

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

Кваліфікаційна робота
на правах рукопису

Гребенюк Микола Миколайович

УДК: 630.182

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

ЕКОЛОГО-ХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В
АГРОЛАНДШАФТАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

101 Екологія

(шифр і назва спеціальності)

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

М.М. Гребенюк
(підпис, ініціали та прізвище здобувача вищої освіти)

Керівник роботи
Дунаєвська Оксана Феліксівна
професор, д.б.н.

Житомир - 2023

АННОТАЦІЯ

Гребенюк М.М. Еколого-хімічна оцінка вмісту важких металів в агроландшафтах житомирської 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 36 сторінок. Список використаних джерел налічує 32 позиції.

Об'єктом дослідження є еколого-агрохімічна оцінка важких металів.

Мета дослідження полягала у вивченні взаємодії агрогенних і природних чинників, що визначають родючість дерново-підзолистих ґрунтів в умовах Житомирської області, та оцінка значущості основних агрохімічних параметрів родючості для розвитку високопродуктивного та сталого землеробства, а також для здійснення ними низки інших екологічних функцій..

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: агроландшафти, важкі метали, агрохімічні показники, фітотоксичність.

SUMMARY

Grebenyuk M.M. Ecological and chemical assessment of the content of heavy metals in agricultural landscapes of the Zhytomyr region.

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

Content of the abstract: The qualification work consists of 36 pages. The list of references includes 32 items.

The object of research is the ecological and agrochemical assessment of heavy metals.

The purpose of the study was to investigate the interaction of agrogenic and natural factors that determine the fertility of sod-podzolic soils in the Zhytomyr region and to assess the importance of the main agrochemical parameters of fertility for the development of highly productive and sustainable agriculture, as well as for the implementation of a number of other environmental functions.

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.

Key words: agrolandscapes, heavy metals, agrochemical indicators, phytotoxicity.

ЗМІСТ

ВСТУП	5
РОЗДІЛ I. АНТРОПОГЕННІ ТА ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА МЕТАЛОЇДАМИ (аналітичний огляд літератури).....	8
1.1. Поняття про забруднення ґрунтів	8
1.2. Визначення ступеня небезпеки важких металів і металоїдів у ґрунтах	9
Розділ II. ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	12
2.1. Програма досліджень.....	12
2.2. Методика досліджень.....	12
2.3. Умови проведення дослідження.....	14
Розділ III. ЕКОЛОГО-ХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	16
3.1. Фізико-хімічна оцінка дерново-підзолистих ґрунтів.....	16
3.2. Азотний режим дерново-підзолистих ґрунтів та ефективність азотних добрив.....	17
3.3. Фосфатний режим дерново-підзолистих ґрунтів та ефективність фосфорних добрив	21
3.4. Мікроелементи в дерново-підзолистих ґрунтах.....	23
3.5. Екологічний стан дерново-підзолистих ґрунтів.....	26
3.6. Фіторемедіаційна здатність гірчиці сарептської та ячменю звичайного по відношенню до міді, свинцю та кадмію	28
ВИСНОВКИ.....	30
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	33
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	34

ВСТУП

Актуальність дослідження. Забезпечення рослин елементами мінерального живлення та вологою є основною і незамінною функцією ґрунту в біосфері. Сталий розвиток землеробства на дерново-підзолистих ґрунтах, що характеризуються низьким вмістом гумусу, підвищеною кислотністю, малою буферною здатністю і недостатньою забезпеченістю поживними речовинами, передбачає постійну увагу щодо підвищення їхньої родючості. Ключове значення в цьому відношенні має збалансоване застосування добрив та меліорантів, що базується на знанні всього комплексу ґрунтових, агрохімічних, екологічних та агротехнічних чинників, які визначають рівень кореневого живлення рослин та інтенсивність кругообігу речовин в агроекосистемах [1, 6, 19].

Оптимізуючи кореневе живлення рослин, фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунту з використанням агрохімічних засобів, вдається не лише інтенсифікувати продуктивний процес в агроценозах, а й здійснювати сприятливий вплив на низку інших важливих екологічних функцій. Серед них першочергове значення має здатність посівів, які зростають на родючих ґрунтах, краще адаптуватися до несприятливого впливу кліматичних факторів. Рослини, які на оптимальному рівні забезпечені елементами мінерального живлення, більш стійкі до токсичного впливу забруднювальних речовин - важких металів та радіонуклідів. Рівень і збалансованість застосування агрохімікатів визначає також ґрунтову супресивність і фітосанітарний стан посівів [11].

Тому тема дослідження є актуальною, оскільки передбачає дослідження проблеми підвищення родючості дерново-підзолистих ґрунтів, а також виявлення тенденцій її зміни в умовах вітчизняного землеробства, для якого характерний сильно виражений дефіцит балансу поживних речовин, що створює небезпеку виснаження ґрунтів до неприпустимого рівня [5, 8, 10].

Об'єкт дослідження – еколого-агрохімічна оцінка важких металів

Предмет дослідження – агроландшафти, важкі метали.

Мета роботи полягає у вивченні взаємодії агрогенних і природних чинників, що визначають родючість дерново-підзолистих ґрунтів в умовах Житомирської

області, та оцінка значущості основних агрохімічних параметрів родючості для розвитку високопродуктивного та сталого землеробства, а також для здійснення ними низки інших екологічних функцій.

Завдання досліджень включають вивчення таких питань:

- дати оцінку змін агрохімічних параметрів родючості ґрунтів в умовах інтенсивного та екстенсивного землеробства за різних рівнів застосування засобів хімізації;

- установити об'єми надходження і витрати в дерново-підзолистих ґрунтах основних макроелементів і виявити потребу в мінеральних добривах і хімічних меліорантах для поповнення дефіциту поживних речовин;

- оцінити ресурси доступних для рослин поживних елементів - Mg, S і мікроелементів B, Mo, Cu, Zn, Co, Mn у дерново-підзолистих ґрунтах;

- установити кількісні параметри забруднення дерново-підзолистих ґрунтів важкими металами та тривало існуючими радіонуклідами ^{90}Sr і ^{137}Cs у результаті антропогенного навантаження та техногенних процесів;

- вивчити закономірності трансформації важких металів і радіонуклідів у ґрунті та рослинах;

- виявити особливості прояву фітотоксичності найбільш небезпечних елементів при вирощуванні на забруднених ними ґрунтах овочевих, кормових і плодово-ягідних культур в умовах виробництва.

Наукова новизна. Уперше на основі матеріалів багаторазового агрохімічного обстеження дерново-підзолистих ґрунтів за 36-річний період, дано комплексну оцінку значущості основних показників їхньої родючості (гумусованість, кислотність, вміст рухомих форм макро- і мікроелементів) для розвитку високопродуктивного та сталого землеробства в кліматичних умовах Житомирської області. Обґрунтовано положення про те, що здатність забезпечувати формування високопродуктивних агроценозів, що мають підвищену адаптацію до впливу несприятливих кліматичних чинників і стійкість до токсичності важких металів, радіонуклідів, властива лише родючим дерново-підзолистим ґрунтам, які достатньо

забезпечені елементами мінерального живлення та мають оптимальні фізико-хімічні та біологічні параметри.

Оцінено властивості дерново-підзолистого ґрунту та режими мінерального живлення рослин у реальних умовах інтенсивного землеробства, що забезпечують оздоровлення негативних проявів фітосанітарного стану посівів.

Практичне значення роботи. Використання цих розробок дозволить організувати науково-обґрунтований розподіл і застосування агрохімічних засобів в землеробстві на рівні область – район – господарство – поле. Це забезпечить ціленаправлене використання добрив і меліорантів на дерново-підзолистих ґрунтах.

