навпаки, зростає мобільність Mo, As, Se, Cr.

У випадку забруднення ґрунту Mo, As, Se вапнування заборонено, необхідно підкислювати. Проте практичні розробки на цей рахунок відсутні [28].

Відносно доз внесення вапновмісних матеріалів існують дві точки зору. Одна з них зводиться до того, що з практичною метою достатньо нейтралізувати обмінну кислотність. Згідно іншої, необхідно більш глибоке підлужування до повної нейтралізації гідролітичної кислотності. Повна нейтралізація гідролітичної кислотності забезпечує більший ефект, проте за економічними рамками досягнення

його не завжди може бути виправданим. Справа в тому, що на сильноокислих ґрунтах важкого гранулометричного складу дози вапна можуть досягати 10 т/га і вище [24, 28].

Застосування гною, торфу, органо-мінеральних компонентів та інших дозволяє використовувати властивість багатьох органічних сполук до комплексотворення з важкими металами. Комплекси, які утворюються, або є металоорганічними або малорухомими, або не здатними до подолання клітинних мембран на контакті ґрунт – коріння. Окрім цього, утворення органічних добрив вирішує друге важливе да забруднення ґрунтів завдання – збагачує їх органічним вуглецем і елементами мінерального живлення рослин [7-11].

Досліджень щодо вивчення застосування органічних добрив для детоксикації надлишку важких металів в ґрунті проведено, на жаль, небагато. Можливо, це пов'язано з тим, що загальні питання використання гною, торфу досить добре вивчені і розроблені дози їх внесення для різних ґрунтів. Проте при цьому досить добре вивчені і розроблені дози їх внесення для різних ґрунтів. Проте при цьому враховувалися лише їх удобрювальні властивості. Що ж стосується розміру і ступеня детоксикації важких металів різними видами гною, торфу, компостів і розробки на цій основі доз органічних добрив, то на сьогодні про них мало що відомо. Оскільки перераховані органічні добрива екологічно відносно безпечні, деякі автори для детоксикації важких металів рекомендують прийняти «підвищені норми». Ймовірно, інактивацийний ефект від цього стане вищим, проте не слід забувати, що при швидкому розкладанні і мінералізації великих доз органічних добрив в ґрунті може накопичуватися надлишок нітратів і нітритів, що несприятливо є з ветеринарно- і санітарно-гігієнічних позицій [3, 21, 29].

Значною здатністю детоксикації важких металів мають фосфорні добрива. Фосфати свинцю, цинку та інших металів являють собою важкорозчинні сполуки, малодоступні для рослин. Внесення 3 т/га однозаміщеного фосфату кальцію в кислі ґрунти по ефекту детоксикації Рb відповідало внесенню від 1 до 4 т CaCO_3 / га. Для зниження витрат замість суперфосфату варто застосовувати фосфоритне борошно.

Тому фосфоритування кислих ґрунтів з метою інактивації надлишку важких металів розглядається як один із важливих заходів охорони здоров'я людини і тварин [4].

Для детоксикації надлишку важких металів в ґрунті, можливо, ефективним стане використання цеолітів як природних, так і штучних. Будучи ємними іонообмінниками, цеоліти в стані обмінно поглинути найбільш мобільну частину елементів – забруднювачів, тим самим зменшити їх потік в рослини [6, 9, 12].

З метою іонообмінників для детоксикації важких металів досліджувалися також синтетичні речовини: смоли, полістирол і т.і. [13].

Внесення в ґрунт водо нерозчинного полістиролу інактивує деяку частину важких металів. Вважається, що найбільш доцільно використовувати невисокі дози полістиролу на сильно кислих ґрунтах, поєднуючи їх з мергелем [1].

Також пропонується, які крайній захід, створення нового орного горизонту як за рахунок плантажної оранки, яка забезпечує захоронення забрудненого шару на глибині 40-50 см і вивертається на поверхню підорного незабрудненого, так і шляхом створення насипної товщі за рахунок ґрунту, привезеного з незабрудненої території. Можливо, таке видалення токсичного шару і на його місці розміщення нормального ґрунту. В регіонах, де не вистачає орної землі, подібна рекультивация, особливо в умовах припинення або ослаблення техногенного забруднення, може стати виправданим заходом [1-4, 28].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма дослідження

В програму дослідження входили наступні питання:

1. Опрацювання літературних джерел за темою кваліфікаційної роботи.
2. Визначення об'єкту, предмету, мети та завдання дослідження.
3. Підбір методів дослідження.
4. Вивчення впливу агрохімічних властивостей ґрунту, застосування гною, вапнякових і мінеральних добрив на рухомість і трансформацію важких металів в дерново-підзолистому ґрунті.
5. Встановлення розподілу важких металів по профілю ґрунту в залежності від фізико-хімічних властивостей ґрунту.
6. Дослідження впливу забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu і Pb на урожайність і якість продукції картоплі, буряка і капусти.
7. Вивчення впливу наслідків агрохімічних засобів на уреазну, інвертазну і фосфатазну активність ґрунту при вирощуванні картоплі, цибулі, буряка і капусти.

2.2. Методика дослідження

Розробка заходів щодо зниження токсичності важких металів є пріоритетним у вирішенні задач щодо оцінки і прогнозу забруднення ґрунтів і рослин важкими металами [1]. Наша робота стосується вирішення цих питань для овочевих культур, як тих, які найбільше відкликаються на накопичення важких металів. Для вирішення поставлених завдань в 1998 році, згідно методичних вказівок, було закладено мікропольовий дослід в с. Грозино, Коростенського району Житомирської області. Ґрунт дерново-підзолистий супіщаний. Дослід проводився в 5-ти кратній повторності, в судинах з вініпласту без дна, розмірами 36 см x 36 см, висота 30 см. Судини встановлені з наповненням їх ґрунтом орного шару на глибину 25 см.

