

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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Смулка Олександр Адамович

УДК 550.4

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В
АГРОЛАНДШАФТАХ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

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

О.А. Смулка
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Никитюк Юрій Андрійович
доктор економічних наук, професор

Житомир - 2023

АННОТАЦІЯ

Смулка О. А. Еколого-агрохімічна оцінка вмісту важких металів в агроландшафтах Рівненської області – 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 35 сторінок, 13 таблиць. Список використаних джерел налічує 32 позиції.

Об'єктом дослідження є динаміка вмісту важких металів в агроландшафтах Рівненської області.

Мета дослідження полягала в розробці науково-обґрунтованих прийомів детоксикації забруднених ґрунтів, які забезпечують зниження накопичення ВМ у ґрунтах, сільськогосподарських рослинах та агроекологічна оцінка змін властивостей дерново-підзолистих ґрунтів у системі моніторингу.

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, детоксикація, агроландшафти, дерново-підзолистий ґрунт.

SUMMARY

Smulka O.A. Ecological and agrochemical assessment of the content of heavy metals in agricultural landscapes of Rivne region - Qualification work on the rights of the manuscript.

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

Content of the abstract: The qualification work contains 35 pages, 13 tables. The list of references includes 32 items.

The object of research is the dynamics of heavy metals content in agricultural landscapes of Rivne region.

The purpose of the study was to develop scientifically based methods of detoxification of contaminated soils that reduce the accumulation of HM in soils, agricultural plants, and agroecological assessment of changes in the properties of sod-podzolic soils in the monitoring system.

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

Keywords: heavy metals, detoxification, agricultural landscapes, sod-podzolic soil.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. ВАЖКІ МЕТАЛИ ТА МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО НИХ (аналітичний огляд літератури)	8
1.1. Поняття про важкі метали	8
1.2. Класифікація рослин відносно накопичення важких металів	9
1.3. Токсичність важких металів для рослин	10
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. ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ	15
3.1. Вплив мінеральних, органічних та вапнякових добрив на зміну агрохімічних властивостей ґрунту, забруднених важкими металами	15
3.2. Особливості формування продуктивності овочевих культур на ґрунтах, забруднених важкими металами	21
3.3. Вплив вапна, мінеральних добрив і гною на акумулювання важких металів рослинами	25
3.4. Вивчення динаміки агрохімічних властивостей ґрунту в системі агроекологічного моніторингу	27
ВИСНОВКИ	30
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ	32
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ	33

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Екологічні проблеми сучасного землеробства актуальні як для України в цілому, так і для Житомирської області. У Житомирській області, у зв'язку з наявністю тваринницьких і промислових підприємств, може мати місце підвищений вміст у ґрунтах важких металів (ВМ), унаслідок чого зникає їхня родючість і придатність для використання з сільськогосподарською метою. Шкода, яка завдається забрудненням, здебільшого буде залежати від властивостей ґрунтів, і головним чином від тих із них, які впливають на рухомість ВМ і, як наслідок, на міграцію їх ґрунтовим профілем і на накопичення в рослинах. Виходячи з цього, очевидною є актуальність розроблення науково-обґрунтованих прийомів детоксикації ВМ за різних рівнів забруднення ними ґрунтів для одержання рослинницької продукції, яка відповідає санітарно-гігієнічним вимогам [1].

До факторів, що забруднюють навколишнє середовище, окрім транспорту та викидів промислових підприємств, відносять також хімізацію. У зв'язку з цим важливо встановити ступінь антропогенного навантаження в умовах тривалого застосування добрив, що можливо лише в системі моніторингу природного середовища [15, 19, 27].

Об'єкт дослідження – динаміка вмісту важких металів в агроландшафтах Рівненської області.

Предмет дослідження – важкі метали, агроландшафти.

Мета і завдання досліджень. *Мета* досліджень полягала в розробці науково-обґрунтованих прийомів детоксикації забруднених ґрунтів, які забезпечують зниження накопичення ВМ у ґрунтах, сільськогосподарських рослинах та агроекологічна оцінка змін властивостей дерново-підзолистих ґрунтів у системі моніторингу. До завдань досліджень входило:

1. Провести еколого-агрохімічну та санітарно-гігієнічну оцінки стану агроценозів орних ґрунтів Житомирської області;
2. Вивчити в динаміці вплив агрохімічних показників на розподіл ВМ по ґрунтовому профілю;

3. Вивчити вплив агрохімічних властивостей ґрунту, застосування гною, вапняних і мінеральних добрив на трансформацію важких металів у дерново-підзолистому ґрунті;

4. Вивчити вплив забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu та Pb на врожай та якість картоплі, цибулі, буряка та капусти;

5. Дослідити вплив гною, вапна та мінеральних добрив на рухливість важких металів та їхню міграцію;

Наукова новизна. Для дерново-підзолистих ґрунтів Житомирської області встановлено кількісні параметри вмісту ВМ в умовах різного антропогенного навантаження та складено картограми вмісту ВМ у ґрунтах, здійснено агроекологічний моніторинг орних земель. При цьому розглядаються питання якості рослинницької продукції.

Показано, що істотного зниження рухомості металів у ґрунті та їх надходження в рослини можна досягнути за періодичного вапнування та за використання вапна у поєднанні з гноєм. Встановлено вплив ВМ на якісні показники продукції. Вивчено міграцію ВМ за профілем залежно від агрохімічних властивостей ґрунту. Встановлено ряд активності поглинання ВМ на забруднених ґрунтах.

Практичне значення роботи. Розроблено заходи щодо детоксикації забруднених ґрунтів і визначено рівні реакції середовища, що забезпечують зниження рухомості ВМ та одержання рослинницької продукції, яка відповідає санітарно-гігієнічним нормам. Встановлено високу стійкість картоплі до забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu та Pb, що дає змогу обґрунтовувати можливість її обробітку в умовах високого вмісту ВМ у ґрунті. Вивчення міграційних процесів сполук Cd, Zn, Cu та Pb дає змогу прогнозувати надходження даних елементів із ґрунту до суміжних середовищ, зокрема у воду.

У системі моніторингу виявлено агроекологічну ситуацію, на основі якої може бути складено науково-обґрунтований прогноз зміни агрохімічних властивостей ґрунтів.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, аналітичного огляду літератури, програми, методики та умов проведення

дослідження, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаної літератури (32 позиції). Робота містить 13 таблиць.

РОЗДІЛ 1

ВАЖКІ МЕТАЛИ ТА МЕХАНІЗМИ АДАПТАЦІЇ РОСЛИН ДО НИХ (аналітичний огляд літератури)

1.1. Поняття про важкі метали

До важких металів (ВМ) відносять групу металів з атомною масою понад 40 (50) або густиною понад 8 г см^{-3} . При потраплянні у високих концентраціях у трофічні ланцюги важкі метали є токсичними елементами і становлять небезпеку для людини і тварин [1. 7, 8].

Деякі ВМ, будучи токсичними у високих концентраціях, у мікродозах мають позитивну дію на рослини і є необхідними біологічно активними елементами. Так, залізо (Fe^{2+}) є структурно утворювальним металом у цитохромах, каталазі та Fe-S білках (наприклад феридоксині). Мідь (Cu^{2+}) є складовим компонентом білків електрон-транспортних під час фотосинтезу (пластоціанін) і дихання. Марганець (Mn^{2+}) відіграє важливу роль у фотосинтезі (виділення кисню). Цинк (Zn^{2+}) входить до складу багатьох біокаталізаторів, білків та ферментів. Нікель (Ni^{2+}) міститься в уреазі і невелика кількість нікелю необхідна для деяких видів рослин. Роль деяких важких металів у метаболізмі рослин ще не встановлена [2. 3, 7, 9, 11].

Основними джерелами забруднення ґрунту важкими металами є підприємства важкої промисловості та кольорової металургії, проте важкі метали можуть надходити з опадами, стічними водами, мінеральними добривами, мулами, побутовим сміттям, при видобутку та розливах нафти [29, 30, 32].