Публікації:

1. Гребенюк М.М. Важкі метали в системі ґрунт – рослина (тези).
2. Іващенко Т.В., Смулка О.А., Гребенюк М.М. Вплив вапна, мінеральних добрив і гною на акумулювання важких металів рослинами
3. Гребенюк М.М. Мікроелементи в дерново-підзолистих ґрунтах (тези)

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота складається зі вступу, 3 глав, висновків, викладена на 36 сторінках машинописного тексту, включаючи 7 таблиць. Список літератури налічує 32 найменування.

РОЗДІЛ 1

АНТРОПОГЕННІ ТА ПРИРОДНІ ДЖЕРЕЛА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА МЕТАЛОЇДАМИ

(аналітичний огляд літератури)

1.1. Поняття про забруднення ґрунтів

У підручнику "Екологічний моніторинг ґрунтів" забруднення ґрунтів визначається як «вид антропогенної деградації ґрунтів, за якої вміст хімічних речовин антропогенного походження перевищує регіональний фоновий рівень» [14, 16, 21].

У цьому визначенні є недоліки. По-перше, поєднання слів «антропогенне походження» це тавтологія: друге слово не обов'язкове, оскільки «генне» вже означає походження. По-друге, у разі потрапляння у ґрунт невеликої кількості антропогенної забруднювальної речовини (нижче фонові концентрації) забруднення все ж таки має місце. По-третє, у разі обмеження поняття "забруднення ґрунтів" участю антропогенних речовин із уваги ґрунтознавців-екологів випадають значні площі ґрунтів, що сформувалися на території позитивних геохімічних аномалій, сільськогосподарське використання яких, у низці випадків, небезпечно для тварин і людини [3, 8, 9, 15].

Тим часом, за кордоном поняття «забруднення ґрунтів» розглядається набагато ширше. Для позначення забруднювальної речовини використовують два слова: pollutant і contaminant, причому значення другого терміну ширше. З його участю позначаються два різних поняття: "anthropogenic contaminant" - антропогенна забруднювальна речовина і "natural contaminant" - природна забруднювальна речовина. Відповідно, розрізняють антропогенне та природне забруднення [13].

Природне забруднення - це забруднення ґрунтів літогенними важкими металами та металоїдами. Можливі три варіанти. По-перше, має місце пряме збагачення ґрунту важкими елементами. По-друге, для рослин і тварин небезпеку становить порушення балансу між хімічними елементами.

У результаті ґрунти й породи не виконують своєї буферної ролі. Це приклад порушення оптимального відношення As:Fe [22, 27, 32].

Ці приклади показують гостроту ситуації природного забруднення ґрунтів небезпечними важкими металами Sr і Ba і металоїдами As і Se. Очевидно, ігнорувати позитивні природні геохімічні аномалії, які є небезпечними для людини і тварин, ґрунтознавці не мають права. Це вимагає поширення поняття "забруднення" на природні джерела [11, 17, 23].

1.2. Визначення ступеня безпеки важких металів і металоїдів у ґрунтах

У Програмі глобального моніторингу, ухваленій в ООН в 1973 р., фігурували лише три важкі метали: Pb, Cd і Hg. Пізніше у доповіді виконавчого директора Програми ООН з навколишнього середовища (ЮНЕП) до найнебезпечніших було додано сім важких металів: Cu, Sn, V, Cr, Mo, Co, Ni і три металоїди: Sb, As і Se [1, 2, 8, 17].

Ці рекомендації досі слугують основою для моніторингу важких елементів у ґрунті. Для одних металів встановлено ГДК (ванадій, марганець, свинець), для інших - ОДК (кадмій, мідь, нікель, цинк), для третіх, для яких нормативів немає (кобальт, хром), ступінь забруднення ґрунту оцінюється за емпіричним критерієм: перевищення чотирьох фонових значень [4, 21].

Зазначимо важливий недолік ГДК/ОДК: для оцінки забруднення ґрунтів використовують фіксовані значення концентрацій важких металів і металоїдів, не розділяючи їхні природні і техногенні частки. Це призводить до завищення безпеки забруднення на території позитивної геохімічної аномалії і до заниження - на площі негативної природної аномалії. Фіксовані значення нормативів не враховують також природно-кліматичні і геохімічні особливості регіонів [20, 21, 23, 29].

Гнучкий підхід до нормування розвивався у Нідерландах. Тут нові значення ГДК отримано в результаті численних і різноманітних екотоксикологічних досліджень: проведено велику роботу зі встановлення значень ГДК для 17 важких металів і металоїдів. Досліджували вплив водних витяжок із ґрунтів, забруднених цими елементами, на різні типи організмів (не менше чотирьох): рослини, а також бактерій та інші мікроорганізми, тобто враховували токсичний вплив на ґрунтову біоту, а не пряму дію важких металів/металоїдів на здоров'я людини при вдиханні пилу і споживанні питної води. Після цього провели «гармонізацію» величин ГДК.

Отримані значення ГДК металів/металоїдів, відображають ступінь небезпеки хімічних елементів в ґрунтах по відношенню до біоти. На жаль, наведений набір із 17 елементів недостатньо широкий, враховуючи, що всього є 57 важких елементів. Відчувається відсутність ГДК урану, техногенна частка якого після Другої Світової війни стрімко зросла, а сумнівів у токсичності урану немає. Таким чином, корисні дослідження ГДК мають бути поширені на інші важкі метали/металоїди у ґрунтах.

Свинець посідає 36 місце серед елементів земної кори, його кларк 13 мг/кг. Доведено, що у ґрунті Pb сильно інактивується і втрачає токсичність. Особливо сильно його інактивують фосфати в орних ґрунтах. Міцний зв'язок Pb з органічною речовиною пояснюється зв'язком його з гуматами. На відміну від низки інших важких металів, які у ґрунтах більше асоціюються з рухомими фульвокислотами, свинець переважно закріплюється більш стабільними гуматами. Це було документально підтверджено методом синхротронного рентгенівського аналізу. Спорідненість зі структурою гумінових кислот відрізняє свинець від інших важких металів. Гумінова кислота у разі більше сорбує Pb, ніж інші метали (Cu, Se, Cd). Крім того, у ґрунтах свинець пріоритетно сорбується і алюмосилікатними гелями: поглинається ними у набагато більшій масі, ніж Cu, Zn, Cd, Co, Ni [10, 15, 19, 22, 25].

Цинк посідає 24 місце серед елементів земної кори, його кларк 76 мг/кг. Цинк - це важливий мікроелемент, життєво необхідний для рослин, який бере активну участь у багатьох біохімічних процесах. Рослини в умовах Zn-дефіциту страждають на хлороз. Дефіцит цинку - одна з причин низької врожайності низки культур. Ефективними є цинкові добрива у вигляді ZnSO₄. Вміст Zn в ґрунтах сильно варіює. Нестача цинку характерна для легких лісових ґрунтів, надлишок - для чорноземів, а також для ґрунтів пустель. Водночас у нейтральнолужних ґрунтах півдня доступність цинку знижується через сильну сорбцію (гідр)оксидами заліза і марганцю [18, 21, 23].

Кобальт посідає 30 місце серед елементів земної кори, його кларк 29 мг/кг (Гринвуд, Эрншо, 2008). Кобальт – важливий мікроелемент, життєво необхідний для рослин, який активно бере участь у фіксації N₂. Дефіцит Co веде до хлорозу листя в регіонах поширення карбонатних і нейтральних ґрунтів. За нестачі Co в ґрунтах (менше 2.5 мг/кг) його кількість у кормових рослинах знижується до 0.07 мг/кг; їхнє

споживання викликає серйозні захворювання худоби (акобальтоз, сухотка та ін.). Доводиться вносити кобальтові мікродобрива на основі нітроаммофоски та суперфосфату. Токсичність надлишку Со пом'якшується за рахунок Fe [13, 29].