Вихідна агрохімічна характеристика ґрунту оцінювалася як сильно кисла, рН – 4,1; вміст рухомого фосфору 35,2 мг/кг, обмінного калію – 125,5 мг/кг ґрунту,

кількість важких металів знаходилася на рівні регіонального фону і характеризувалася як незабруднена.

В 1-й рік під культури в ґрунт вносили $N_{60}P_{60}K_{60}$ в якості фону (окрім контролю). У 7-му варіанті внесена подвійна доза НРК. Потім вносили мінеральні добрива на запланований врожай у формі нітрофоски в дозах (в кг д.р.): капуста і цибуля - $N_{120}P_{100}K_{120}$; буряк - $N_{120}P_{80}K_{80}$; картопля - $N_{90}P_{90}K_{120}$. Органічні добрива застосовувалися у формі перепрілого гною в дозі 60 т/га. Вапнякові добрива (доломітове борошно) використовували в дозі 10 т/га (по 2,0 г.к.). В 2022 році проведено на трьох повторностях дослідів вапнування дозою 10 т/га, тим самим вивчення транслокації важких металів в досліді проводиться на вапняковому і невапняковому фонах.

Важкі метали вносили у вигляді розчинів (1:10) водо-розчинних чистих солей, в дозі із розрахунку на чистий метал: Cd – 5 мг/кг, Zn – 300, Cu – 150, Pb – 100 мг/кг ґрунту [7, 8, 12].

Схема дослідів

Проведено вапнування	Без вапнування
1. Контроль (абсолютний)	1. Контроль (абсолютний)
2. НРК - фон	2. НРК - фон
3. Фон + ВМ (Cd, Cu, Pb, Zn)	3. Фон + ВМ (Cd, Cu, Pb, Zn)
4. Фон + ВМ + вапно	4. Фон + ВМ + вапно
5. Фон + ВМ + гній	5. Фон + ВМ + гній
6. Фон + ВМ + гній +	6. Фон + ВМ + гній +
7. $N_2P_2K_2$ + ВМ	7. $N_2P_2K_2$ + ВМ

В якості об'єктів дослідження вибрані: капуста – «Динамік F1», картопля – «Невська», цибуля – сорт «Радар», буряк столовий – «Бордо» [1].

В досліді проводили відбір ґрунтових зразків в 4-х кратній повторності; рослинних зразків основної і побічної продукції; фенологічні спостереження; полив рослин проводили дистильованою водою. З метою вивчення міграції важких металів в судинах відбиралися зразки пошарово до 1 м спеціальним буром. Проведення хімічних аналізів в ґрунтах проводили за відповідними стандартами, гумус – за Тюрнімом, фракційний склад гумусу за Орловим. Аналіз вмісту важких металів –

методом абсорбційної спектрометрії. Статистичну обробку результатів дослідження проводили дисперсійним методом за допомогою прикладних комп'ютерних програм.

2.3. Умови проведення дослідження

Житомирська область розташована на півночі України, в межах Поліської низовини, на півдні – в межах Придніпровської височини. Природна родючість земель невисока: вміст гумусу – не більше 2%, несприятливий гранулометричний склад, підвищена кислотність ($pH_{КСІ}$ 4,3 – 5,0), бідність на елементи живлення.

В роки проведення досліджень метеорологічні умови незначно відрізнялися від середніх багаторічних. В 2021 році формування вегетативної маси відбувалося при нестачі вологи. Температурний режим був нижчим від середньо багаторічних величин. 2022 рік – був жарким і сухим в другій половині червня. Дефіцит вологи в цей період був особливо відчутним. Період дозрівання проходив при гарному забезпеченні вологою, проте температура повітря була нижче середніх багаторічних показників. Погодні умови вегетаційного періоду 2023 року були сприятливими: $t^{\circ}C$ на $+2...+4^{\circ}C$ була вищою від середньо багаторічної, сума опадів _ на рівні багаторічних величин (проте за періодами вегетації розподілялася вкрай нерівномірно).

РОЗДІЛ 3
ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА
АГРОХІМІЧНІ І БІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ
ДЕРНОВО-ПІДЗОЛИСТОГО ГРУНТУ

3.1. Вплив агрохімічних заходів на фізико-хімічні властивості дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами

Найбільший зсув реакції середовища відмічений на фоні вапна (4 і 6 варіанти) – $pH_{КСІ}$ наближений до нейтрального; у варіантах без вапна - - pH 3,9 – 4,1. Суттєве підкислення (з pH 4,2 в 1998 р. до pH 3,8 в 2022 році) відбулося на фоні 2 NPK (таблиця 3.1). Внесення гною без вапна не призвело до зниження кислотності – величина pH 4,0-4,1. Вміст фосфору і калію в ґрунті збільшувався в залежності від дози внесених добрив [27].

Таблиця 3.1

Вплив прийомів детоксикації ґрунтів, забруднених важкими металами, на динаміку кислотності дерново-підзолистого ґрунту, 2023 р.