Основними забруднювачами навколишнього середовища є кадмій, свинець і цинк. Метали в ґрунті за їхньою рухливістю та біодоступністю були згруповані в такий ряд: $\text{Zn} > \text{Cd} > \text{Cu} > \text{Ni}$ на підставі їхньої розчинності та геохімічних форм [22, 23, 25, 27].

ВМ за техногенного забруднення накопичуються у верхньому шарі ґрунту 0-10 см, де вони пов'язані з органічною речовиною, рухомі форми ВМ можуть вимиватися в нижні горизонти до 80 см [31].

Найсуттєвішими проявами впливу ВМ на рослини є інактивація ферментів фотосинтезу, порушення транспорту асимілянтів і мінерального живлення, зміна водного та гормонального статусів організму, інгібування росту та продуктивності рослин [15, 16, 32].

1.2. Класифікація рослин відносно накопичення важких металів

Відносно до накопичення ВМ рослини поділяються на дві групи: вимикачі ВМ, (у яких відзначено низьку концентрацію ВМ, незважаючи на високу концентрацію останніх у ґрунті) та акумулятори, що накопичують ВМ здебільшого в надземних органах [1, 11, 19].

Рослини-вимикачі мають захисні механізми, що перешкоджають надходженню в кореневу систему і надземні органи іонів ВМ. Виділяють два види стійкості: основна стійкість, притаманна для більшості рослин, і гіперстійкість до певних металів. Гіперстійкість і гіперакумуляцію ВМ виявлено в чотирьох видів рослин: *Thlaspi caerulescens* (Талабан лісовий), *Thlaspi praecox* (Талабан ранній), *Arabidopsis halleri*, родина *Brassicaceae* (Капустяні), *Sedum alfredii* (Очиток), родина *Crassulaceae* (Товстолисті) Зазначені рослини здатні накопичувати в 100-1000 разів більшу кількість ВМ у тканинах, порівняно зі звичайними рослинам [29, 30].

За основної стійкості рослин щодо ВМ, метали зв'язуються в хелатні комплекси і закріплюються у вакуолі. При цьому основна частина хелатованих ВМ залишається в корені, і лише незначна кількість надходить у наземні органи. За гіперстійкості більша частина ВМ, завдяки посиленому транспорту, надходить до ксилеми і потім до надземних органів, в яких відбувається зв'язування ВМ. Гіперстійкість може обумовлюватися механізмами виключення ВМ [3, 8, 27, 31].

Дія ВМ на динаміку росту і розвитку рослин безпосередньо залежить від особливостей тканинного і внутрішньоклітинного розподілу ВМ у зоні росту кореня, а також від ефективності механізмів детоксикації, що по-різному можуть реалізуватися в тканинах рослин-вимикачах і акумуляторах. ВМ, що надходять у рослини через кореневу систему, транспортуються до різних тканин рослин, де відбувається їхня іммобілізація в хімічній формі, яка є реакційно неактивною для захисту метаболічно активних клітин рослини [4, 29].

1.3. Токсичність важких металів для рослин

Незважаючи на те, що різні ВМ діють на рослини індивідуально, загалом для всієї групи ВМ притаманна спільна модель неспецифічної токсичності. Комплекс неспецифічних реакцій рослинної клітини на різні зовнішні впливи (паранекроз) виражається збільшенням в'язкості цитоплазми, підвищенням кислотності, денатурацією білків тощо [12, 13, 18, 21].

Для неспецифічної токсичності ВМ характерні такі особливості щодо впливу на ріст рослин: (1) невисокий діапазон концентрацій ВМ, за яких ріст рослин пригнічується, (2) ступінь пригнічення росту мало змінюється з часом (за винятком Ni^{2+}), (3) розгалуження кореня не пригнічується попри сильне пригнічення росту первинного кореня (за винятком Ni^{2+}), (3) розгалуження кореня не пригнічується, незважаючи на сильне пригнічення росту первинного кореня (за винятком Ni^{2+}) [17].

Cd^{2+} , Pb^{2+} , Zn^{2+} зв'язуються головним чином із SH-групами та накопичуються в апопласті, а Ni зв'язується з N-вмісними лігандами і накопичується переважно в протопласті [14-17, 30].

Токсичність ВМ залежить також від реакцій з іншими функціональними групами, від рухливості іонів та інших їхніх властивостей. Тому відносна токсичність окремих металів для різних видів рослин або інших організмів різниться. Токсичність іонів ВМ для рослин пов'язують зі збільшенням електропровідності, а також зі спорідненістю металів до SH груп.

Нині відомо понад 100 ферментів, активність яких може блокуватися при зв'язуванні SH груп [9, 16, 20].

ВМ впливають на фотосинтез рослин, зменшують вміст хлорофілу в рослинах, причому більш чутливим до присутності іонів ВМ виявляється хлорофіл b. Окрім пригнічення синтезу хлорофілу Cd^{2+} порушує транспорт електронів, що пов'язаний із функціонуванням ФСР. Ймовірно, це може бути пов'язано зі змінами мембран тилакоїдів, зниженням феридоксин-НАДФ⁺ оксидоредуктазної активності та порушенням синтезу пластохінону [32].

ВМ спричиняють появу мітотичних порушень у рослині, що може призводити до збільшення відсотка метафаз, ВМ також спричиняють порушення в проходженні

мітозу і хромосомні аберації. ВМ зменшують швидкість розтягування клітин [2, 4, 8, 11].

ВМ знижують вміст води в рослинах і зменшують транспірацію (Barcelo, 1990). Механізми дії ТМ на водний обмін рослин різні та проявляються у: (1) зменшенні розмірів листків, (2) зменшенні розмірів продихових клітин, (3) зменшенні вмісту тургоргенів та зниженні пластичності клітинних оболонок, (4) збільшенні вмісту АБК, що індукує закривання продихів, (5) порушенні дихання та окисного фосфорилування, що також можуть порушити водний обмін рослин [29].

Питанню накопичення та інактивації ВМ рослинами присвячено низку оглядів літератури.

Відомо, що ВМ надходять у рослини переважно з ґрунту через кореневу систему, проте можливе їхнє надходження через листя рослин. Анатомічні особливості листя впливають на швидкість надходження ВМ. Чим більше опушені листки рослин, тим інтенсивніше вони поглинають ВМ з атмосфери [19, 32].

Швидкість поглинання іонів ВМ рослинами залежить від рН ґрунтового розчину, наявності інших іонів у ґрунті, а також від вмісту органічної речовини в ґрунті. Катіони Ca^{2+} , Mg^{2+} є антагоністами ВМ, тому ефективним агроеліоративним прийомом є вапнування ґрунтів. Так, за вапнування оксидом магнію, як і карбонатом кальцію, надходження Cd^{2+} і Ni^{2+} у рослини ячменю знижувалося. Збагачення ґрунту органічною речовиною (внесення торфів, сапропелю, гуматів) є також ефективним агроеліоративним прийомом, спрямованим на зниження фітотоксичності ВМ, який перешкоджає надходженню ВМ до рослин ячменю [25].

Для рослин виявлено дві стратегії надходження металів: АТФ-залежна стратегія (для рослин класу *Dicotyledones* (Дводольні)), і АТФ-незалежна стратегія (виявлена для родини *Gramineae* (Злаки), клас *Monocotyledones* (Однодольні)). Перша стратегія пов'язана зі збільшенням АТФ-активності плазмової мембрани за умов дефіциту заліза та зниженням рН апопласта, що призводить до відновлення окислених форм металів і засвоєння їх рослиною. Друга стратегія, характерна для рослин родини *Gramineae*, пов'язана з виділенням корінням рослин похідних муреїнових кислот, які діють як зовнішні фітосідерофори, які мобілізують нерозчинні іони Fe^{3+} з ґрунту,

утворюючи хелати, які можуть утилізуватися корінням. Фітосидерофори здатні утворювати стійкі комплекси не тільки з Fe^{3+} , а й із Zn^{2+} , Mn^{2+} і Cu^{2+} . Оскільки за дефіциту іонів цинку в живильному середовищі синтез сидерофорів рослинами збільшується, було запропоновано гіпотезу про універсальну роль фітосидерофорів у зв'язуванні та утилізації іонів ВМ злаковими рослинами з ґрунту [2, 26, 30].