Хром посідає 21 місце серед елементів земної кори, його кларк 122 мг/кг. Кларк хрому в ґрунтах світу становить 70 мг/кг. Вміст Cr залежить від складу ґрунтоутворювальних порід. У ґрунтах на гранітоїдах він - низький 10 мг/кг, на габроїдах зростає до 100 мг/кг, а на ультрабазитах - до 300 мг/кг [6, 12, 22, 27].

Забруднення хромом сильно впливає на біологічну активність ґрунту. Знижується каталазна активність чорнозему і здатність ґрунтів до розкладання целюлози. За рахунок зменшення виділення енергії при погіршенні ґрунтового дихання гальмуються важливі біохімічні процеси [5, 17].

Отже, відповідно до сучасних екотоксикологічних даними нідерландських екологів за ступенем небезпеки важкі метали/металоїди в ґрунті утворюють ряд: Se > Tl > Sb > Cd > Hg > Ni > Cu > Cr > As > Ba. Виявилось, що в ґрунтах небезпека свинцю, цинку, кобальту перебільшена, а небезпека ванадію, сурми, барію недооцінена. До списку небезпечних елементів у ґрунті мають бути включені талій і хром. Для високонебезпечного талію в Україні немає ГДК/ОДК. Вміст у забруднених ґрунтах важких металів вивчено дуже нерівномірно: краще досліджені 11: Cu, Zn, Pb, Ni, Cd, Cr, As, Mn, Co, Hg, Se; решта 46 вивчені набагато гірше, хоча серед них є небезпечні: Ba, V, Tl [11, 18, 21, 24].

РОЗДІЛ 2

ПРОГРАМА, МЕТОДИКА ТА УМОВИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Програма дослідження

В програму дослідження входило виконання наступних завдань:

1. Аналіз інформаційних джерел за темою кваліфікаційної роботи.
2. Вибір методики дослідження.

1. Оцінити зміни агрохімічних параметрів родючості ґрунтів в умовах інтенсивного та екстенсивного землеробства за різних рівнів застосування засобів хімізації;

2. Встановити об'єми надходження і витрати в дерново-підзолистих ґрунтах основних макроелементів і виявити потребу в мінеральних добривах і хімічних меліорантах для поповнення дефіциту поживних речовин;

3. Оцінити ресурси доступних для рослин поживних елементів - Mg, S і мікроелементів B, Mo, Cu, Zn, Co, Mn у дерново-підзолистих ґрунтах;

4. Установити кількісні параметри забруднення дерново-підзолистих ґрунтів важкими металами та тривало існуючими радіонуклідами ^{90}Sr і ^{137}Cs у результаті антропогенного навантаження та техногенних процесів;

5. Вивчити закономірності трансформації важких металів і радіонуклідів у ґрунті та рослинах;

6. Виявити особливості прояву фітотоксичності найбільш небезпечних елементів при вирощуванні на забруднених ними ґрунтах овочевих, кормових і плодово-ягідних культур в умовах виробництва.

2.2. Методика дослідження

В основу кваліфікаційної роботи покладено результати багаторічних досліджень Інституту охорони ґрунтів по вивченню родючості дерново-підзолистих ґрунтів, ефективності застосування добрив та вапнування в посівах сільськогосподарських культур. Агрохімічне обстеження ґрунтового покриву виконувалося з періодичністю 1 раз на чотири роки, у наступний період - один раз на п'ять років. У змішаних ґрунтових зразках, узятих з орного горизонту визначали вміст

гумусу, кислотність у сольовій витяжці (рН), рухомий фосфор і обмінний калій ~ за Кірсановим.

Під час оцінки гумусного стану ґрунтів використовували таку градацію: дуже низький - менше 1,4%; низький - 1,5-2,0%; середній - 2,1-2,5%; 4,6-5,0; слабокислий 5,1-5,5; близький до нейтрального - 5,6-6,0; нейтральний - понад 6,0.

Ступінь забезпеченості ґрунтів рухомим фосфором оцінювали, виходячи з таких індексів вмісту їх в орному шарі (мг/кг): дуже низький - менше 25; низький - 26-50; середній - 51-100; підвищений - 101-150; високе - 151-250; дуже високе - понад 250.

Групування ґрунтів за вмістом обмінного поглиненого калію в орному шарі складено відповідно до такої шкали (мг/кг): дуже низький - менше 40; низький - 41-88; середній - 81-120; підвищений - 121-170; висока - 171-250; дуже висока - понад 250.

Полеві дослідження з вивчення ефективності вапнування, застосування макро- і мікродобрив у посівах сільськогосподарських культур проводили на дерново-підзолистих ґрунтах різної окультуреності. Повторність варіантів у досліджах 3-4-х кратна, урожай обліковували шляхом суцільного збирання з усієї площі ділянки. Дослідження виконували як у ланках просапних польових сівозмін, так і з окремими культурами: озимою пшеницею, ячменем, картоплею, кукурудзою та багаторічними травами. Урожайні дані обробляли методом дисперсійного аналізу за Б.А. Доспеховим (1985).

Оцінку еколого-токсикологічного стану ґрунтів за вмістом важких металів проводили на основі даних аналізів 24 тис. зразків, узятих із площі 904 тис. га. У ґрунті визначали вміст кислоторозчинних (витяжка 1н HNO₃) форм міді, цинку, кадмію, свинцю, хрому і нікелю атомноабсорбційним методом. У деяких господарствах, що розташовані у зоні інтенсивного забруднення важкими металами, проводили дослідження щодо накопичення їх у сільськогосподарській продукції овочевих, кормових і плодово-ягідних культур.

2.3. Умови проведення дослідження

Дослідження проводилися здебільшого на території Житомирського Полісся. Відмінні риси Житомирського Полісся - значна роль кристалічних порід у будові сучасного рельєфу, високе гіпсометричне положення, широкий розвиток глибоко врізаних і вузьких річкових долин, наявність лесових островів і мала заболоченість території.

Визначальним чинником природної своєрідності Житомирського Полісся – це розташування в межах Українського щита (північно-західна його частина) [1].

Клімат займає проміжне положення – між більш теплим та вологим.

Розташування на кристалічних породах накладає відбиток на рельєф, внутрішні води, ґрунтовий покрив і характер заболочування території. Будова поліської частини Українського щита складна й неоднорідна. Тут оголюються різні за складом і віком гірські породи, що утворюють окремі масиви. Поширені на крайній півночі магматичні породи - рожево-сірі, рожеві, сірі граніти. Масив осадово-метаморфічних порід простягається на півночі та північному сході. Різноманітні граніти розповсюджені у південній та західній частинах [1, 2].

На докембрійських кристалічних породах островами залягають каоліни й осадові відкладення крейдяного (піски з кременем), палеогенового та неогенового (пісковики, піски та глини) віку. Антропогенові відклади також мають широке поширення, але відрізняються від інших областей незначною потужністю (до 10 м).

Дерново-підзолисті ґрунти на Поліссі найпоширеніші, мають різний ступінь оглеєності та неоднаковий гранулометричний склад. Основну частину складають піщані та глинисто-піщані ґрунти. Дерново-підзолисті ґрунти мають низьку родючість, зумовлену низьким умістом гумусу (0,7-2,0%), незначним умістом валових форм макроелементів (азоту 0,06-0,09%, фосфору 0,05-0,08, калію 1,1-1,4%) і мікроелементів та їхніх рухомих форм [1].