Варіант	2021	2022		2023		2023					
	pH					Hr		Ca		Mg	
		В	Б/В	В	Б/В	В	Б/В	В	Б/В	В	Б/В
Контроль	4,2	6,6	4,1	6,5	4,2	0,8	3,5	3,5	2,0	1,6	0,62
NPK + фон	4,0	6,4	3,8	6,4	3,8	1,0	3,8	3,7	1,7	1,7	0,58
Фон + VM	4,0	6,4	3,7	6,5	3,7	1,1	4,0	3,7	1,8	1,6	0,50
Фон + VM+В	6,0	6,5	5,2	6,5	5,0	0,6	1,0	4,2	3,2	2,0	1,6
Фон+VM+Г	4,0	6,3	3,8	6,3	3,8	1,2	4,0	4,0	2,0	1,6	0,54
Фон+VM+Г+В	5,9	6,5	5,4	6,5	5,2	0,7	1,3	4,5	3,2	2,0	1,74
N ₂ P ₂ K ₂ +VM	3,8	6,3	4,1	6,3	4,2	1,3	4,2	3,8	1,6	1,5	0,51
НІР ₀₅	0,15	0,2	0,15	0,2	0,2	0,3	0,5	0,3	0,3	0,2	0,2

Примітка: В – вапно, Б/В – без вапна, Г – гній, VM – важкі метали

З 2022 року вивчався вплив факторів детоксикації на вапнованому і невапнованому фонах. Вапнований ґрунт обумовив значне зниження кислотності середовища: на всіх варіантах рівень $pH_{сол}$, у тому числі на контролі, знаходився в межах – 6,3-6,6. Аналогічні закономірності відмічалися у відношенні гідролітичної кислотності, суттєво зросла сума поглинутих основ, в 4 і 6 варіантах ці показники

достовірно вищі в порівнянні з іншими варіантами досліду [17, 18, 21]. На невапнованих повторностях досліду, реакція середовища характеризується як кисла, лише на фоні внесення вапна (4 варіант) і сумісного його застосування з гноєм (6 варіант) – як слабо кисла – 5,1 – 5,3(таблиця 3.1).

Результати показують, що в ґрунті з кислою реакцією середовища, застосування вапна з метою зниження рухомості ВМ чітко визначено (таблиця 3.2). Дія гною для зниження рухомості ВМ була недостатньо помітною. Внесення лише вапна і разом з гноєм (4 і 6 варіанти) призвело до збільшення валового вмісту ВМ у порівнянні з 3, 5 і 7 варіантами: вміст Zn – 252 мг/кг ґрунту, а в інших варіантах 113 – 144 мг/кг ґрунту, максимум вмісту Cd склав 10,6 мг/кг ґрунту, у варіантах, де не вносилося вапна 5,2 – 6,4 мг/кг ґрунту. Застосування «вапно + гній» достовірно знижувало кількість рухомих сполук Zn і Ca [2, 3, 14, 19, 20].

Таблиця 3.2

Вплив вапнякових, органічних і мінеральних добрив на вміст важких металів в ґрунті (мг/кг ґрунту), 2023

№ варіанту	Валові форми ВМ				Рухомі форми ВМ			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
Контроль	0,3	5	9	24	0,06	1,2	2,0	2,3
НРК+фон	0,2	4	8	22	0,04	1,4	1,2	1,6
Фон+ВМ	5,5	98	124	125	3,8	54	77	88
Фон+ВМ+В	10,4	114	138	252	6,0	44	77	71
Фон+ВМ+Г	6,4	95	133	144	4,8	57	77	93
Фон+ВМ+Г+В	10,6	110	138	250	6,2	48	74	77
N ₂ P ₂ K ₂ +ВМ	5,3	96	133	113	4,0	59	75	78
НІР ₀₅	0,2	5,2	8,6	14,0	0,1	0,6	2,0	1,6

Використання меліорантів не суттєво знижувало рухомість Cd і Pb у порівнянні з 3-ім варіантом. Частка рухомих сполук ВМ від валового їх вмісту знаходиться в тісній залежності від реакції середовища: по Cd на фоні вапна вона склала 64%, а на фоні 2НРК без вапна – 75%, відповідно по Zn – 27 і 69%, по Cu – 41 і 60%; співвідношення вмісту різних форм Pb не залежало від рівня рН; на вапнованому і не вапнованому фоні склало відповідно 57 і 58%.

Щоб оцінити доступність ВМ для рослин і їх міграційну здатність по профілю ґрунту, в ґрунті визначали коефіцієнти рухомості ВМ. В 3, 5 і 7 варіантах, в умовах

кислого середовища без застосування вапна, рухомість ВМ була значно вищою, ніж у варіантах, де вносилося вапно: по Cd вона становила від 72 до 77%, а в 4 і 6 варіантах 65%, по цинку – 65-67% і 27-29% відповідно. Таким чином, зниженням кислотності середовища з 4,0 до 6,4 можна зменшити рухомість ВМ в 1,5-2 рази. За ступенем рухомості досліджувані елементи розташовуються в наступному порядку: кадмій>цинк>мідь>свинець [16].

Вивчення міграції ВМ і зміна агрохімічних властивостей невапнованого ґрунту показали, що реакція середовища на контролі, у варіанті «NPK+ВМ», «NPK+ВМ+гній» [4] у орному горизонті знаходиться в межах 3,7 – 4,3, на фоні «NPK+ВМ+ вапно» і «NPK+ВМ + вапно +гній» - 5,7. Максимальний вміст рухомого фосфору знаходиться в орному шарі, в підорному – його вміст на контролі знижується майже в 2 рази, а на варіантах з внесенням NPK і вапна більше ніж в 5 разів і до відмітки 80-100 см величина P_2O_5 досягає до 5 мг/кг ґрунту. Вміст обмінного калію хоча й знижується в 2 і більше разів, проте, в подальшому по горизонтах він визначається на рівні підорного горизонту.

Виявлено, що Cd і Zn в основному накопичується в орному і підорному горизонтах. Ці елементи зберігають високу концентрацію у всіх нижче лежачих горизонтах. Cu і Pb накопичуються в шарі 0-20 см, в підорному горизонті концентрація елементів знижується, і до відмітки 1 м досягає малих величин, які практично не відрізняються від контролю [29].

При вапнуванні ґрунтів (4 і 6 варіанти) максимальний вміст всіх ВМ відмічений лише в орному шарі, в інших – знаходиться практично на рівні контрольного варіанту. Виявлені закономірності відмічені при визначенні, як валового вмісту, так і кількості рухомих досліджуваних елементів.