За одночасного впливу іонів різних металів Cd^{2+} і Pb^{2+} на рослини спостерігався синергізм.

При вивченні фітотоксичності іонів різних металів на рослини було складено ряд фітотоксичності елементів $\text{Cd}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cr}^{2+} > \text{Pb}^{2+}$. Встановлено, що токсичність іонів одного металу менша, ніж у поєднанні з іншими іонами ВМ. Так концентрація іонів Cd^{2+} , що призводить до втрати 20% сухої речовини салату-латуку становила 47 мг кг^{-1} сухої маси, у поєднанні з іншими іонами - 30 мг кг^{-1} , ці самі величини для шпинату становили - 15 мг кг^{-1} і 10 мг кг^{-1} відповідно [1-4, 16, 21].

Однак, описано також антагонізм за спільного впливу іонів Pb^{2+} і Cd^{2+} вміст Pb^{2+} у коренях проростків бука був нижчим, ніж за дії лише іонів Pb^{2+} .

При описі спільного поглинання Cd^{2+} і Fe^{2+} рослинами кукурудзи було запропоновано теорію «потенційної петлі». Кадмієвий стрес індукує симптом дефіциту заліза у рослин. Іони кадмію Cd^{2+} зв'язуються в хелатні комплекси дезоксимуреїною кислотою, і при цьому зменшується поглинання Fe^{2+} рослиною. Що в свою чергу, викликає збільшення секреції фітосидерофорів, як за звичайних умов, так і за умов дефіциту заліза. При цьому в рослину починає надходити Fe^{2+} , а надходження Cd^{2+} в рослину обмежується [13, 22, 28, 31].

Отже, ВМ, такі як кадмій, свинець і цинк є основними забруднювачами ґрунту. Токсичність ВМ для рослин виражається в порушенні транспорту асимілятів і мінерального живлення, зміні водного та гормонального статусів, інгібуванні фотосинтезу та росту рослин.

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма дослідження

Програма дослідження передбачала виконання таких завдань:

1. Аналітичний огляд літератури за темою дослідження.
2. Вибір методів дослідження.
3. Проведення експериментальних досліджень.
4. Провести еколого-агрохімічну та санітарно-гігієнічну оцінки стану агроценозів орних ґрунтів Житомирської області.
5. Вивчити в динаміці вплив агрохімічних показників на розподіл ВМ по ґрунтовому профілю;
6. Вивчити вплив агрохімічних властивостей ґрунту, застосування гною, вапняних і мінеральних добрив на трансформацію важких металів у дерново-підзолистому ґрунті;
7. Вивчити вплив забруднення ґрунту Cd, Zn, Cu та Pb на урожай та якість картоплі, цибулі, буряка та капусти;
8. Дослідити вплив гною, вапна та мінеральних добрив на рухливість важких металів та їхню міграцію;

2.2. Методика дослідження

Мікропольові дослідження з виявлення способів детоксикації ВМ у ґрунті закладено в посудинах без дна в 1994 р., згідно з методичними вказівками. Судини з вініпласту, заввишки 30 см і, площею 1296 см² (36 x 36 см), встановлені в ґрунт на глибину 25 см. Ґрунт дерново-підзолистий супіщаний (табл. 1).

Таблиця 1.1

Схема дослідження

1. Контроль (абсолютний)
2. НРК - фон
3. Фон + ВМ (Cd, Cu, Pb, Zn)
4. Фон + ВМ + вапно
5. Фон + ВМ + гній
6. Фон + ВМ + гній +
7. N ₂ P ₂ K ₂ + ВМ

Дози мінеральних добрив під буряки – $N_{120}P_{80}K_{80}$, під капусту та цибулю – $N_{120}P_{100}K_{120}$, під картоплю – $N_{90}P_{90}K_{120}$. При внесенні їх на варіанті 2NPK - доза подвоюється. Використовували аміачну селітру (34,6%), подвійний суперфосфат (43%), хлористий калій (59% д.р.) [1, 4, 6, 8, 10].

Застосовували перепрілий гній у дозі 60 т/га і доломітове борошно в дозі 10 т/га (подвійна доза по Нг). У 2021 р. на трьох повторностях кожного варіанту досліду було проведено вапнування в дозі по 2,0 г.к. (10,0 т/га), для порівняння дві повторності залишено в незмінному стані.

Важкі метали вносили у вигляді розчинів (1:10) водорозчинних чистих солей. З розрахунку на чистий метал мг/кг ґрунту: кадмій 5, цинк 300, мідь 150, свинець 100 [3].

Об'єктами досліджень обрано: капусту сорту «Динамік F1»; картоплю "Невська"; цибулю «Радар»; буряк столовий «Бордо». Чергування культур відповідає типовим сівозмінам

Таблиця 2.1

Агрохімічна характеристика дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Показники	Одиниці вимірювання	Вміст
Гумус	%	1,34
pH	-	4,0
P_2O_5	мг/кг	35,1
K_2O	мг/кг	125,4
Hг	мг-екв/100 г ґрунту	3,6
Са	- // -	1,3
Mg	- // -	0,43
<i>Вміст важких металів, мг/кг</i>		
	Валова форма	Нерухома форма
Cd	0,33	0,05
Ci	2,8	0,51
Pb	5,7	0,86
Zn	17,8	0,75

Реперних ділянок закладено на території - 37.

Відбір зразків, проведення хімічних та інструментальних аналізів у ґрунтах за основними агрохімічними параметрами проводили відповідно до ДСТУ. Відібрані

проби аналізували на вміст рухомих і валових форм важких металів відповідно до методичних вказівок.

За вмістом ВМ у рослинах розраховували коефіцієнти їх біологічного поглинання: $K_{ПБ} = l/p$, де

l – вміст елементу в золі рослин;

p - вміст елементу в ґрунті.

Для оцінки ступеня забруднення ґрунтів розраховували сумарний показник забруднення ґрунтів (Z_c) за формулою:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n-1), \text{ де}$$

K_{ci} – коефіцієнт концентрації металу, що дорівнює частці від ділення масової частки i -го елемента в забрудненому і фоновому ґрунтах;

n - число елементів, які визначаються.

Ґрунтово-екологічну оцінку родючості ґрунтів (ГЕО) проводили згідно з методикою Карманова І.І. з використанням емпіричної формули:

$$ГЕО = 12,5 * (2U) * \frac{\sum_t 0 > 10 * (КУ - P)}{кк + 100} * A$$

де U - щільність ґрунту;

2 - максимально можлива щільність за граничного ущільнення, $г/см^3$;

$\sum_t 0 > 10$ - середньорічна сума температур повітря з добовою $t > 10$;

$КУ$ - коефіцієнт зволоження;

$кк$ - коефіцієнт континентальності;

P - поправка до коефіцієнта.

Статистичне опрацювання даних здійснювали методом дисперсійного аналізу (Доспехов, 1985).

3. Умови проведення дослідження

Рівненська область розташована на північному заході України у межах Західно - Поліського регіону, охоплює східні частини Волинського Полісся, Волинської височини та малого Полісся і західну окраїну Центрального (Житомирського) Полісся. Площа її 21,1 тис. $км^2$. За даними ґрунтового обстеження 65% орних ґрунтів в області - дерново-підзолисті, 33% - сірі лісові та 2% - заплавні ґрунти. За механічним

складом важкі суглинки становлять 5,1%, середні - 30,2%, легкі суглинки, супіски та піски - 64,7%.

У роки проведення досліджень метеорологічні умови значно відрізнялися від середніх багаторічних. У 2021 р. формування вегетативної маси проходило за нестачі вологи. Температурний режим був дещо нижчим за середньо багаторічні величини; 2022 р. - був спекотним і сухим у другій половині червня. Період дозрівання овочевих культур і картоплі проходив за доброї забезпеченості вологою, але температура повітря була нижчою за середні багаторічні значення. Умови вегетаційного періоду 2023 р. були несприятливими: температура повітря на 2-4 С нижча за середньо багаторічну, сума опадів - вища за багаторічні величини, і за періодами вегетації розподілялася вкрай нерівномірно.