РОЗДІЛ 3

ЕКОЛОГО-ХІМІЧНА ОЦІНКА ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОЛАНДШАФТАХ ЖИТОМИРСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1. Фізико-хімічна оцінка дерново-підзолистих ґрунтів

Сільськогосподарське використання дерново-підзолистих ґрунтів чинить значний вплив на вміст і склад обмінних катіонів у ґрунтовому поглинальному комплексі. Особливо відчутні зміни відбуваються під впливом тривалого застосування добрив і вапнування [1, 7, 10].

За даними науковців на фоні вапнування кислих дерново-підзолистих ґрунтів істотно зростає ефективність мінеральних добрив: у посівах конюшини - в 1,5 рази, пшениці озимої та жита озимого - у 2 рази, ячменю - в 1,8 разів [17].

У дерново-підзолистих ґрунтах із підвищеною кислотністю відбувається також накопичення обмінного алюмінію, рухомість якого в умовах нейтрального середовища мізерно мала. Для рослин не так шкідлива концентрація водневих іонів у ґрунтовому розчині, як надлишок алюмінію, що утворюється в цих умовах та чинить негативний вплив на ріст кореневої системи, знижує рухливість фосфатів і доступність для рослин молібдену. Підвищення вмісту рухомого алюмінію на 1 мг призводить до зниження врожайності озимої пшениці на 4,4%, ярого ячменю на 4,7, кормових буряків - на 5,8%.

Наявність у поглинальному комплексі алюмінію за різного гранулометричного складу ґрунтів і різної гідролітичної кислотності вимагає суворо диференційованого підходу під час розроблення проектно-кошторисної документації на вапнування кислих ґрунтів. Дані агрохімічного обстеження орних ґрунтів Житомирської області свідчать про те, що їхня кислотність у період 2019-2022 рр. стабілізувалася за середньозваженої величини рН 5,8 (табл. 3.1).

**Динаміка кислотності орних ґрунтів Житомирської області,
у % від обстеженої площі**

Рік	Обстежена площа, тис. га	Групування ґрунтів за кислотністю, рН _{КСІ}					Середньозважений показник рН _{КСІ}
		сильно-кислі, менше 4,5	середні кислі, 4,5 – 5,0	слабокислі, 5,1-5,5	наближена до нейтральної, понад 6,0	нейтральні, понад 6,0	
2019	1184	3,4	14,6	36,0	32,0	13,7	5,5
2020	1143	2,1	8,1	27,5	38,3	23,5	5,6
2021	889	2,0	5,7	16,4	31,1	44,3	5,8
2022	875	1,8	6,6	19,6	35,5	36,0	5,8

Практично не змінилося і співвідношення площ ґрунтів із різною кислотністю.

Частка орних земель з рН менше 5,5 не перевищила 24-28%.

Такий режим ґрунтової кислотності можна було б визнати задовільним, розраховуючи на прийнятний рівень її й надалі та покладаючись на післядію високих доз вапна, внесених у попередній період, яка може проявлятися протягом 10 і більше років. Однак малі масштаби вапнування ґрунтів останніми роками не дають підстав для такого оптимістичного прогнозу.

3.2. Азотний режим дерново-підзолистих ґрунтів та ефективність азотних добрив

Дерново-підзолисті ґрунти слабо забезпечені азотом, загальний вміст якого в орному шарі суглинків становить 0,10-0,16%, супісків і піщаних різновидів - 0,08-0,13% і 0,07-0,10% [1, 27]. На 93-95% ґрунтовий азот представлений органічними сполуками, що входять до складу гумусу, рослинних і тваринних решток, мікроорганізмів. У складі органічного азоту дерново-підзолистих ґрунтів переважає негідролізована фракція, на частку якої припадає від 70 до 85% загального азоту. Кількість важко гідролізованого і легко гідролізованого азоту невелика - відповідно 9-11% і 6-12%. Вміст мінеральних азотних сполук, які є безпосереднім джерелом азотного живлення рослин, становить не більше 1-3% від загальних запасів азоту в ґрунті.

На окультурених, добре аерованих ґрунтах зі слабо кислою і нейтральною реакцією середовища створюються оптимальні умови для нітрифікації й амоній

швидко перетворюється на нітрати. Дефіцит вологи (45%) має менший негативний вплив на перебіг процесу нітрифікації, ніж її надлишок.

Поряд із низхідною міграцією нітратів, спостерігається висхідне їхнє пересування профілем ґрунту, що викликається підтягуванням вологи і вимитих нітратів до фронту його промерзання [15]. Під впливом тривалої взаємодії цих протилежно спрямованих потоків вологи і засвоєння нітратів рослинами переважно з верхнього горизонту ґрунту в товщі 40-160 см формується глибокоґрунтовий нітратний максимум, що є джерелом азотного живлення для наступних культур сівозміни. Ці дані свідчать про необхідність враховувати запаси мінерального азоту не лише в орному, а й нижчих горизонтах ґрунту для діагностики забезпеченості рослин засвоюваним азотом.

Зразки ґрунту відбирали пошарово з горизонтів 0-30, 30-60 та 60-90 см при відновленні весняної вегетації посівів. Встановлено, що близько половини запасів мінерального азоту в ґрунтовому профілі були представлені нітратами. Вміст його в товщі 0-90 см змінювався в межах від 30 до 360 кг/га, характеризуючи різний ступінь забезпеченості озимих злаків засвоюваним азотом.

Розподіл нітратного й амонійного азоту за горизонтами ґрунту 0-30, 30-60 і 60-90 см був досить рівномірним і становив відповідно 33, 32 і 35% від сумарної кількості. Отримані дані дали змогу скоригувати дози азотного підживлення і тим самим підвищити ефективність азотних добрив у господарствах.

Важливим фактором підвищення ефективності азотних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах є також визначення їх оптимальних доз внесення під сільськогосподарські культури з урахуванням попередників у сівозміні, строків проведення азотного підживлення, ступеня збалансованості азоту з іншими елементами живлення і насамперед із фосфором.

У польових дослідах, проведених на середньо суглинкових дерново-підзолистих ґрунтах в ланці сівозміни вико-вівсяна суміш, озима пшениця, ячмінь, картопля, нами вивчено ефективність азотного добрива залежно від забезпеченості ґрунту фосфором (таблиця 3.2).

**Ефективність застосування азотних добрив у посівах
зернових культур і картоплі на середньо суглинкових дерново-
підзолистих ґрунтах з різною забезпеченістю рухомим фосфором**

Варіант досліджу	Природний фон			Фон-		
	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% білку в зерні, крохмалю в бульбі	урожай, ц/га	прибавка, ц/га	% білку в зерні, крохмалю в бульбі
Озима пшениця						
Контроль (б/д)	12,7	-	9,12	19,1	-	9,72
P ₆₀ K ₆₀	15,2	2,4	9,22	20,2	1,0	9,84
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	22,1	9,3	9,88	28,3	9,1	9,82
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	25,0	12,2	10,39	32,0	12,8	10,43
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	25,8	13,0	10,37	36,8	17,6	11,55
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	26,7	14,0	10,04	39,0	19,8	10,92
НІР _{0,5} ц/га		1,7			2,5	
Ячмінь						
Контроль (б/д)	14,0	-	10,82	19,0	-	11,53
P ₆₀ K ₆₀	17,4	3,4	11,64	20,3	1,2	11,43
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	20,0	6,0	11,34	24,5	5,4	11,63
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	21,4	7,4	11,63	25,1	6,0	11,64
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	22,2	8,2	11,67	27,1	8,0	12,04
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	21,6	7,6	11,66	27,2	8,1	12,16
НІР _{0,5} ц/га		3,6			2,4	
Картопля						
Контроль (б/д)	78	-	16,44	137	-	15,41
P ₆₀ K ₆₀	91	12	15,45	145	8	15,75
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	119	40	15,77	187	49	15,85
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	139	60	15,89	216	78	16,08
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	148	69	15,31	245	107	16,16
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	146	67	15,10	251	113	15,60
НІР _{0,5} ц/га		12			31	

Початковий вміст рухомих фосфатів у ґрунті становив 23 мг/кг, найвищий фосфатний рівень (P₂O₅ 360 мг/кг) створювали шляхом разового внесення під вівсяну суміш 600 кг/га P₂O₅ у вигляді суперфосфату.