На вапнованому ґрунті на всіх варіантах рівень реакції середовища практично однаковий, суттєва різниця відмічена лише за вмістом фосфору і калію. Визначення вмісту ВМ показало, що умови реакції середовища суттєво впливають на трансформацію їхніх сполук, що призводить до значного зниження рухомості ВМ в ґрунті. При рівні рН >5,5 підвищений вміст фосфору також виявляє детоксикаційний

ефект. Встановлено, що найбільш сильно зв'язується з ґрунтом Pb і Cu, для них характерним є більш суттєве зменшення рухомості, ніж для Cd і Zn.

Таким чином, при забрудненні ВМ ґрунтів проведення вапнування забезпечує зниження рухомості ВМ в 1,5 – 2 рази. Тривалий вплив вапна посилюється при сумісному внесенні його з гноєм.

3.2. Ферментативна активність дерново-підзолистого ґрунту при забрудненні його важкими металами

На вапнованому ґрунті проведено дослідження активності ферментів групи гідролаз: уреази, інвертази і фосфатази. Застосування добрив сприяє зростанню активності ферментів [20], що пов'язано, ймовірно, з збільшенням біомаси досліджуваних культур, внаслідок покращення умов живлення рослин і життєдіяльності мікрофлори (таблиця 3.3).

Таблиця 3.3

Вплив важких металів на ферментативну активність ґрунту

Варіант	Інвертазна активність				Уреазна активність				Фосфатазна активність			
	мг глюкози/1 г ґрунту за 24 год				N-NH ₄ ⁺ /10 г ґрунту за 24 год				мг P ₂ O ₅ /10 г ґрунту			
	Ц	Кап	Б	К	Ц	Кап	Б	К	Ц	Кап	Б	К
контроль	5,4	5,8	4,8	5,6	29,0	28,2	26,7	28,0	5,3	6,7	5,0	6,0
НРК	7,0	6,7	6,0	7,0	41,4	43,6	35,2	43,2	7,1	7,2	6,1	7,0
НРК+ВМ	5,8	6,0	5,7	6,5	28,7	39,7	32,6	35,4	6,8	6,8	5,5	6,3
НРК+ВМ+В	7,0	8,2	6,1	7,8	39,0	49,5	44,0	47,7	7,4	7,8	6,4	7,1
НРК+ВМ+Г+В	8,3	8,7	7,3	8,5	54,0	56,5	56,7	58,3	8,1	8,6	7,0	7,7
НРК+ВМ+Г	6,8	7,0	6,1	7,5	42,2	46,3	45,1	44,1	6,8	7,2	6,3	6,5
2 НРК +ВМ	7,1	7,8	6,6	6,8	47,5	43,6	42,3	49,1	8,0	8,5	7,5	8,0
НІР ₀₅	0,5	0,6	0,7	0,5	2,1	1,4	2,1	3,1	0,6	0,6	0,6	0,6

Примітка: ВМ – важкі метали, В – вапно, Г – гній, Ц – цибуля, Кап – капуста, Б – буряк, К – картопля.

Токсичний вплив ВМ [6, 9, 21] виявляється на фоні НРК (3 варіант): для картоплі зниження рівня ферментативної активності інвертази, уреази і фосфатази було відповідно на 6, 18 і 11%; для буряка на 5, 8 і 10%; для цибулі – на 17, 30 і 4%; для капусти збільшення активності було відповідно в 2,0, 2,1, 1,9 і 2,6 разів. Суттєве

нижче (відповідно на 16-24%) значення показника були на органічному і мінеральному фоні.

Внесення 2NPK (7 варіант), є потужним детоксикуючим фактором: активність уреазы по всіх культурах практично не відрізняється від найкращого варіанту (NPK+вапно+гній). По інтенсивності позитивного впливу на активність уреазы добрива можна розташувати в такому порядку: вапно + гній >2NPK>вапно>гній.

Зміна агрохімічних властивостей ґрунту позитивно вплинула на інвертазну активність. Найменше пригнічення ферменту спостерігалось під картоплею. Під усіма культурами спостерігалася наступна закономірність: найбільш висока активність ферменту відмічена на фоні «NPK+гній+вапно», підвищення показника у порівнянні з контролем було в 1,6 – 1,5 разів, на фоні гною – в 1,3 рази. За ступенем протекторної дії на активність інвертази агрофони розташувалися в такому порядку: «гній + NPK+вапно»>вапно>(2NPK)>гній. Виявлено, що в умовах забруднення ґрунту при рівні вмісту рухомого фосфору 114 мг/кг ґрунту під усіма культурами виявляється тісна залежність з активністю фосфатази (r =від 0,85±0,04 до 0,90±0,06). Інгібування ферменту мало характер тенденції, достовірного зниження у порівнянні з контролем і незабрудненим фоном не встановлено.

Таким чином, агрохімічні заходи згодом не лише безпосередньо інактивують ВМ в ґрунті, а й опосередковано виявляють захисні екологічні властивості відносно до активності ферментів.

3.3. Вплив агрохімічних заходів на вміст і властивості гумусу дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами

Вивчення групового і фракційного складу гумусових сполук показало (таблиця 3.4), що відмічається збільшення частки рухомої фракції в сумі ГК, найменший її вміст – на контролі. На варіантах, де вносили гній і NPK (6, 3 і 7 варіанти), збільшується частка цієї фракції в загальній сумі ГК. На фоні вапна, як окремо, так і сумісно з гноєм (4 і 6 варіанти), відмічається найбільша кількість рухомої фракції ГК, відбувається збільшення суми ГК (з 29,4 до 31,7 і 32,0 відповідно) і кількості ГК, зв'язаних із кальцієм (фракція 2), знижується вміст ГК фракції 1, зв'язаних з окислами. В цілому вихід ГК зростає.