РОЗДІЛ 3

ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ РІВНЕНСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1. Вплив мінеральних, органічних та вапнякових добрив на зміну агрохімічних властивостей ґрунту, забруднених важкими металами

Результати досліджень показали, що агрохімічні показники ґрунту змінювалися відповідно до діючих чинників (табл. 3.1). Проведення у 2021 р. вапнування ґрунту [3, 9, 12, 21] зумовило зниження кислотності середовища: рН перебуває в інтервалі - 6,3-6,6. На невапнованих повторностях дослідів реакція середовища характеризується як кисла, і лише на фоні внесення вапна та сумісного внесення з гноєм - як слабокисла (5,1-5,4). Вміст P_2O_5 і K_2O збільшувався залежно від дози мінеральних добрив: на фоні 2NPK (7 варіант) - відповідно 130 і 195 мг/кг (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив мінеральних, органічних і вапняних добрив на зміну агрохімічних властивостей дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Варіанти дослідів	Г _{умус} ,%	рН				P ₂ O ₅	K ₂ O	Hг	Ca	Mg	S	
		2021	2022		2023		мг/кг		мг-екв/100 г ґрунту			
			в	б/в	в	б/в						
1. Контроль	1,34	4,0	6,6	4,2	6,5	4,1	40	107	3,49	2,05	0,70	2,85
2. NPK + фон	1,36	3,9	6,4	3,8	6,4	3,8	73	127	3,88	1,91	0,62	2,65
3. Фон+ВМ	1,37	3,9	6,4	3,7	6,5	3,7	84	163	4,21	1,90	0,50	2,54
4. Фон + ВМ + вапно	1,31	5,5	6,5	5,2	6,5	5,0	86	131	1,03	3,40	1,84	5,36
5. Фон + ВМ + гній	1,44	4,1	6,3	3,8	6,3	3,8	102	174	4,01	2,04	0,61	2,84
6. Фон + ВМ + гній + вапно	1,43	5,9	6,5	5,4	6,5	5,2	102	139	1,06	3,42	1,88	5,46
7. N ₂ P ₂ K ₂ + ВМ	1,35	3,9	6,3	4,1	6,3	4,1	130	195	4,30	1,90	0,58	2,60
Н _Р 0 ₅	0,2	0,15	0,2	0,15	0,2	0,15	24	26	0,5	0,3	0,2	0,3

Примітка: в – вапно, б/в – без вапна, ВМ – важкі метали

Один із напрямів наших досліджень полягає в тому, щоб простежити поведінку ВМ у ґрунті при застосуванні мінеральних добрив, вапна та гною. Для цього в ґрунті визначали кількість валових і рухомих форм важких металів (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Вплив вапняних, органічних і мінеральних добрив на вміст важких металів у дерново-підзолистому супіщаному ґрунті, мг/кг

Варіанти досліджу	Валові форми важких металів				Рухомі форми важких металів			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
1.Контроль	0,3	6	10	24	0,14	1,4	2,4	2,8
2.NPK-фон	0,2	5	8	22	0,1	0,8	1,4	1,8
3.Фон+ВМ	5,8	101	127	125	4,3	61	77	88
4.Фон+ ВМ+ вапно	11,3	124	138	265	7,2	50	77	71
5.Фон+ВМ + гній	6,7	105	133	140	5,2	62	77	93
6. Фон + ВМ+гній +вапно	11,3	123	138	266	7,3	51	74	77
7. N ₂ P ₂ K ₂ + ВМ	5,2	103	133	113	3,8	60	75	78
НІР₀₅	0,5	5,2	8,6	18,9	0,2	0,6	1,0	1,0

Характерною особливістю отриманих даних є те, що під впливом гною, вапна та підвищених доз NPK підвищується фіксувальна здатність ґрунту щодо всіх досліджуваних елементів. Порівняно з 3-м варіантом, у цих варіантах збільшення валових форм ВМ становить від 6 до 93%, особливо по Zn, Cd і Cu [13, 19]. Максимальний вміст цинку (до 266 мг/кг ґрунту) відмічено у варіантах з вапном, а в решті варіантів він коливався від 14 до 140 мг/кг ґрунту.

Застосування вапна окремо та в поєднанні з гноєм збільшувало вміст валових форм, проте достовірно зменшувало кількість рухомих форм ВМ. Зниження кількості рухомих форм становило від 15 до 65% порівняно з 3-м варіантом. Встановлено, що на фоні вапна та поєднання його з гноєм валовий вміст Cd знизився на 17,5%, на фоні гною - на 35% і на фоні NPK залежно від дози - відповідно на 48-40%; по Cu - на 6,5-7,0%, 12,0% і 25,0-13,9% відповідно. Валовий вміст Zn і Pb у варіантах із вапном практично не змінився, а на фоні NPK, 2NPK і гною знизився - по Pb на 22-13% і 12%, по Zn на 47-21% і 35% відповідно. Аналогічна закономірність простежується щодо динаміки вмісту рухомих форм ВМ: за проведення вапнування по всіх варіантах відбулося зниження вмісту рухомих форм ВМ у 1,8-2,0 рази.

Для вивчення динаміки вмісту досліджуваних елементів розраховано коефіцієнт рухомості ВМ (табл. 3.3). В умовах кислої реакції середовища в 3, 5 і 7 варіантах коефіцієнт рухомості ВМ - вищий, ніж у варіантах із проведенням вапнування: по Cd він становить 72-77%, Zn - 65-67% і Cu - 58-61 %. Збільшення значення рН з 3,9-4,0 до 6,0-6,5 у 4 і 6 варіантах зумовило зниження рухомості Cd, Cu і Zn у 1,5-2 рази. Коефіцієнт кореляції між рівнем рН і рухомістю ВМ в інтервалі 6,0-6,5 дорівнює 0,73. Рухомість Pb залежно від реакції середовища змінювалася не значно. Поведінка кадмію помітно відрізняється від інших ВМ, його рухливість найвища на всіх варіантах, навіть на фоні внесення вапна. За ступенем рухомості досліджувані елементи розташовуються в такому порядку: кадмій > цинк > мідь > свинець [7].

Таблиця 3.3

Коефіцієнт рухливості важких металів у ґрунті, %

Варіанти досліджу	Cd	Cu	Pb	Zn
1. Контроль	31	22	24	10
2. NPK - фон	14	14	15	6
3. Фон + ВМ	71	60	60	66
4. Фон + ВМ + вапно	64	39	56	26
5. Фон + ВМ + гній	76	58	57	64
6. Фон + ВМ + гній + вапно	64	41	53	28
7. N ₂ K ₂ + ВМ	71	57	56	65

Вивчення міграції ВМ засвідчило, що Cd і Zn накопичуються в орному і підорному горизонтах, причому найбільше в підорному; Cu і Pb - більшою мірою в орному, у підорному горизонті їхня концентрація знижується, і на рівні 1 м досягає малих величин (табл. 3.4).

Внесення вапна сприяє закріпленню ВМ, що зумовлює максимальний їхній вміст тільки в орному горизонті, міграція в нижчі горизонти практично відсутня. Виявлені закономірності справедливі як для валових, так і для рухомих форм досліджуваних елементів.