Дослідження показали, що позитивна дія високих доз азоту (120, 150 кг/га) на продуктивність пшениці озимої посилювалася при використанні азоту (120 і 150 кг/га) на продуктивність пшениці озимої посилювалася за використання їх на фоні запасного внесення фосфору. Меншою мірою такий взаємозв'язок проявлявся в разі застосування помірної кількості азотних добрив під цю культуру (60 і 90 кг N на га). На відміну від пшениці озимої, посіви ячменю слабкіше реагували на внесення азотних добрив, ефективність якого була практично однакова як на фоні дуже низької забезпеченості рухомим фосфором, так і на фоні запасного внесення 600 кг/га P_2O_5 . Останнє, очевидно, пов'язане з відомою здатністю ячменю задовольняти потребу у фосфорі навіть за дуже низького вмісту рухомих фосфатів у ґрунті, слабо реагуючи на фосфорне добриво.

Найбільш тісна взаємодія азотного і фосфорного добрив спостерігалася в посівах картоплі. Прибавка врожаю бульб від внесення азоту становили: за низької забезпеченості фосфором - 28-57 ц/га, за більш високої - 42-106 ц/га. У міру підвищення рівня азотного живлення рослин на ґрунті з гострим дефіцитом фосфору відзначено зниження вмісту крохмалю в бульбах картоплі. Цього не спостерігалось в разі застосування зростаючих доз азотного добрива в поєднанні із запасним внесенням фосфорного добрива. Це свідчить про те, що за даних умов досягнуто оптимальної збалансованості живлення рослин азотом і фосфором.

Високу позитивну дію азотного добрива виявлено також у польових дослідах з кукурудзою на добре окультуреному дерново-підзолистому ґрунті (гумус - 2,6%, рухомий фосфор - 21,8 мг/100 г) та з багаторічними злаковими травами на середньо окультуреному ґрунті (гумус - 2,0%, рухомий фосфор - 7,5 мг/100 г). Застосування зростаючих доз азоту (120, 150, 180, 210 кг/га) на фоні $P_{120}K_{120}$ забезпечувало зростання врожаю цієї культури на 114-213 ц/га за збільшення вмісту сирого протеїну в біомасі з 11,37 до 12,71-13,26%. Під впливом 90, 120, 150 і 180 кг/га азоту, використаного на фоні $P_{60}K_{60}$, продуктивність сіна трав зростала на 19,2-22,8 ц/га, а вміст сирого протеїну - з 14,2 до 15,5-17,2%. Таким чином, ефективність азотного добрива на дерново-підзолистих ґрунтах залежала від ступеня їхньої окультуреності та зростала в міру підвищення фосфатного рівня ґрунту.

3.3. Фосфатний режим дерново-підзолистих ґрунтів та ефективність фосфорних добрив

Дерново-підзолисті ґрунти бідні на фосфор, запаси його в орному шарі в більшості випадків не перевищують 2-3 т/га, у метровій товщі - 7-8 т/га [4, 8, 11]. Сорбційний зв'язок фосфатів із ґрунтовим поглинальним комплексом посилюється зі зменшенням рН, тому доступність їх для рослин знижується за підкислення дерново-підзолистого ґрунту. Оптимальний вміст рухомих фосфатів у ґрунті для зернових культур і картоплі становить 100-150 мг/кг. У міру зниження фосфатного рівня ґрунту відносно оптимуму збільшується потреба рослин у фосфорних добривах.

Доступність рослинам ґрунтових фосфатів багато в чому залежить також від стану супутніх чинників, таких як водний, температурний режими і забезпеченість азотом. Дефіцит вологи в ґрунті сильно обмежує надходження фосфору в рослини внаслідок зменшення кількості точок дотику кореня з водяними плівками, що оточують ґрунтові частинки і містять розчинений фосфор. При цьому має значення і збільшення концентрації ґрунтового розчину внаслідок висушування ґрунту, що призводить до закріплення фосфору у важкорозчинний стан. Рухливість фосфору і доступність його рослинам помітно знижуються також в умовах нестачі тепла. При зміні температури з +20 до +10°C швидкість переходу фосфатів заліза та алюмінію з ґрунту в розчин знижується в чотири рази. Доступність фосфору рослинам і ефективність фосфорних добрив підвищуються в міру посилення рівня азотного живлення рослин.

Результати агрохімічного обстеження ґрунтів Житомирської області показують (табл. 3.5), що середньозважений вміст рухомих фосфатів у ґрунтах цього регіону зріс із 80 до 224 мг/кг, а частка орних земель з підвищеною, високою і дуже високою забезпеченістю цим елементом живлення (понад 100 мг/кг) збільшилася з 14,3 до 91,3%. Разом з тим, слід зазначити, що в умовах різкого зниження рівня застосування фосфорних добрив в аграрному секторі цього регіону, (у 2019-2022 рр. до ґрунту надходило щорічно всього 4-7 кг/га P_2O_5) складався дефіцитний баланс фосфору в агроекосистемах, що в майбутньому може призвести до погіршення фосфатного стану ґрунтів.

Тому необхідно відновити постачання фосфорних добрив господарствам області в розмірах, що забезпечують, щонайменше, стабілізацію фосфатного рівня ґрунтів, досягнутого завдяки інтенсивній хімізації землеробства в попередні роки.

Таблиця 3.3

**Динаміка вмісту рухомих фосфатів в орних ґрунтах
Житомирської області, у % від обстеженої площі**

Рік	Обстежена площа, тис. га	Середньозважений вміст, мг-екв. на 100 г ґрунту	Групування ґрунтів за вмістом, мг-екв на 100 г ґрунту					
			дуже низький до 25	низький, 26-50	середній, 51 – 100	підвищений, 101 – 150	високий, 151 – 250	дуже високий, понад 250
2019	1185	178	0,5	2,8	17,3	23,4	31,0	24,5
2020	1143	207	0,4	1,4	8,7	19,4	33,0	20,7
2021	889	210	0,2	1,5	9,4	15,1	37,0	36,2
2022	875	213	0,1	1,0	7,4	15,5	32,8	42,7

Про високу ефективність прямої дії та післядії фосфорних добрив на дерново-підзолистих ґрунтах, слабо забезпечених рухомими фосфатами, свідчать дані багаторічних стаціонарних дослідів (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

Ефективність застосування добрив на дерново-підзолистому супіщаному ґрунті з різним вмістом рухомого фосфору

Варіант досліджу	Врожайність, ц/га			Загальна продуктивність ланки сівозміни, ц/га	
	озима пшениця	картопля	ячмінь	загальна	прибавка від добрив
P₂O₅ мг/кг в ґрунті – 36-60					
Без добрив	9,7	84	21,2	67,5	-
N ₂₄₀ P ₁₈₀	25,5	108	20,6	99,6	32,0
N ₂₄₀ K ₂₆₀	19,8	103	23,0	98,8	31,2
P ₁₈₀ K ₂₆₀	25,4	95	22,7	100,3	32,7
N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₂₆₀	25,3	106	24,1	108,3	40,7
P₂O₅ мг/кг в ґрунті – 111-136					
Без добрив	36,1	96	22,1	120,5	-

N ₂₄₀ P ₁₈₀	37,5	102	22,4	118,0	-1,5
N ₂₄₀ K ₂₆₀	40,0	132	22,5	138,2	17,6
P ₁₈₀ K ₂₆₀	35,0	112	22,0	124,5	4,0
N ₂₄₀ P ₁₈₀ K ₂₆₀	39,7	113	28,6	132,5	11,5

Вивчення порівняльної ефективності запасного та щорічного внесення еквівалентної кількості фосфорних добрив у 6-польній сівоzmіні на дерново-підзолистих ґрунтах (300 і 600 кг/га P₂O₅) виявило практично однаковий їхній вплив на продуктивність вирощуваних культур. Останнє свідчить про високу післядію фосфорних добрив, що не поступається прямій їхній дії, що необхідно враховувати при оцінці загальної ефективності внесеного в сівоzmіні фосфору.