Вміст «агресивної» фракції -1 а фульвокислот (ФК) практично не змінюється під впливом гною, проте суттєво зростає при внесенні NPK (3 і 7 варіант) – відповідно з 5,60 до 6,28 і 6,30.

Сума ГК і ФК за фракціями становить 55,0-61,7% від загального вуглецю гумусу. Із співвідношення Сгк/Сфк слідує, що в усіх варіантах дослідів (за виключенням контролю) органічна речовина носить фульватно-гуматний характер і змінювалася від 0,94 до 1,05, найкращий якісний склад гумусу у варіантах, де вносили гній (5 і 6 варіант).

Таким чином, в умовах забруднення ґрунтів ВМ, вапнування сприяє покращенню якості гумусу, призводить до зростання вмісту ГК в цілому і ГК, зв'язаних з кальцієм. Акумуляція гумусу, яка відмічається в орному шарі досліджуваного ґрунту відмічається змінами його якісного складу, що виражається у зменшенні частки агресивних ФК [17, 20, 27, 29].

3.4. Вплив агрохімічних властивостей дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами, на ріст і розвиток рослин

Зміна агрохімічних властивостей ґрунту, дія ВМ, погодні умови вегетаційного періоду суттєво відобразилися на розвитку культур, що виявляється на ранніх стадіях. На вапнованому ґрунті в 3, 5 і 7 варіантах відмічається загибель рослин капусти і буряка. В картоплі на усіх варіантах відмічається формування рослин, проте на фоні NPK і гною відмічається низька висота рослин. На вапнованому ґрунті внесення вапна і поєднання його з гноем обумовило збільшення розмірів качана в 2-3 рази, у картоплі, цибулі і буряка відмічаються також кращі показники висоти рослин – лише на 10-12% нижчі, ніж у варіантах без ВМ. Дія NPK (3 варіант) на рослини капусти була рівноцінною подвійній дозі, а в картоплі відмічається збільшення висоти рослин у 3-4 рази, в цибулі висота пера збільшилася понад 3 рази. В цибулі на всіх варіантах дослідів відмічається нормальний розвиток рослин: висота рослин (8,1-8,4 см) і розмір листків (28-32 см), тобто токсичність ВМ не проявилася, різниці за варіантами практично не відмічалось [19].

Зміна фракційного складу гумусу дерново-підзолистого ґрунту, забрудненого важкими металами, при використанні різних агрохімічних заходів, 2023 р.

№	Варіант дослідю	С в ґрунті, %	С гумінових кислот, %				С фульвокислот, %					сума	ГК/ФК	Негідролізований залишок	Пг
			1	2	3	всього	1а	1	2	3	всього				
1	контроль	1,34	13,0	5,3	8,3	26,7	5,5	11,5	5,1	6,0	28,2	55,0	0,94	44,8	0,57
2	НРК	1,36	13,1	6,0	10,2	29,4	6,11	8,88	7,5	5,7	28,3	57,8	1,03	42,0	0,63
3	НРК+ВМ	1,37	12,7	6,3	10,0	29,2	6,28	8,60	8,0	5,5	28,4	57,7	1,02	42,1	0,66
4	НРК+ВМ+вапно	1,36	10,6	7,6	13,3	31,7	5,50	10,90	9,4	3,8	29,6	61,4	1,06	38,4	0,60
5	НРК+ВМ+гній	1,41	10,3	6,8	11,8	29,1	5,57	8,00	8,4	5,8	28,0	57,1	1,04	42,7	0,71
6	НРК+ВМ+гній+вапно	1,44	10,7	7,7	13,4	32,0	5,44	10,7	9,7	3,6	29,6	61,7	1,07	38,1	0,55
7	2 НРК+ВМ	1,35	12,3	6,1	10,2	28,8	6,30	9,68	7,1	5,3	28,5	57,4	1,01	42,4	0,69
	НІР ₀₅	0,05	0,6	0,7	0,5	1,2	0,21	0,5	0,5	0,7	1,3	1,87	0,03	0,8	0,11

3.5. Особливості формування продуктивності овочевих культур на ґрунтах, забруднених важкими металами

Аналіз даних врожаю показує, що у варіантах без вапна рослини буряка і капусти гинули, а картоплі і цибулі давали низькі врожаї. Зниження рівня кислотності ґрунту обумовило послаблення токсичності ВМ і отримання значного врожаю овочевих культур, найбільш ефективним було поєднання вапна і гною [1-3].

Узагальнення даних (таблиця 3.5) показує, що на невапнованому ґрунті при внесенні гною врожай цибулі в 6 разів нижчий, у порівнянні з контролем. Врожай буряка було отримано лише при внесенні вапна і у поєднанні його з гноєм. Врожай бульб картоплі отриманий на усіх варіантах дослідів, що характеризує цю культуру, як стійку до впливу ВМ: на фоні NPK він склав в середньому 397 г/сотку. У порівнянні з цим варіантом застосування «вапно+гній» забезпечило підвищення врожаю в 1,5 разів. На фоні дії NPK, 2NPK і гною врожай у порівнянні з 2 варіантом знизився в 7,7, 11,4 і 10,5 разів.