Таблиця 3.4

Агрохімічні характеристики та вміст ВМ у метровому шарі дерново-підзолистого супіщаного ґрунту

Варіант	Шар ґрунту, м	рН	P ₂ O ₅	K ₂ O	Ca	Mg	Вміст важких металів, мг/кг							
			мг/кг ґрунту		мг-екв/100 г ґрунту		Валові форми				Рухомі форми			
			Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn				
1. Контроль	0-20	4,0	37	71	1,5	0,7	0,19	4,7	9,3	21,8	0,03	0,66	1,4	1,09
	20-40	4,1	13	42	2,5	1,3	0,13	4,0	6,1	19,2	0,04	0,36	0,87	0,57
	40-60	3,8	3	44	2,7	1,1	0,11	6,7	6,3	14,6	0,01	0,34	2,02	0,54
	60-80	3,7	1	43	3,1	1,6	0,10	8,0	7,1	15,1	0,03	0,43	2,25	0,75
	80-100	3,5	2	51	3,7	2,3	0,11	10,2	6,7	18,2	0,02	0,55	1,63	0,61
3. НРК+ВМ	0-20	3,7	119	145	1,1	0,3	2,94	86,1	116,1	57,1	1,51	44,64	46,12	25,02
	20-40	4,3	19	91	2,0	1,1	5,01	20,4	11,3	72,1	2,98	7,90	2,97	39,37
	40-60	4,0	2	52	3,0	2,0	0,21	8,0	6,2	21,3	0,03	0,67	1,36	4,34
	60-80	3,7	1	41	3,0	3,1	0,17	9,5	7,1	18,7	0,02	0,80	1,33	1,01
	80-100	3,5	4	52	4,2	2,5	0,19	12,6	9,2	22,3	0,03	1,26	1,73	1,02
4. НРК+ВМ+ВМ	0-20	5,7	99	100	3,4	1,5	11,61	106,0	136,1	89,8	4,75	30,83	47,19	42,41
	20-40	5,5	18	35	2,7	1,5	0,70	10,5	11,3	31,5	0,30	1,98	2,66	3,54
	40-60	4,0	3	42	2,8	1,1	0,26	8,8	6,8	18,0	0,06	0,79	1,17	1,03
	60-80	3,6	2	55	4,0	2,0	0,21	11,8	8,2	21,7	0,04	0,70	1,60	0,93
	80-100	3,6	4	53	3,0	2,0	0,17	11,1	7,2	17,8	0,03	0,64	1,01	0,80

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

Не зважаючи на різну інтенсивність нагромадження сухої маси рослинами, які відрізняються за своїми екологічними особливостями, можна відмітити загальні закономірності в її нагромадженні під впливом ВМ на однакових етапах росту культур, насамперед, прояв негативної дії ВМ на формування рослин у початковий період росту [31].

Про механізми стійкості овочевих культур до підвищених концентрацій ВМ поки що мало інформації. Стійкість рослин до одного металу, як правило, не адекватна для інших. Можна припустити, що ця властивість організму перебуває під генетичним контролем і може бути використана під час виведення нових сортів рослин, здатних давати врожаї «чистої» продукції на ґрунтах, які містять великі кількості ВМ [18].

Фенологічні спостереження показали, що в умовах підвищеної кислотності ґрунту в 3, 5 і 7 варіантах токсична дія ВМ виявляється через пригнічення рослин, настання фенофаз із великим запізненням, відмічена загибель рослин капусти та буряка. У картоплі на всіх варіантах дослідження спостерігається формування рослин. На вапнованому ґрунті відмінностей за строками настання фаз розвитку та загальним періодом їхньої вегетації не спостерігається [29-32].

Аналіз даних обліку врожаю показав, що у варіантах без вапна рослини буряків і капусти гинули, а картоплі та цибулі давали низький урожай. Зниження рівня кислотності ґрунту зумовило послаблення фітотоксичності ВМ та одержання значного врожаю овочевих і картоплі, найефективнішим було поєднання вапна і гною, де спостерігається суттєва прибавка врожаю буряків 733 г/сосуд і картоплі 451 г/сосуд. Застосування вапна окремо під капусту і цибулю мало перевагу перед найкращим варіантом (табл. 3.5).

Узагальнення врожайних даних за 2022-2023 рр. показує, що умови формування вегетативної маси рослин значною мірою позначилися на врожайності культур (табл. 3.6).

Врожайність овочевих культур і картоплі, г/сосуд

Варіант	Буряк		Капуста		Цибуля		Картопля	
	врожай	прибавка	врожай	прибавка	врожай	прибавка	врожай	прибавка
1. Контроль	135	-	791	-	241	-	417	-
2. NPK+фон	239	103	986	194	175	-65	730	+312
3. Фон + VM	-	-	-	-	13	-227	32	-384
4. Фон + VM + вапно	654	518	1955	1163	416	+174	688	+270
5. Фон + VM + гній	-	-	-	-	11	-229	33	-383
6. Фон + VM + гній + вапно	868	732	1678	886	412	+170	868	+450
7. N ₂ K ₂ + VM	-	-	-	-	11	-229	40	-376
НІР ₀₅	72		96		29		19	

На невапнованому ґрунті застосування NPK призвело до створення несприятливих умов для продуктивного процесу, врожайність цибулі за одноразової дози знизилася в 2 рази порівняно з фоном і в 5 разів із контролем, ніж, за подвійної дози відповідно в 1,5 і 3,4 рази. За внесення гною врожай цибулі в 6 разів нижчий, порівняно з контролем. Урожай буряка отримано тільки за внесення вапна та в поєднанні його з гноєм, проте його величина в 6 варіанті більша в 2 рази. Урожай бульб картоплі отримано на всіх варіантах дослідів, що характеризує цю культуру, як стійку до дії VM. На фоні NPK урожай бульб становив у середньому 397 г/сосуд. Застосування вапна сумісно з гноєм забезпечило підвищення врожаю в 1,5 рази. На фоні дії NPK, 2NPK і гною врожай порівняно з фоном нижчий у 7,7, 1 1,4 і 10,5 разів відповідно. На вапнованому ґрунті врожай цибулі на фоні NPK (2 варіант) у середньому підвищився в 7,3 разів. Порівняно з цим варіантом у 4 та 6 варіантах він становив відповідно 101,2 і 125,4%. За використання NPK продуктивність знизилася: за одноразової дози на 29% і подвійної дози на 17%.

Найбільший ефект у формуванні продуктивності картоплі отримано на фоні повторного вапнування - 501 г/сосуд та за поєднання вапна з гноєм - 556 г/сосуд. За внесення NPK і 2NPK та лише гною врожайність бульб знизилася від максимальної відповідно на 54, 30 і 52%.

Вплив вапна та добрив на вміст ВМ у сільськогосподарських рослинах (основна продукція), мг/кг

Варіант		Цибуля				Капуста				Буряк				Картопля			
		Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu
1. Контроль	В	0,13	3,63	0,03	0,82	0,16	3,03	0,05	0,33	0,11	8,30	0,05	1,58	0,17	3,66	0,03	1,2
	Б/В	0,29	4,74	0,04	0,78	0,40	8,45	0,07	0,42	0,12	9,71	0,06	1,63	0,30	3,87	0,04	1,3
2. НРК+фон	В	0,22	2,62	0,04	0,76	0,20	2,00	0,07	0,42	0,13	7,17	0,07	1,59	0,20	3,51	0,05	1,05
	Б/В	0,2	6,31	0,05	1,41	0,44	8,11	0,1	1,79	-	-	-	-	0,21	4,13	0,06	1,77
3. Фон + ВМ	В	0,27	3,49	0,08	0,92	0,25	8,83	0,11	1,51	0,27	14,76	0,11	6,2	0,19	3,95	0,08	2,06
	Б/В	1,08	10,2	0,12	5,32	0,50	21,4	0,1	3,91	-	-	-	-	0,76	10,31	0,20	4,25
4. Фон + ВМ + вапно	В	0,28	3,84	0,06	0,69	0,18	2,97	0,05	0,37	0,16	10,43	0,07	2,71	0,26	4,50	0,07	1,74
	Б/В	0,52	6,13	0,08	1,26	0,33	6,45	0,08	1,73	0,20	11,62	0,11	1,76	0,49	7,0	0,12	1,77
5. Фон + ВМ + гній	В	0,26	5,2	0,12	0,82	0,30	6,10	0,20	1,31	0,24	18,51	0,20	5,37	0,21	4,30	0,11	1,96
	Б/В	1,44	13,7	0,25	7,88	0,39	17,3	0,31	2,51	-	-	-	-	0,59	10,38	0,2	4,10
Фон + ВМ + гній + вапно	В	0,26	3,92	0,07	0,70	0,19	3,98	0,06	0,69	0,14	12,00	0,07	2,60	0,28	5,22	0,08	1,80
	Б/В	0,32	4,58	0,09	0,89	0,31	9,39	0,1	1,39	0,20	13,73	0,11	2,91	0,31	7,20	0,13	1,97
7. N ₂ P ₂ K ₂	В'	0,31	3,56	0,13	0,81	0,21	5,97	0,06	1,23	0,30	12,24	0,32	4,71	0,29	4,48	0,08	1,97
	Б/В	2,5	10,8	0,31	8,31	0,59	23,3	0,37	3,40	-	-	-	-	0,42	7,90	0,21	4,07
НІР ₀₅		0,07	1,2	0,02	0,3	0,09	1,3	0,02	0,4	0,06	1,5	0,02	0,3	0,08	1,0	0,02	0,07

Проведення вапнування всього дослідження сприяло формуванню врожаю буряків у всіх варіантах дослідження, найкращим був 6 варіант - 484 г/сосуд, прибавка порівняно з фоном NPK була достовірною і становила 78,0 г/сосуд. На фоні лише вапна та 2NPK врожаї буряків були дещо нижчими порівняно з фоном - на 23 і 30% відповідно.