Не можна недооцінювати важливості такого дієвого прийому на фосфатний режим дерново-підзолистих ґрунтів як фосфоритування ґрунтів. Фосфоритне борошно підвищує вміст кислотного розчинного фосфору в ґрунті. При цьому, чим більша доза добрива, тим значніший вміст рухомого фосфору в ґрунті. Навіть одноразові застосування фосфоритного борошна в дозах 1,5-2,5 т забезпечує сильну та тривалу післядію.

3.4. Мікроелементи в дерново-підзолистих ґрунтах

Дерново-підзолисті ґрунти часто слабо забезпечені деякими мікроелементами, такими як залізо, бор, цинк, молібден, кобальт тощо [6]. Сільськогосподарські культури, що вирощуються на цих ґрунтах, рідше відчують потребу в марганці та міді. Значна частина орних земель Житомирської області має високий рівень вмісту в орному шарі рухомого марганцю (84%) і міді (60%). Низьку забезпеченість цинком мають 78% усіх площ, середню і низьку забезпеченість молібденом - 85,7%, кобальтом - 63,6%, бором - 49,8% (табл. 3.5).

Таблиця 3.5

Забезпеченість орних земель Житомирської області деякими мікроелементами (станом на 01.01. 2022 р.)

Мікроелемент	Рівень забезпечення					
	низький		середній		високий	
	мг/кг	%	мг/кг	%	мг/кг	%
B	<0,32	7,3	0,33-0,70	42,3	>0,70	50,1
Mo	<0,10	8,6	0,10-0,21	77,0	>0,22	14,3

Cu	<1,49	5,0	1,50-3,29	35,0	>3,30	60,0
Zn	<2,0	78,0	2,00-5,00	17,1	>5,00	4,6
Co	<1,0	8,6	1,00-2,19	54,8	>2,20	36,2
Mn	<29,0	1,3	30-70	15,0	>70,0	84,0

Забезпеченість ґрунтів мікроелементами значною мірою залежить від ступеня їхньої окультуреності, зокрема від вмісту гумусу та кислотності. Так, зі збільшенням гумусу зростає вміст бору та міді, на сильнокислих і кислих ґрунтах вміст доступного для рослин бору та міді збільшується, а на вапнованих нейтральних і слаболужних - знижується. Лужна реакція сприяє посиленню рухомості молібдену, марганцю, водночас у кислому середовищі відбувається перехід цих елементів у менш рухомі та важкодоступні для рослин сполуки. Наявність значної частки площ із підвищеним вмістом фосфору, передбачає застосування мікродобрив, і, в першу чергу цинкових, оскільки високий вміст фосфору блокує надходження цинку в рослини.

Порівняно з 2019 р. площі з низьким вмістом усіх мікроелементів у 2021 р. знизилися, особливо за рухомим цинком і кобальтом, але у 2022 р. вони знову зросли. Так відсоток вмісту площ із низьким вмістом бору зріс з 5,4% до 14,3%, молібдену - з 4,3 до 17,1%; міді - з 4,4 до 13,8%; марганцю - з 0,5 до 13,2; цинку - з 53,7 до 61,1% і кобальту - з 22,1 до 30,6%. Така ж закономірність простежується при порівнянні площ із низьким середнім вмістом мікроелементів: за бором таких площ стало більше на 3,3%; за молібденом - на 4,7%; по міді - на 8,8%; цинку - на 1,1%; по кобальту - на 2,1% і по марганцю - на 14,1%. Зменшилися і середньозважені показники вмісту рухомих мікроелементів. Прийнято вважати, що для середньоєвропейських умов з усіх мікроелементів бору належить найбільше практичне значення. Потреба в ньому особливо висока на легких дерново-підзолистих ґрунтах у разі їх вапнування. Як показали дослідження, на ґрунтах середньо- і важкосуглинкового гранулометричного складу із вмістом рухомого бору 0,22-0,30 мг/кг спостерігалася слабка реакція рослин на внесення борного добрива. Певний позитивний ефект від посилення живлення рослин бором спостерігався лише в посівах горохо-вівсяної суміші, що забезпечило підвищення врожаю зеленої маси з 95 до 106 ц/га. У таблиці 3.5 представлено динаміку зміни рухомих форм мікроелементів у ріллі Житомирської області за період з 2020 по 2022 рр.

**Зміна вмісту рухомих форм мікроелементів
у дерново-підзолистих ґрунтах, % від обстеженої площі**

Рік	Обстежена площа, га	Групи за вмістом мікроелементів, мг/кг				Середньозваже ний показник, мг/кг
		Бор				
		низький, <0,33	середній, 0,33-0,7	високий, >0,7	сума низьк.+сер	
2020	987191	9,6	40,7	49,4	50,4	0,79
2021	330039	5,3	52,4	42,0	57,8	0,75
2022	717081	14,2	46,8	38,7	61,1	0,68
Молібден						
		низький, <0,1	середній, 0,1 – 0,22	високий >0,22	сума, низьк.+сер	
2020	999228	9,5	76,4	13,8	86,0	0,20
2021	329650	4,2	74,0	21,6	78,2	0,18
2022	716901	17,0	65,8	16,9	83,0	0,16
Мідь						
		низький, <1,5	середній, 1,5 – 3,3	високий >3,3	сума, низьк.+сер	
2020	989527	7,0	37,3	55,5	44,3	4,39
2021	330286	4,3	38,7	56,7	43,1	4,42
2022	717319	13,7	38,3	47,8	52,0	3,79
Цинк						
		низький, <2,0	середній, 2,1 – 5,0	високий >5,0	сума, низьк.+сер	
2020	955022	78,0	16,7	5,0	94,8	2,92
2021	327104	53,6	38,6	7,5	92,3	2,78
2022	715770	61,0	32,4	6,4	93,4	2,49
Кобальт						
		низький, <0,1	середній, 0,1 – 0,22	високий >0,22	сума, низьк.+сер	
2020	943314	9,8	57,7	32,2	67,6	1,57
2021	320439	22,0	65,0	12,8	87,0	1,56
2022	717305	30,5	58,5	10,7	89,1	1,39
Марганець						
		низький, <0,1	середній, 0,1 – 0,22	високий >0,22	сума, низьк.+сер	
2020	941074	1,0	14,7	84,0	15,8	
2021	330179	0,4	40,2	59,1	40,7	84,0
2022	717320	13,1	41,6	45,0	54,8	70,0

3.5. Екологічний стан дерново-підзолистих ґрунтів

Фітотоксичність важких металів. Ґрунтовий покрив Житомирської області з розвиненим промисловим виробництвом і широкою автодорожньою мережею схильний до сильного забруднення важкими металами [18]. Сумарний викид техногенних речовин промисловими підприємствами області сягає 440-530 тис. т. Істотним джерелом забруднення ґрунтів цього регіону важкими металами є неконтрольоване застосування стічних вод у вигляді добрив. Незначна кількість їх міститься в мінеральних добривах та вапні. Розрахунки показали, що в середньому на гектар орних земель у районі щорічно надходить така кількість важких металів (у грамах): Cd - 16-53, Pb - 97-197, Cr - 106-526, Ni - 113-245, Si - 36-427, Zn - 192-1050. Такий рівень забруднення території області важкими металами не призвів до накопичення їх ґрунтами в концентраціях, що перевищують ГДК.