На вапнованому ґрунті врожай цибулі в 4 варіанті і 6 варіанті у порівнянні з 2 варіантом в середньому за 2 роки підвищився в 7,3 рази, на фоні NPK і 2NPK знизився на 29% і 17% відповідно. Найбільш ефективним у формуванні продуктивності картоплі було повторне вапнування (4 варіант) – 500 г/сотку і при поєднанні вапна з гноєм – 556 г/сотку. При внесенні NPK і 2NPK і лише гною урожайність бульб знизився від максимальної відповідно на 54, 30 і 52%. Кращим варіантом при формуванні врожаю буряка був також 6 варіант – 484 г/сотку, прибавка у порівнянні з NPK була достовірною і склала 78,0 г/сотку. На фоні вапна і 2NPK урожай буряка нижче на 23% і 30% відповідно. При вирощуванні капусти відмічена перевага повторного вапнування (4 варіант), хоча й різниця по врожаю з найкращим 6 варіантом не достовірна. При використанні NPK, 2NPK і гною урожайність капусти у порівнянні знизилася відповідно в 2,7, 1,7 і 2,5 разів. Проведення повторного вапнування (4 варіант) у порівнянні з контролем забезпечило підвищення врожаю цибулі в 2,3, картоплі в 1,8, буряка в 1,6 і капусти в 1,3 рази, а сумісне внесення вапна і гною в 2,8, 2,0, 1,9 і 1,2 рази відповідно.

**Вплив агрохімічних заходів детоксикації ґрунтів, забруднених важкими металами, на продуктивність
овочевих культур (в середньому за 2022-2023 рр.)**

Варіант	Цибуля				Картопля				Буряк				Капуста			
	на вапнованому фоні		без вапна		на вапнованому фоні		без вапна		на вапнованому фоні		без вапна		на вапнованому фоні		без вапна	
	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га	г/сот	ц/га
контроль	171	132	117	90	270	207	241	185	255	196	54	41	935	719	201	154
НРК	387	297	52	40	501	385	397	305	406	312	-	-	1258	967	14	11
НРК+ВМ	275	211	24	18	254	195	51	38	244	188	-	-	470	362	24	18
НРК+ВМ+вапно	392	301	254	195	500	385	357	275	371	282	192	148	1162	893	794	610
НРК+ВМ+гній	319	245	19	15	269	207	37	28	236	205	-	-	512	393	17	13
НРК+ВМ+гній+вапно	486	373	411	316	556	428	557	428	484	372	386	296	1112	855	921	695
2 НРК+ВМ	324	249	34	26	389	298	34	26	343	264	-	-	692	532	41	31
НІР ₀₅	32,0		19,2		72,1		48,5		52,4				94,1		16,8	

Порівняння врожайних даних показує, що збільшення рН з 4,0 до 6,5-6,7 обумовило зниження токсичності ВМ: на фоні NPK у цибулі, картоплі і капусти відповідно в 11,0, 5,0 і 16,7 разів; 2NPK – в 9,3, 11,1 і 16,5 разів; вапна в цибулі, картоплі, буряка і капусти в 1,5, 1,4, 1,9 і 1,5 разів відповідно.

3.6. Вплив агрохімічних заходів на вміст і накопичення важких металів в рослинах при забрудненні ґрунту Zn, Pb, Cu і Z

Дані показують, що на вапнованому фоні забруднення ґрунту не відобразилося на вміст крохмалю в картоплі, у варіантах з внесенням вапна і гною встановлена достовірна прибавка, проте суттєво вплинула на вміст нітратів в продукції. Виявлено, що внесення гною і вапна, є високоефективним заходом зниження надходження в рослини важких металів (таблиці 3.6, 3.7 та 3.8).

Певні якості цибулі показали, що на вапнованому ґрунті ц порівнянні з контролем вміст Pb на фоні NPK, вапна, гною і 2NPK є вищим відповідно в 3,6, 1,7, 4,8 і 8,7 разів; Zn в 2,2, 1,3, 2,9 і 2,3 рази; по Cd в 2,6, 1,8, 5,0 і 6,2 рази; по Cu 6,8, 1,6, 10,1 і 10,7 разів відповідно, у варіантах з NPK і гноєм вміст ВМ перевищує ГДК. На фоні вапна в поєднанні з гноєм вміст ВМ практично не відрізняється від контролю і має кращі показники за вмістом Pb і Zn (таблиця 3.7). на вапнованому ґрунті всі заходи були високоефективними і забезпечили, за виключенням кадмію, отримання чистої продукції.

На вапнованому ґрунті відмічається загибель рослин буряка, лише застосування вапна (4 варіант) і поєднання його з гноєм забезпечує отримання продукції. На вапнованих повторностях дослідів виявлена особливість буряка до більшого, у порівнянні з іншими культурами накопичення Zn, проте у порівнянні з 3 варіантом внесення окремо вапна і в поєднанні з гноєм сприяли зниженню концентрації Zn в корінні в 1,5 разів (таблиця 3.8).

Таблиця 3.8

Вплив рівня забруднення ґрунтів на формування якості буряка (в середньому 2022-2023 рр.)

Варіант	Повторність	Вміст									
		суха речовина, %	нітратів, мг/кг*	Важкі метали, мг/кг							
				кадмію		міді		свинцю		цинку	
				корені	листя	корені	листя	корені	листя	корені	листя
1. контроль	В	18,6	55	0,05	0,25	1,58	1,89	0,11	0,65	8,30	11,7
	Б/В	3,1	13	0,06	0,29	1,63	1,33	0,12	1,70	9,71	18,0
2. NPK +фон	В	19,0	65	0,07	0,29	1,59	1,69	0,13	1,02	7,17	13,8
	Б/В	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
3. фон + ВМ	В	18,6	171	0,11	0,59	6,2	6,73	0,27	1,22	14,76	15,4
	Б/В	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4. фон + ВМ +вапно	В	17,8	74	0,07	0,54	2,71	2,24	0,16	0,67	10,43	10,6
	Б/В	3,0	12	0,11	0,58	1,76	13,90	0,20	1,65	11,62	16,3
5. фон + ВМ +гній	В	18,0	143	0,20	0,68	5,37	13,0	0,24	1,57	18,51	11,5
	Б/В	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6. фон + ВМ +гній +вапно	В	18,4	82	0,07	0,49	2,60	2,61	0,14	0,77	12,0	8,62
	Б/В	19,7	30	0,11	0,53	2,91	14,54	0,20	1,43	13,73	17,6
7. N2P2K2 +ВМ	В	17,0	284	0,13	0,52	4,71	9,52	0,30	1,29	12,24	10,71
	Б/В	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
НІР ₀₅		1,3	2,0	0,03	0,05	0,2	0,3	0,05	0,06	0,4	1,1