При вирощуванні капусти відзначено перевагу повторного вапнування (4 варіант), хоча різниця за врожаєм із найкращим 6 варіантом не є достовірною. За використання NPK, 2NPK і гною врожайність капусти порівняно з фоном знизилася відповідно у 2,7, 1,5 і 1,5 рази.

Проведення повторного вапнування (4 варіант) порівняно з контролем забезпечило підвищення врожаю цибулі в 2,3, картоплі - в 1,8, буряків - в 1,6 і капусти - в 1,3 рази. Дія гною в післядії має затухаючий характер і не забезпечує одержання достовірних надбавок урожаю. Сумісне внесення вапна і гною усувало негативний вплив ТМ, ефективність цього прийому зумовила, порівняно з контролем, підвищення врожайності цибулі, картоплі, буряків і капусти відповідно у 2,8, 2,0, 1,9 і 1,2 рази.

Порівняння врожайних даних на невапнованих і вапнованих ґрунтах показує, що збільшення рівня рН з 4,0 до 6,4-6,6 зумовило зниження токсичності ВМ на фоні NPK у цибулі, картоплі та капусти, відповідно у 11,0, 5,0 і 18,7 рази; 2NPK - відповідно в 9,3, 11,1 і 16,5 рази; вапна у цибулі, картоплі, буряка і капусти - в 1,5, 1,4, 1,9 і 1,5 рази.

Таким чином, вапнування ґрунтів є високоефективним прийомом, що знижує фітотоксичність ВМ, виявляючи важливу природоохоронну роль.

3.3. Вплив вапна, мінеральних добрив і гною на акумулювання важких металів рослинами

Внесення гною та вапна, що має значний вплив на рухомість ВМ, є високоефективним прийомом зниження надходження до рослин цинку, міді, свинцю та кадмію (табл. 3.6).

Цибуля. Визначення якості цибулі показало, що на невапнованому ґрунті порівняно з контролем вміст Pb на фоні NPK, вапна, гною та 2NPK вищий відповідно у 3,6, 1,7, 4,8, та 8,7 рази; Zn - у 2,2, 1,3, 2,9, та 2,3 рази; Cd у 2,6, 1,8, 5,0 і 6,2 рази; Cu

6,8, 1,6, 10,1 і 10,7 рази відповідно, у варіантах з NPK і гноєм вміст ВМ перевищує ГДК. На фоні вапна та у варіантах з гноєм вміст ВМ практично не відрізняється від контролю і має кращі показники за вмістом Pb і Zn порівняно з фоном. На вапнованому ґрунті всі прийоми були високоефективними, забезпечуючи, за винятком кадмію, одержання чистої продукції.

Капуста. При формуванні якості капусти на кислому ґрунті відмічається порівняно з 2 варіантом у варіантах з NPK, гноєм та 2NPK збільшення вмісту Zn у 2,5, 2,0 та 2,9; Cd у 2,0, 3,2 та 3,8; Cu у 2,2, 1,4 та 1,9 рази відповідно. Застосування вапна окремо та в поєднанні з гноєм зумовило отримання продукції, за винятком Cd, що не відрізнялося від контролю.

Порівняння результатів за вмістом ВМ у продукції цибулі та капусти показало, що їхні величини на вапнованому фоні відповідно у 2-8 н 1,9-4,0 рази є нижчими, ніж на невапнованому. Окрім Cd, за жодним з елементів не виявлено перевищення ГДК.

Буряк. На невапнованому ґрунті в більшості варіантів відзначається відмирання рослин буряків, лише застосування вапна (4 варіант) та поєднання його з гноєм забезпечує одержання продукції. На вапнованих повторностях дослідів виявлено особливість буряків до більшого, порівняно з іншими культурами, накопичення Zn, проте порівняно з 3 варіантом внесення окремо гною та у поєднанні з гноєм сприяло зниженню концентрації елемента в коренеплодах у 1,5 рази.

Картопля. Аналіз бульб картоплі показав, що відмічається достовірно збільшення накопичення ВМ у 3-му та 5-му варіанті на невапнованому ґрунті порівняно з фоном. За внесення вапна окремо та в поєднанні з гноєм, вміст ВМ знижувався на 30-23% порівняно з варіантом ВМ + NPK. На вапнованому ґрунті вміст ВМ у бульбах, залежно від варіанту, знижувався в середньому в 1,5-3,0 рази, найкращі показники в 4 варіанті.

Показано, що ВМ на вапнованому ґрунті не перешкоджають накопиченню крохмалю в бульбах, порівняно з фоном встановлено достовірну надбавку у варіантах із внесенням вапна та гноєм [2, 8, 11, 32].

У дослідженнях не виявлено залежності накопичення ВМ у ґрунті та надходження їх у рослини, тобто це складний процес, на який впливають безліч

факторів, у тому числі біологічні особливості культур. Найкращі результати по зниженню накопичення ВМ отримано в 4-му (NPK + ВМ + вапно) і 6-му (NPK + ВМ + вапно + гній) варіантах. За ступенем накопичення ВМ у продукції об'єкти досліджень можна розташувати в наступній послідовності: буряк > капуста > цибуля > картопля.

Встановлено, що найактивніше процес накопичення ВМ відбувається у побічній продукції. Внесення вапна окремо та у поєднанні з гноем забезпечують різке зниження накопичення ВМ, забезпечуючи низький рівень переходу їх у рослини з ґрунту, проте в зеленій масі картоплі та листках буряків їхній вміст перевищував ГДК.

3.4. Вивчення динаміки агрохімічних властивостей ґрунту в системі агроекологічного моніторингу

Моніторинг на реперних ділянках виявив тенденцію до зниження ґрунтової родючості: збільшення кислотності ґрунтів у середньому з рН 6,0 до 5,5. Нг - з 3,17 до 2,12 мг-екв/100 г ґрунту, зниження суми поглинутих основ з 9,1 до 7,0 мг-екв/100 г ґрунту, деяке зменшення запасу поживних речовин (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Агрохімічна характеристика ґрунтів на реперних ділянках моніторингу

ґрунти	Агрохімічні показники								
	рН	гумус,%	P ₂ O ₅	K ₂ O	Нг	Ca	Mg	S	V, %
			мг/кг			мг-екв/100 г ґрунту			
Сірі лісові	5,5	3,0	245	182	2,64	11,1	3,7	14,0	84
Дерново-підзолисті суглинисті	5,8	2,0	164	203	1,39	5,5	2,0	7,5	82
Дерново-підзолисті супіщані	5,7	1,9	317	124	1,26	3,5	1,4	5,0	79

Нами проведено визначення вмісту валових (табл. 3.8) і рухомих форм (табл. 3.9) ВМ у сірих лісових і дерново-підзолистих ґрунтах області.

Вміст валових форм ВМ у ґрунтах реперних ділянок (середнє за 10 років)

Ґрунти	Вміст ВМ, мг/кг									
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Mn	Cr	Hg	As
Сірі лісові	10,4	36,8	0,40	9,6	17,2	8,3	525	25,4	0,018	1,30
Дерново-підзолисті суглинисті	4,8	25,0	0,25	7,0	8,7	5,7	429	19,5	0,011	1,32
Дерново-підзолисті супіщані і піщані	3,0	16,0	0,18	4,4	5,0	3,1	247	12,4	0,023	0,97
Заплавні	10,1	43,7	0,48	11,0	18,1	9,8	606	35,1	0,02	1,46

Отримані результати вказують на досить низький вміст ВМ в ґрунтах, який за екологічною оцінкою визначено на рівні 1 групи, сумарний показник забруднення ґрунтів (Z_c) знаходиться в межах 0 - 4,76, максимальну величину виявлено для заплавних ґрунтів важкого механічного складу, коефіцієнт забруднення (K_z) дорівнює нулю.