Вміст кадмію вище ГДК виявлено на площі 2,3 тис.га, що становить 0,28% від обстеженої площі, свинцю на площі 2,2 тис.га або 0,28% від обстеженої площі, міді на площі 1 тис.га - 0,11%; нікелю на площі 0,08 тис. га - 0,02%, фтору на площі 0,65 тис. га або 0,07%. Вміст цинку та ртуті в обстежених ґрунтах області не перевищує ГДК (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

**Вміст важких металів у дерново-підзолистих ґрунтах
(станом на 01.01.2022 р.)**

ВМ	Обстежена площа, га	Розподіл обстеженої площі за групами вмісту важких металів							
		менше 0,5 ГДК		від 0,5 до 1,0 ГДК		перевищує 1 ГДК			
						всього		в т.ч. 1,5 ГДК	
		га	%	га	%	га	%	га	%
Кадмій	906	896	99,0	6,6	0,6	1,4	0,2	0,7	0,08
Свинець	906	872	96,3	30,3	3,2	1,5	0,2	0,5	0,06
Цинк	906	894	98,6	11,1	1,1	0,0	0,0	0,0	0,0
Мідь	906	900	99,2	5,0	0,5	0,6	0,6	0,2	0,04
Нікель	846	846	99,8	0,1	0,0	0,1	0	0	0
Ртуть	52,6	51	99,6	0,1	0,2	0,0	0	0	0
Фтор	794	772	97,2	20,7	2,5	0,5	0,1	0,1	0,01

Забруднення ґрунтів має локальний характер і охоплює, як правило, території з високою концентрацією промислових підприємств і землями з ненормованим

використанням осадів стічних вод. В інших випадках відсутність суттєвого забруднення ґрунтів важкими металами свідчить про досить високу буферну спроможність агроєкосистем, що зумовлено інтенсивним застосуванням агрохімічних засобів, що дало змогу суттєво знизити ґрунтову кислотність, стабілізувати гумусний стан і поживний режим ґрунтів на високому рівні. Саме ці чинники ґрунтової родючості вирішальною мірою обмежують рухомість важких металів у ґрунті та прояв їхньої фітотоксичності.

Це положення підтверджується результатами досліджень щодо накопичення важких металів сільськогосподарськими культурами за умови вирощуванні їх на забруднених цими токсикантами ґрунтах. Як індикатори забруднення ґрунтів обрано 6 елементів - кадмій, свинець, нікель, хром, мідь і цинк. Встановлено, що близько 90% ґрунтів виробничих ділянок характеризуються високим рівнем забруднення кадмієм, цинком і міддю, рідше - нікелем і хромом. Найнебезпечнішими елементами є кадмій і свинець, вміст яких у ґрунті в рухомій формі вже на рівні 0,2-0,3 ГДК токсичний для більшості сільськогосподарських культур.

Водночас цинк і особливо мідь не накопичуються рослинами в токсичних концентраціях, незважаючи на багаторазове перевищення вмісту їх рухомих сполук у ґрунті відносно ГДК. Хром і нікель займають у цьому відношенні проміжне становище. Виявлено групи сільськогосподарських культур, що характеризуються різною стійкістю до забруднення важкими металами: стійкі - плодово-ягідні, багаторічні трави та кормові буряки; середньо - стійкі - картопля, кукурудза, морква, кабачки, пізня капуста; схильні до забруднення - листові овочеві культури, рання і цвітна капуста, столовий буряк, редис і ріпа. Отримані дані дали змогу поділити орні землі, забруднені важкими металами, за ступенем придатності їх до вирощування культурних рослин на три категорії: землі, що не є небезпечними для всіх культур, з умістом рухомих форм (мг/кг) - Cd менш як 0,2, Pb менш як 1,0, Ni менш як 1,0, Cr менше ніж 0,8, Zn менше ніж 46; землі, небезпечні для всіх культур із вмістом Cd понад 6 мг/кг; землі, обмежено небезпечні, придатні для вирощування овочевих культур (капуста, морква, буряк, редиска) з умістом: Cd менш як 1,0, Pb менш як 2,0, Cr менш як 6,0, Ni менш як 7,5, Zn менше 146 мг/кг ґрунту.

3.6. Фіторе mediaційна здатність гірчиці сарептської та ячменю звичайного по відношенню до міді, свинцю та кадмію

Динаміку акумулюючої здатності гірчиці сарептської щодо цинку і міді за поліелементного забруднення відображають дані, викладені в таблиці 3.7. Варто зауважити, що вміст ВМ у пагонах і коренях гірчиці за поліелементного забруднення достовірно вищий, ніж за моноелементного ($P=0.05$).

Таблиця 3.7

Залежність вмісту цинку та міді в органах рослини від ступеня забруднення ґрунту при поліелементному забрудненні, зміна транслокаційного фактору (ТФ) рослин

Рослина	ВМ	Орган рослини	Доза забруднення ґрунтів, ГДК			НІР ₀₅
			Фон	1 ГДК	2 ГДК	
Гірчиця сарептська	Cu	пагін	4,6±0,04	47,4±0,1	20,2±0,1	0,80
		корені	6,1±0,05	34,1±0,3	53,3±0,3	0,86
		ТФ	0,7	1,3	0,3	0,03
	Zn	пагін	31,3±0,20	120,5±0,5	87,3±0,2	0,35
		корені	31,2±0,08	63,5±0,2	135,2±0,3	0,82
		ТФ	1,0	1,8	0,5	0,01
Ячмінь звичайний	Cu	пагін	2,6±0,05	7,8±0,1	6,4±0,07	1,21
		корені	4,0±0,02	12,2±0,1	9,3±0,1	0,90
		ТФ	0,5	0,5	0,6	0,07
	Zn	пагін	10,0±0,17	66,2±0,1	46,1±0,3	1,27
		корені	13,4±0,20	89,5±0,1	67,1±0,3	1,13
		ТФ	0,7	0,6	0,6	0,04

Максимальний вміст Zn у пагонах гірчиці встановлено у варіанті досліду з дозою 1 ГДК одночасного забруднення цинком і міддю (110 і 66 мг/кг). Він становив 120 мг/кг, що в 3,9 рази вище за цей показника на контролі і в 2,6 рази вище, ніж у варіанті досліду за моноелементного забруднення ґрунту цинком дозою 1 ГДК. У цьому ж варіанті досліду зафіксовано максимальний вміст Cu в пагонах гірчиці - 47 мг/кг, що в 10 разів вище за цей показник на контролі та в 3,6 рази вище, ніж за моноелементного забруднення ґрунту міддю дозою 1 ГДК.

У варіанті досліду з рівнем забруднення 2 ГДК (Zn+Cu) спостерігався максимум вмісту ВМ у кореневій системі гірчиці сарептської. Для цинку він становив 135 мг/кг, для міді - 53 мг/кг, що в 4,3 і 8,5 рази вище, ніж на контролі та у 2,5 і 3,1 рази вище,

ніж у варіантах досліді з моноелементним забрудненням ґрунту (2 ГДК Zn і 2 ГДК Cu - роздільне внесення).

Акумуляція міді ячменем звичайним при поліелементному забруднення ґрунту аналогічна такій за моноелементного забруднення. Вміст міді в пагонах і коренях ячменю, вирощеного на ґрунті з полізабрудненням ВМ, мають схожі значення з рослинами ячменю, вирощеними на ґрунті з монозабруднювачем міддю.