*ГДК на нітрати: в буряку - 1400

Порівняння результатів щодо вмісту важких металів в продукції цибулі і капусти показало, що їх величини на вапнованому фоні відповідно в 2-8 та 1,9-4 рази є нижчими, ніж на невапнованому. Окрім Cd, по жодному із елементів не виявлено перевищення ГДК.

Аналіз бульб картоплі показав, що відмічається достовірне збільшення накопичення ВМ в 3-му і 5-му варіантах на невапнованому ґрунті, при внесенні «вапно + гній», вміст ВМ знижувався на 30-23%. На вапнованому ґрунті вміст ВМ в бульбах, в залежності від варіанту знижується в середньому в 1,5 – 3 рази, найкращі показники на 4 варіанті (таблиця 3.6).

За ступенем накопичення ВМ в основній продукції об'єкти дослідження в нашому досліді можна розташувати в наступному ряду: буряк < капуста < цибуля < картопля.

Найбільш ефективними заходами щодо зниження накопичення ВМ в рослинах є сумісне застосування NPK + ВМ + вапно і NPK + ВМ + вапно + гній. Тому на ґрунтах, забруднених ВМ, необхідно більш інтенсивно використовувати агрохімічні засоби по кратності і дозі внесення, з врахуванням рівня вмісту токсикантів [4].

ВИСНОВКИ

1. При сильному ступені забруднення ґрунтів ВМ в якості детоксикаційних заходів необхідно проводити періодичне вапнування, позитивна дія якого посилюється внесенням органічних добрив, що сприяє зниженню рухомості ВМ в 1,5 – 4 рази.

2. При зниженні кислотності ґрунтового середовища до рівня рН 6,4 – 6,7 внесення вапна окремо і в поєднанні з гноєм знижують фітотоксичність важких металів, що обумовлює отримання врожаю овочевих культур вищу, ніж на незабрудненому ґрунті на контролі і на фоні НРК, прибавка становить: в цибулі 314 і 99 г/посудину, а в картоплі 285 і 55, в буряка 228 і 77 г/посудину відповідно.

3. Вапнування ґрунту сприяє закріпленню ВМ в орному шарі ґрунту, що перешкоджає надходженню їх в рослини і міграції в нижче лежачі горизонти: у всіх варіантах по всіх елементах, за виключенням кадмію, отримана екологічно безпечна продукція. Перевищення ГДК по кадмію спостерігається по всіх культурах, без вапна воно склало 5-15 разів, на фоні вапна 2-7 разів. Перевищення ГДК по цинку було відмічено в цибулі і буряка в 1,2 – 1,8 разів.

4. Застосування підвищеної дози мінеральних добрив в умовах кислого ґрунтового середовища посилює пригнічення рослин від ВМ. При зниженні кислотності до рівня рН 6,4 – 6,7 подвійна доза НРК має суттєвий детоксикуючий вплив, сприяє зниженню накопичення ВМ в залежності від культури в 1,5 – 4 рази.

5. Найбільше накопичення ВМ відмічається в буряку, меншою мірою в цибулі і капусті. Найбільш стійкою культурою до накопичення ВМ є картопля. Максимальний виніс ВМ відбувається з побічною продукцією. За величиною накопичення в рослинах найбільш активним забруднювачем є кадмій, меншою мірою накопичується свинець.

6. Застосування агрохімічних заходів на дерново-підзолистому ґрунті, забрудненого ВМ, має суттєвий вплив на склад і властивості органічної речовини. При цьому відбувається зміна фракційного складу гумусу зі зростанням співвідношення ГК:ФК від 0,94 до 1,07, найкращим якісним складом характеризується гумус варіантів, де вносили гній на фоні вапна.

7. Органічні, мінеральні і вапнякові добрива та їх поєднання на дерново-підзолистому ґрунті, забрудненого ВМ, не лише безпосередньо інактивують ці метали, а й мають опосередковану протекторну дію на активність ферментів в ґрунті.

8. Виявлення чутливості ґрунтових факторів за ступенем пригнічення їх активності в дерново-підзолистому, забрудненому ВМ, дозволило розташувати їх в такий ряд: уреаза > інвертаза > фосфатаза.

