

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра екології та
охорони довкілля

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: АНАЛІЗ СУЧАСНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ
СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ УГІДЬ ЗАКАРПАТТЯ

Виконав студент 2 курсу групи
МЕЕБ- 61 спеціальності 101 –
Екологія
Ніколішин Владислав Олегович

Керівник к.геогр.н., доц.
Ільїна Валентина Григорівна

Рецензент д.геогр.н., проф.
Польовий Анатолій Миколайович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра екології та охорони довкілля
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 101 – Екологія
Освітньо-професійна програма Охорона навколишнього середовища
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри екології та охорони
довкілля
Сафранов Т.А.
“___” _____ 20__20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Ніколішина Владислава Олеговича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь Закарпаття

керівник роботи Льїна В.Г., к.геогр.н., доц.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “05” жовтня 2018 р. № 271-”С”

2. Строк подання студентом роботи 10 грудня 2018 року

3. Вихідні дані до роботи Вміст мінеральних(фосфорних, калійних та азотних) та органічних добрив, гумусу та важких металів у ґрунтах Закарпаття за 2015 -2019 роки. Агрохімічні характеристики ґрунтів сільськогосподарського призначення.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

- визначити основні агрохімічні характеристики ґрунтів сільськогосподарського призначення;

- виконати оцінку сучасного еколого – агрохімічного стану агроценозів Закарпаття;

- визначити особливості використання мінеральних та органічних добрив для умов Закарпаття.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Показники вмісту азоту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.
Показники вмісту P_2O_5 у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.
Показники вмісту K_2O у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

області.Показники вмісту Ph у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники вмісту S у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники вмісту Mg у ґрунтах деяких районів Закарпатської області. Вміст гумусу в ґрунтах Іршавського району. Вміст гумусу в ґрунтах Ужгородського району. Вміст азоту у ґрунтах Іршавського району.Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих форм свинцю Іршавського району.Характеристика ґрунтів за гідролітичною кислотністю Іршавського району.Характеристика ґрунтів за гідролітичною кислотністю Ужгородського району.Показники вмісту Si у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники вмісту Zn у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники вмісту Co у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники гідробіологічного вмісту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Показники вмісту Cd у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.Вміст Zn у рослинницькій продукції.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	Завдання прийняв
	<i>немає</i>		

7. Дата видачі завдання 29 жовтня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	<i>Оцінка сучасного стану забруднення ґрунтів Закарпаття важкими металами</i>	29.10.18- 02.11.18	90,0	5,0
2	<i>Агрохімічна характеристика ґрунтів сільськогосподарського призначення</i>	03.11.18- 11.11.18	90,0	5,0
3	<i>Оцінка трансформації мікроелементів в системі «ґрунт – вода - рослина» під впливом функціонування агроєкосистеми</i>	12.11.18- 18.11.18	90,0	5,0
	Рубіжна атестація	19.11.18- 24.11.18		
4	<i>Оцінка сучасного еколого-агрохімічного стану ґрунтів Закарпаття</i>	25.11.18- 28.11.18	90,0	5,0
5	<i>Оцінка хімічного забруднення ґрунтів</i>	29.11.18- 01.12.18	90,0	5,0
6	<i>Узагальнення отриманих результатів. Оформлен- ня остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника</i>	02.12.18- 05.12.18	90,0	5,0
7	<i>Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту. Рецензування роботи</i>	06.12.18- -10.12.18	90,0	5,0
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90,0	5,0

(до десятих)

Студент

(підпис)

Керівник роботи

(підпис)

Ніколішин В.О

(прізвище та ініціали)

Ільїна В.Г.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Ніколішин В.О. Аналіз сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь Закарпаття

Актуальність теми. Територія Закарпатської області відноситься до основної з виробництва зернових, технічних культур та картоплі. Ґрунти території недостатньо забезпечені гумусом, тому для отримання високих та стійких врожаїв цих культур необхідно застосування сучасних методів агрохімічної обробки, яка передбачає внесення хімічних заходів захисту рослин, мінеральних та органічних добрив, а також інші агротехнічні заходи. Вивчення сучасного агроекологічного стану ґрунтів сільськогосподарського призначення Закарпатської області за ступенем агрохімічного навантаження під впливом сільськогосподарського виробництва є дуже актуальною.

Метою роботи є оцінка сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь Закарпаття.

Об'єктом дослідження є сільськогосподарські угіддя та ґрунти сільськогосподарського призначення деяких районів Закарпатської області.

Предметом дослідження є сучасний агроекологічний стан.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є сучасні методи оцінки стану агроценозів та математичне моделювання.

Матеріали дослідження. Використана інформація про вміст важких металів та основних еколого – агрохімічних характеристик у ґрунтах Закарпатської області за період з 2015 по 2019 роки а також про якісні та кількісні характеристики ґрунтів та внесення мінеральних та органічних речовин.