Вміст рухомих форм ВМ у ґрунтах реперних ділянок (середнє за 10 років)

Ґрунти	Вміст ВМ, мг/кг						
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Co	Cr
Сірі лісові	0,27	1,20	0,13	0,67	0,89	0,23	0,43
Дерново-підзолисті суглинисті	0,25	2,13	0,13	0,72	0,56	0,24	0,35
Дерново-підзолисті супіщані і піщані	0,21	1,02	0,11	0,64	0,39	0,19	0,33
Заплавні	0,25	1,38	0,12	0,67	0,69	0,22	0,46

Вивчення розподілу ВМ за горизонтами ґрунтів показало, що міграція металів невелика, у жодному з шарів не виявлено перевищення допустимих концентрацій елементів. При цьому відмінності фонових рівнів зумовлені здебільшого типом ґрунтів: максимум - у заплавно-лугових і сірих лісових, мінімум у дерново-підзолистих супіщаних і піщаних ґрунтах [17].

У сірих лісових ґрунтах спостерігається акумуляція в орному горизонті Zn, Cd, Co, Cr і Mn, у нижчих горизонтах їхній вміст знижується в 1,5-3 рази. Навпаки, концентрація Ni зростає вниз за профілем, а Cu та Pb - падає до глибини 40 см, а потім істотно зростає.

Аналогічно поведуть себе ВМ за профілем дерново-підзолистих суглинкових ґрунтів. Спостерігається їхня акумуляція у верхніх шарах ґрунту, окрім Cu та Ni. Необхідно зазначити, що вміст ВМ у дерново-підзолистих суглинних ґрунтах у 1,5-2 рази нижчий, ніж у сірих лісових.

Встановлено залежність вмісту ВМ від гранулометричного складу ґрунтів, у дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах вміст ВМ нижчий, ніж у суглинних. Спостерігається тенденція до зниження до глибини 60 см усіх ВМ, окрім Mn, а за цим незначне підвищення вмісту Zn та Cd; Co та Pb - до рівня орного горизонту, а Cu, Ni, Cr - вище рівня. Вміст Mn знижується донизу за профілем приблизно в 5 разів [23].

Розрахунок ґрунтово-екологічного індексу (ГЕІ) виявив стійку тенденцію до зниження: агрохімічний показник (А) за 10 років знизився з 1,3 і до 1,25, величина ГЕІ - з 57,7 до 5,3,0%, що можна пояснити падінням обсягів внесення органічних, вапнякових і мінеральних добрив.

Кореляційний аналіз результатів за вмістом ВМ у рослинах і величиною рН виявив між ними тісний зв'язок, який має нелінійний характер, найбільший - у слабокислому та нейтральному інтервалах (0,48-0,64).

Таблиця 3.10

Показники родючості та забруднення ґрунтів (середнє за 10 років)

Ґрунти	А	ГЕІ	Zc	Kз
Сірі лісові	1,18	61,2	1,13	0
Дерново-підзолисті суглинні	1,32	61,2	1,27	0
Дерново-підзолисті супіщані	1,29	48,5	1,21	0
Заплавні	1,17	59,1	2,25	0

Важливим завданням у рамках моніторингу вмісту накопичення ВМ в агроекосистемах є визначення ступеня накопичення досліджуваних елементів у різних видах рослинницької продукції (таблиця 3.11).

Таблиця 3.11

Вміст ВМ у сільськогосподарських культурах

Культури	Cu	Zn	Pb	Cr	Cd	Ni
	Вміст, мг/кг					
Озиме жито (зерно)	3,1	24,0	0,17	0,33	0,06	0,5
Озима пшениця (зерно)	3,7	32,0	0,31	0,40	0,07	0,5
Яра пшениця (зерно)	3,2	24,0	0,23	0,30	0,06	0,5
Ячмінь (зерно)	4,1	28,1	0,23	0,40	0,05	0,5
Овес (зерно)	2,8	28,6	0,31	0,32	0,06	0,7
Однодольні трави (зелена маса)	1,0	8,3	0,24	0,19	0,04	0,4
Багаторічні трави (зелена маса)	1,3	6,7	0,26	0,19	0,05	0,4
Картопля	0,6	3,5	0,11	0,16	0,01	0,1
Кукурудза (зелена маса)	0,6	6,0	0,11	0,14	0,01	0,1
Соняшник (зелена маса)	1,5	6,0	0,23	0,18	0,04	0,3
Яблука	0,4	2,2	0,05	0,05	0,01	0,1

На підставі багаторічних даних моніторингу розраховано для кожної культури коефіцієнт біологічного поглинання ВМ (КБП): найвищі його значення в однорічних трав, найменші - у яблук. Коефіцієнти переходу важких металів із ґрунту в рослини вищі на легких за механічним складом ґрунтах.

ВИСНОВКИ

1. За сильного ступеня забруднення ґрунтів ВМ як детоксикаційні заходи доцільно проводити періодичне вапнування, позитивна дія якого посилюється внесенням органічних добрив, що сприяє зниженню рухомості всіх ВМ у 1,5-4 рази.

2. В умовах кислого ґрунтового середовища високий вміст ВМ пригнічує ріст і розвиток рослин, що проявляється здебільшого в первісних стадіях.

3. На вапнованому ґрунті всі агрохімічні заходи виявляють детоксикаційну дію. Внесення вапна окремо і в поєднанні з гноєм знижує фітотоксичність ВМ, що зумовлює одержання врожаю овочевих культур вищого, ніж на незабрудненому ґрунті на контролі та на фоні НРК, надбавка становить: у цибулі 314 та 98, у картоплі - 285 та 54, у буряків 228 та 77 г/судину відповідно.

4. Проведення періодичного вапнування на сильнозабруднених ділянках ліквідувало фітотоксичність і забезпечило підвищення врожайності цибулі у 2,7 рази, картоплі - у 2,1 рази та буряків - у 1,6 рази.

5. Внесення вапна сприяє закріпленню всіх ВМ в орному шарі посівів, цим самим перешкоджає не лише надходженню їх у рослини, а й міграції в нижчі горизонти. На фоні вапнування в усіх варіантах за всіма елементами, за винятком кадмію, отримано екологічно безпечну продукцію. Перевищення ГДК за кадмієм спостерігалось за всіма культурами, без вапна воно становило 5-15 разів, на фоні вапна від 2 до 7 разів. Перевищення ГДК за цинком було відмічено у цибулі та буряків у 1,2-1,8 разів.

6. Застосування мінеральних добрив у зростаючих дозах в умовах кислого ґрунтового середовища посилює токсичний ефект від ВМ. За зниження кислотності до рівня рН 6,5-6,7 подвійна доза мінеральних добрив істотно впливає на детоксикувальну дію, сприяє зниженню накопичення важких металів залежно від культури в 1,5-4,0 разів.

7. Найбільше накопичення ВМ відмічається у буряках, у меншій мірі – в цибулі та капусті. Найбільш стійкою культурою до накопичення ВМ є картопля. Максимальний вміст ВМ відбувається з побічною продукцією, зокрема з бадиллям картоплі, у зв'язку з чим під час вирощування картоплі на забруднених ґрунтах

бадилля слід видаляти з поля. За величиною накопичення в рослинах найактивнішим забруднювачем є кадмій. Решта ВМ розташовуються в наступному ряді: цинк> мідь> свинець.

8. Рівні вмісту ВМ у ґрунтах Рівненської області не перевищують їх фонових концентрацій, за ступенем забруднення відносяться до слабо забруднених ґрунтів. Значущого підвищення рівня вмісту металів у результаті тривалого використання засобів хімізації не виявлено.