9. При забрудненні ґрунту ВМ агрохімічні заходи за ступенем протекторних властивостей відносно до активності ферментів уреази і інвертази можна розташувати в наступний ряд: гній + вапно + NPK > вапно + NPK > гній + NPK > 2 NPK. На фоні «гній + вапно + NPK» для картоплі, буряка, цибулі і капусти збільшення активності уреази відмічалось відповідно в 2,0, 2,1, 1,9 і 2,6 рази у порівнянні з контролем, активності інвертази в 1,6 – 1,5 рази. Відносно до активності ферментів фосфатази (під усіма культурами) можна розташувати в наступному ряду: 2 NPK + > гній + вапно + NPK > вапно + NPK > гній + NPK, що пов'язано з високою позитивною кореляцією ферменту і вмістом фосфору в ґрунті ($r = 0,85 - 0,91$).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агроєкологія: навчальний посібник / Фесенко А. М., Солошенко О. В., Гаврилович Н. Ю. та ін. Харків: ХНТУСГ, 2013. 291 с.
2. Балюк С. А., Ладних В. Я., Фадєє А. І., Захарова М. А., Мошник Л. І. Рекомендації щодо запобігання забрудненню важкими металами ґрунтів та рослинної продукції в умовах зрошуваного землеробства. Аграрна наука-виробництво. К., 2000. С. 5.
3. Бондарєва О. Б., Коноваленко Л. І., Мілігула О. М. Міграція та накопичення свинцю і кадмію у ґрунті і рослинах під впливом добрив. К.: Агроєкологічний журнал. 2012. № 3. С. 20–23.
4. Гордній М. Н., Шичула М. А., Гудов І. М. Агроєкологія: навчальний посібник для студентів аграрних вузів. К.: Вища школа, 1993. 416 с.
5. Дєгодюк Е. Г., Мамонтов В. Т., Гамалєй В. І. Екологічні основи використання добрив К.: Урожай, 1988. 232 с.
6. Дєгодюк Е. Г., Сайко Ф., Корнійчук М. С. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. К.: Урожай, 1992. 320 с.
7. Дж. Гофман, О. Ван Клімпут, М. Сьоме, Городній М. М. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення. К.: Арістей, 2004. 487 с.
8. Дубініна А. А., Малюк Л. П., Салютіна Г. А., Шапорова Т. М., Кононенко Л. В. Товарознавчі аспекти підвищення безпеки харчових продуктів: монографія. К.: Професіонал, 2005. 176 с.
9. Єгорова Т. М. Еколого-геохімічні процеси міграції цинку в агроландшафтах України. К.: Агроєкологічний журнал. 2014. № 3. С. 14–22.
10. Жєребна Л. О. Вплив важких металів, що містяться в мінеральних добривах, на якість рослинницької продукції. Харків: Агрохімія і ґрунтознавство. 2001. Вип. 61. С. 193–197.
11. Кавецький В. М. Екотоксикологічне обґрунтування застосування засобів хімізації. Агроєкологічний журнал. 2002. №. 2. С. 24–30.

12. Кіщак Т. С., Багацька О. М., Юрченко Т. В. Накопичення важких металів у дерново-підзолистому ґрунті при тривалому застосуванні добрив в умовах Полісся України. Науковий вісник. К. 2006. Вип. 104. С. 272–274.
13. Кузьменко Є. І., Кузьменко А. С. Оцінка фітотоксичності важких металів в умовах моно- і полі елементного забруднення ґрунту. К.: Агроекологічний журнал. 2013. № 1. С. 33–35.
14. Мислива Т. М. Цинк в ґрунтах Житомирського Полісся. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Науковотеоретичний збірник. 2011. № 1 (28). Том 1. С. 123–136.
15. Назаренко І. І., Польшина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство. Чернівці: Книги 21 століття, 2004. 400 с.
16. Паламарчук В. Д., Поліщук І. С., Венедіктов О. М. Системи сучасних інтенсивних технологій у рослинництві. Вінниця: ФОП Данилюк В. Г., 2011. С. 19–20.
17. Таргоня В. Екологізація землеробства: концепція розвитку. Новини агротехніки. 2007. № 4. С. 40–41.
18. Laboudique J. V. Heavy metal contamination in soils, in agriculture and the quality of our environment. Am. Assoc. Adv. Sci. Publ, 85, 2005, p. 343.
19. Byars L. L. Strategy in a changing environment. Chicago: IRWIN, 2005. 366 p.
20. Gooodie A. The human impact on the natural environment. Cambridge: MIT PRESS, 2007. 454 p.
21. Teodorescu T. I., Labrecque M., Daigle S., Poisson G. Wastewater sludge fertilization biomass productivity and heavy metal bioaccumulation in two Salix species grown in southern Quebec (Canada). Proceeding of the First biomass conference of the Americas Burlington 30 august au 2 sept. 2006. P. 1645–1650.
22. Labrecque M., Teodorescu T. I., Daigle S. Effect of wastewater sludge on growth and heavy metal bioaccumulation in two Salix species. Plant and Soil. 2004. № 171. P. 303–306.

23. Erikson J. E. Factors influencing adsorption and plant uptake of cadmium from agricultural soils. Uppsala: Swedish University of Agricultural Science, 2007. 104 p. (Reports and Dissertation. 4.).
24. Jonsson J. O., Erikson J. E. The effect of fertilization for higher cadmium content on Cd level in wheat grain. 7-th ICOBTE. Uppsala, 2003. V. 3. P. 242–243.
25. Greger M., Landberg T., Bengtsson L. Cadmium uptake in wheat – influence of nitrogen supplementation. Rep. From Cadmium Seminar «Cadmium from Plough to Plate», 12 June 2002 in Uppsala, Sweden. Uppsala, 2005. P. 17.
26. Interactions between toxic and essential trace metals in cattle from a region with low levels of pollution. M. L. Alonso, J.L. Benedito, M. Miranda [et al.]. Arch environ contam toxicol. 2002. Nov. 42 (2). P. 165–172.
27. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): Ubiquity, Persistence, and Risks. Vladimir Turusov, Valery Rakitsky and Lorenzo Tomatis. Environmental Health Perspectives. Vol. 110, № 2, Feb., 2002. P. 125–128.
28. Reductive dechlorination of HCH isomers in soil under anaerobic conditions. P. J. Middeldorp, W. Doesburg, G. Schraa [and oth.]. Biodegradation. 2005. № 16. P. 283–290.
29. Perugini M. Heavy Metal (Hg, Cr, Cd, and Pb) Contamination in Urban Areas and Wildlife Reserves: Honeybees as Bioindicators [Электронный ресурс]. M. Perugini, M. Manera, L. Grotta et al. Biol Trace Elem Res. 2010. Режим доступа: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20393811>.