Вміст цинку в коренях і пагонах ячменю за підвищення рівня забруднення ґрунту від 1 до 2 ГДК помітно знижується, але загалом накопичення металу органами ячменю за невисокого рівня поліелементного забруднення ґрунту вище, ніж за аналогічного моноелементного забруднення ґрунту вище, ніж за аналогічного моноелементного.

Максимум вмісту цинку в коренях і пагонах ячменю відзначено у варіанті досліді з дозою окремо внесеного цинку 1 100 мг/кг, він дорівнював 390 і 121 мг/кг, що в 29,7 і 12,1 рази вище, ніж на контролі. Найвища концентрація міді в коренях ячменю - у 3,04 рази вища за контрольні зразки і в 1,2 рази вища, ніж за моноелементного забруднення міддю - спостерігалася у варіанті досліді за одночасного забруднення цинком і міддю дозами 10 ГДК. У цьому ж варіанті досліді відмічено найвищу концентрацію Cu в пагонах ячменю звичайного - 7,9 мг/кг, що в 2,9 рази вище, ніж на контролі.

При збільшенні концентрації ВМ у ґрунті від 1 ГДК до 2 ГДК у гірчиці сарептської спостерігається зниження міграції ВМ з коренів у пагони. Вміст і міді, і цинку в коренях рослин помітно вищий, ніж у пагонах. Мабуть, концентрації забруднювачів, за яких відбувається гальмування їх транспорту в пагони, є порогоми токсичності для досліджуваних рослин. Цей ефект зумовлений активацією фізіологічних бар'єрів, що знаходяться на межі «корінь-пагін». У рослин ячменю швидкість транспорту цинку та міді залишається незмінною при зростанні концентрацій металів у ґрунті від фону до 2 ГДК.

ВИСНОВКИ

1. Здатність дерново-підзолистих ґрунтів здійснювати екологічні функції, що полягають у забезпеченні формування високої та стійкої продуктивності культурних рослин, адаптації посівів до несприятливих кліматичних чинників, токсичного впливу забруднювальних речовин і фітопатогенної мікрофлори вирішальною мірою визначається рівнем їхньої родючості. Такими функціями володіють тільки високородючі ґрунти, багаті на гумус, елементами мінерального живлення і характеризуються сприятливими фізико-хімічними та біологічними властивостями.

2. На основі великомасштабного систематичного агрохімічного обстеження за 36-річний період дано комплексну оцінку агрохімічного обстеження за 36-річний період дано комплексну оцінку агрохімічного та екологічного стану дерново-підзолистих ґрунтів Житомирської області за періодами розвитку хімізації сільського господарства. Простежено динаміку зміни основних показників родючості залежно від рівня застосування добрив і хімічних меліорантів. Загальною характеристикою для дерново-підзолистих ґрунтів є відносно низький рівень родючості. Особливо це стосується гумусу, низький вміст якого відзначено на 42,5% площі ріллі. Середньозважений його показник порівняно з 1987 р. знизився на 0,23%.

3. Регулювання кислотності дерново-підзолистих ґрунтів в оптимальних межах (pH_{KCl} близько 6,0) за допомогою періодичного вапнування є визначальною умовою нормального перебігу фізико-хімічних і біологічних ґрунтових процесів і забезпечення збалансованого рівня кореневого живлення рослин макро- та мікроелементами за систематичного внесення добрив в агрофітоценозах. В останні роки (1998-2002 рр.) за рахунок післядії раніше внесених високих доз вапняних матеріалів, середньозважена величина кислотності ґрунту в орних землях регіону стабілізувалася на рівні pH 5,8, а частка площ із pH менш як 5,5% становила 27%. У зв'язку з припиненням робіт із вапнування, у найближчій перспективі можна прогнозувати суттєве збільшення площ ґрунтів із підвищеною кислотністю.

4. Однією з вирішальних умов високопродуктивного та сталого функціонування агроєкосистем на дерново-підзолистих ґрунтах є функціонування агроєкосистем на дерново-підзолистих ґрунтах є достатня забезпеченість їх

рухомими фосфатами, вміст яких в орному шарі слід підтримувати щонайменше на рівні IV групи забезпеченості (101-150 мг P₂O₅ на кг ґрунту). Частка площ орних земель із таким фосфатним і більше рівнем у Житомирській області за останні 10 років становить 74-91% за середньозваженої величини цього показника 210 мг/кг. Зростання площ ґрунтів VI групи забезпеченості рухомим фосфором (P₂O₅ понад 250 мг/кг), тобто з дуже високим вмістом рухомого фосфору, спричинене відчуженням із сільськогосподарського використання близько 270 тис. га земель, як правило, з низьким рівнем родючості.

5. Серед чинників, що забезпечують ефективне використання фосфорних добрив, є вихідна забезпеченість ґрунтів рухомими фосфатами, гідротермічні умови вегетаційного періоду, ступінь збалансованості з іншими елементами живлення, насамперед із збалансованості з іншими елементами живлення і, насамперед, з азотом, масштаби і тривалість післядії раніше внесених фосфатів, зокрема й фосфоритного борошна. Його застосування в разових дозах 1,5-2,5 т/га дає змогу зберегти високий фосфатний рівень дерново-підзолистих ґрунтів на тривалий період.

6. Дефіцитними мікроелементами в ґрунтах Житомирської області є цинк, молібден, кобальт і бор. У тривалому польовому досліді на добре окультурених ґрунтах із середньою забезпеченістю рухомими формами молібдену і цинку та низьким вмістом рухомого бору найвищу позитивну дію на врожай бобово-злакових трав та озимої пшениці чинив молібден і кобальт, а борне добриво не впливало на продуктивність посівів.

7. Обстеження орних земель і рослинної продукції різних груп культур (овочевих, кормових, плодово-ягідних) на вміст важких металів показало, що найбільшу небезпеку становить забруднення дерново-підзолистих ґрунтів кадмієм і свинцем. Водночас цинк і мідь не накопичуються рослинами в токсичних концентраціях, незважаючи на багаторазове перевищення вмісту їх у ґрунті відносно ГДК. Найбільш стійкими до токсичного накопичення важких металів є плодово-ягідні культури, багаторічні трави та кормові буряки. Сильно схильні до до засмічення ними листові овочеві, рання та цвітна капуста, столові буряки, редис. Вирощування сільськогосподарських культур на ґрунтах, що мають оптимальну кислотність,

високий вміст гумусу та достатню забезпеченість елементами мінерального живлення, дає змогу суттєво обмежити накопичення важких металів рослинами та знизити їхню фітотоксичність.

8. При вирощуванні на забрудненому цинком ґрунті (1100 мг/кг) гірчиці сарептської встановлено, що максимальний вміст у надземній частині рослини становив $360,3 \pm 0,5$ мг/кг, а в ячменю за такого ж рівня забруднення - $326,3 \pm 0,5$ мг/кг.

9. Встановлено, що ремедіаційна здатність ячменю у зв'язку з його вищою високою продуктивністю достовірно вища, ніж у класичного фіторемедіатора.

10. Для рослин ячменю характерне зниження міграції цинку від кореневої системи до плоду (зернівки); при дозах забруднення ґрунтів 110 і 220 мг/кг вміст цинку в плодах не перевищує ГДК для зерна.

ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

Для отримання нормативно чистої та якісної рослинницької продукції необхідно вести постійне спостереження і контроль за вмістом і трансформацією важких металів та інших токсикантів у ґрунтах і рослинах, і в разі перевищень 0,5 ГДК, необхідно проводити такі агроекологічні заходи: вапнування - у дозах, що забезпечують доведення рН ґрунту до рівня 6,5-6,7; внесення органічних добрив - у максимально можливих дозах з урахуванням потреби сільгоспкультур в азоті; застосування фосфорних добрив - на ґрунтах зі зниженим вмістом рухомих фосфатів.

СПИСОК 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 зрошуваного 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 едафотопях 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.