9. Виявлення розподілу ВМ за профілем дерново-підзолистих, супіщаних і заплавних ґрунтів показало, що максимальний вміст ВМ спостерігається в гумусовому горизонті. Встановлено залежність вмісту ВМ від гранулометричного складу ґрунтів: у дерново-підзолистих супіщаних ґрунтах вміст ВМ нижчий, ніж у суглинкових.

10. Якість урожаю сільськогосподарських культур відповідає санітарно-гігієнічним нормам і критеріям безпеки. Однак, з огляду на наявні на території області джерела техногенного забруднення довкілля, необхідно проводити моніторинг за станом ґрунтового покриву, особливо поблизу від промислових підприємств та автострад.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

1. Ґрунти сільськогосподарських угідь Рівненської області з урахуванням виявленого незначного рівня забруднення їх важкими металами можуть бути придатними для використання без обмежень.

2. За допустимих кількостей важких металів у ґрунті для зниження їхньої токсичності, збереження продуктивності та якості сільськогосподарських культур поряд із регулярним контролем за вмістом важких металів у ґрунтах і рослинах необхідна диференційована, відповідно до агрохімічних показників ґрунту, система агрохімічних заходів, яка сприятиме їхній детоксикації, - своєчасне вапнування, внесення науково обґрунтованих доз органічних і мінеральних добрив.

3. На території, забрудненій ВМ, для отримання рослинницької продукції, що відповідає санітарно-гігієнічним нормам, рекомендується проводити вапнування ґрунтів із доведенням реакції середовища до рН 6,4-6,6.

4. При розміщенні сільськогосподарських культур на забруднених ВМ ґрунтах, слід враховувати здатність рослин до накопичення ВМ. Найменшу кількість токсичних елементів накопичують картопля та зернові культури.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агроекологія: навчальний посібник / Фесенко А. М., Солошенко О. В., Гаврилович Н. Ю. та ін. Харків: ХНТУСГ, 2013. 291 с.
2. Андрієнко Г.Г. Методи моніторингу гетероциклічних пестицидів в сільськогосподарських рослинах та ґрунті / *Захист рослин*. 1999. №4. С.17-18.
3. 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 зрошеного землеробства. Аграрна наука-виробництво. К., 2000. С. 5.
4. Бездрабко О.М., Макаренко Н.А., Кавецький В.М. Вплив сульфат гумат амонійних добрив на поведінку політантів у системі ґрунт-добриворослина // *Агроекологія і біотехнологія*. Вип. 3. К.: Нора-прінт. 1999. С. 45-49.
5. Валерко Р. А., Мислива Т. М., Герасимчук Л. О. Особливості акумуляції свинцю у едафотобах і фітоценозах Житомира. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. На уково-теоретичний збірник. 2011. № 1 (28). Том 1. С. 179–189.
6. Василенко М. Г., Зосімов В. Д. Роль органо-мінеральних добрив у підвищенні продуктивності сірих лісових ґрунтів. К.: Збалансоване природокористування. 2014. № 2. С. 45–49.
7. Ватаманюк О. В., Яковець Л. А. Накопичення Рb і Сb у зерні сільськогосподарських культур під час зберігання в умовах зміни клімату. Вплив змін клімату на онтогенез рослин: Матеріали доповідей Міжнародної науково-практичної конференції (Миколаїв, 3–5 жовтня 2018 р.). Миколаїв, 2018. С. 205–206.
8. Данилко В. К., Тарасович Л. В. Агрохімічний сервіс: реалії та перспективи: монографія. ЖДТУ. Житомир, 2012. 251 с.
9. Дегодюк В.Г., Сайко`В.Ф., Корнійчук М.С. Вирощування екологічно чистої продукції рослинництва. К.: Урожай, 1992. 320 с.
10. Дегодюк Е. Г., Мамонтов В. Т., Гамалей В. І. Екологічні основи використання добрив К.: Урожай, 1988. 232 с.

11. Дмитрук Ю.М. Залежність вмісту важких металів від еродованості та властивостей чорноземів опідзолених, сірих лісових ґрунтів західного Лісостепу України. Автореф. дис. на здоб. вчен. ступ. канд. с.-г. наук. К., 1995. 24 с.
12. Екологічна стандартизація і нормування антропогенного навантаження на природне середовище: навч. посібник / Тарасова В. В., Малиновський А. С., Рибак М. Ф. К.: Видавництво «Центр учбової літератури», 2007. 200 с.
13. Єгорова Т. М. Еколого-геохімічні процеси міграції цинку в агроландшафтах України. К.: Агроекологічний журнал. 2014. № 3. С. 14–22.
14. Жеребна Л. О. Вплив важких металів, що містяться в мінеральних добривах, на якість рослинницької продукції. Харків: Агрохімія і ґрунтознавство. 2001. Вип. 61. С. 193–197.
15. Злобін Ю. А., Кочубей Н. В. Загальна екологія: навчальний посібник. Суми: ВТД «Університетська книга», 2003. 416 с.
16. Іваненко О. В., Тогачинська О. В., Ничик О. В. Вплив органо-мінеральних добрив на накопичення важких металів вегетативними і генеративними органами пшениці ярої. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Науково-теоретичний збірник. 2014. № 1 (39). Том 1. С. 44–50.
17. Іутинська Г.О., Антипчук А.Ф., Валагурова О.В. Відновлення біологічних функцій ґрунтів, забруднених важкими металами. // Міжвід. темат. збірник Агрохімія і ґрунтознавство спец. випуск., Рівне, 1998. С. 93-95.
18. 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.
19. Кураєва І.В. Геохімія міді, цинку, кобальту і нікелю у ґрунтах України. Автореф. дис. на здоб. вчен. ступ. доктр. геолог. наук. Київ, 1999. 31 с.
20. Макаренко Н.А., Мокальчук Л.І., Кавецький В.М. Методи обстеження агроландшафтів при проведенні екологічної експертизи. // *Агроекологія і біотехнологія*. Вип. 3. К.: Нора-прінт, 1999. С. 40 – 44.
21. Марчук І. У., Розстальний В. М., Макаренко В. Є. Добрива та їх використання: Довідник. К.: Арістей, 2011. 254 с.

22. Міцкевич Б.Ф. Геохімічні ландшафти Українського щита. К.: Наукова думка, 1971. 174 с.
23. Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Міграція Cu, Zn, Pb, Cd в дерновопідзолистому ґрунті при різних рівнях імпактного поліметалічного забруднення. Вісник Житомирського національного агроекологічного університету. Науково-теоретичний збірник. 2011. № 2 (29). Том 1. С. 21–37.
24. Новожилова Є.В., Денарт С. Безпека продуктів харчування, відстеження та відповідальність у харчовому ланцюзі. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2006. 48 с.
25. Органічне землеробство: з досвіду ПП «Агроекологія» Шишацького району Полтавської області. Практичні рекомендації. С. С. Антонєць, А. С. Антонєць, В. М. Писаренко та ін. Полтава: РВВ ПДАА, 2010. 200 с.
26. Параняк Р. П. Шляхи надходження важких металів в довкілля та їх вплив на живі організми / Р. П. Параняк, Л. П., Васильцева, Х. І. Макух // *Біологія тварин*. 2007. Т. 9, № 3. С. 83–89.
27. Фудишин Б. М., Дорохов В. І., Павлюк Г. В. Екологічна хімія. Херсон. Олді-Плюк, 2014. 515 с.
28. Хвесик М.А. Екологічні проблеми галузевого водокористування і водозабезпечення народного господарства України. К., РВПС, 1993. 50 с.
29. 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.
30. Ezaki T. Analysis for threshold levels of cadmium in urine that induce tubular dysfunction among women in non-polluted areas in Japan. [T. Ezaki, T. Tsukahara, J. Moriguchi et al.]. Arch Occup Environ Health. 2003. Vol. 76 (3). P. 197–204.
31. Dichlorodiphenyltrichloroethane (DDT): Ubiquity, Persistence, and Risks. Vladimir Turusov, Valery Rakitsky and Lorenzo Tomatis. Environmental Health Perspectives. Vol. 110, № 2, Feb., 2002. P. 125–128.
32. 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.