Результати дослідження. Виконано оцінку сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь для оптимізації посівних площ з ціллю отримання більш високих і стійких врожаїв та екологічно – чистої сільськогосподарської продукції. Визначено швидкість надходження найбільш токсичного важкого металу до основних сільськогосподарських культур, які вирощуються в умовах Закарпатської області.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше для умов Закарпаття за допомогою математичної моделі виконано оцінку сучасного агроекологічного стану території.

Теоретичне і практичне значення роботи полягає в оптимізації сільськогосподарських угідь Закарпаття з урахуванням сучасного агроекологічного стану.

Структура та обсяг роботи. Складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (20). Загальний обсяг роботи складає 89 сторінок. Робота містить 20 рисунків, 11 таблиць.

Ключові слова: еколого-агрохімічний стан сільськогосподарських угідь Закарпаття, важкі метали, моделювання.

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ГДК – гранично-допустима концентрація;

ПГШ - потужність ґрунтового шару;

pH – водневий показник;

P_s - сума опадів, які досягли поверхні ґрунту;

m- маса рослин;

N_i - вміст мікроелементів в тканинах і-го органу;

V_g - ефективна швидкість осідання важких металів на рослини;

$A_{\text{возд}}^f$ - концентрація важких металів в повітрі;

$H_q^{\text{корн}}$ - швидкість накопичення рослинами важких металів кореневим шляхом;

$H_q^{\text{почв}}$ - концентрація рухливих форм q-го важкого металу в ґрунті;

q - вид важких металів.

$U_{\text{роз}}$ - урожай розрахунковий, ц/га;

$U_{\text{нор}}$ - урожай нормативний, ц/га ;

ЗМІСТ

СПИСОК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	
ВСТУП.....	3
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	4
1.1 Загальна характеристика	4
1.2 Природні умови.....	5
2 МЕТОДИКА ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ	
2.1 Основні еколого-агрохімічні характеристики ґрунтового покриву	
2.2 Нормативи агроекологічних умов вирощування сільськогосподарських рослин.....	
2.3 Показники еколого-агрохімічного стану ґрунтів.....	
3 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ ДЕЯКИХ РАЙОНІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ	
3.1 Оцінка основних еколого – агрофізичних характеристик.....	
3.2 Оцінка еколого - агрохімічного потенціалу сільськогосподарських угідь Закарпатської області.....	
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ РОСЛИННИЦЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ	
4.1 Моделювання тепло- та волого перенесення у ґрунті.....	
4.2 Модель хімічного забруднення ґрунтів.....	
4.2.1 Основні характеристики важких металів.....	
4.2.2 Морфологічні характеристики рослин, які впливають на поглинання важких металів.....	
4.3 Моделювання забруднення рослинницької продукції Закарпатської області цинком.....	
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	66
ДОДАТКИ	

ВСТУП

В умовах важкого економічного стану більшості сільськогосподарських підприємств потреби рослин задовольняються майже завдяки тільки природної родючості ґрунтів. Її параметри стосовно провідних сільськогосподарських культур визначаються генетичними особливостями ґрунтів, їх гранулометричним складом, ступенем зволоження та попередниками й мають великі відмінності в зонально-регіональному плані.

Ведення сільськогосподарського виробництва за умов недостатнього застосування добрив, хімічних меліорантів та засобів захисту рослин не тільки не сприяє його продуктивності, але й призводить до деградації основного засобу виробництва в сільському господарстві ґрунту.

Територія Закарпатської області відноситься до основної з виробництва зернових, технічних культур та картоплі на заході України. Ґрунти території недостатньо забезпечені гумусом, тому для отримання високих та стійких врожаїв цих культур необхідно застосування сучасних методів агрохімічної обробки, яка передбачає внесення хімічних заходів захисту рослин, мінеральних та органічних добрив, а також інші агротехнічних приборів.

Це в свою чергу призводить до накопичення у ґрунтах різних хімічних елементів та з'єднань, які в свою чергу дають не тільки позитивний але і негативний ефект. Тому, в рамках роботи було виконано оцінку еколого-агрохімічного стану ґрунтів сільськогосподарського призначення. З урахуванням вищенаведених показників ця тема є достатньо актуальною на сучасному розвитку екологічної науки. Для цього була використана інформація про вміст фосфору, калію, азоту, гумусу та інших елементів у

грунтах Закарпатської області за 2015 -2019 роки. Крім того ураховуються показники стану сільськогосподарських рослин .

Метою роботи є оцінка сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь Закарпатської області.

Об'єктом дослідження є сільськогосподарські угіддя та ґрунти сільськогосподарського призначення деяких районів Закарпатської області.

Предметом дослідження є сучасний агроекологічний стан.

Методи дослідження. Методологічною основою роботи є сучасні методи оцінки стану агроценозів та математичне моделювання.

Матеріали дослідження. Використана інформація про вміст важких металів та основних еколого – агрохімічних характеристик у ґрунтах Закарпатської області за період з 2015 по 2019 роки а також про якісні та кількісні характеристики ґрунтів та внесення мінеральних та органічних речовин.

Результати дослідження. Виконано оцінку сучасного агроекологічного стану сільськогосподарських угідь для оптимізації посівних площ з ціллю отримання більш високих і стійких врожаїв та екологічно – чистої сільськогосподарської продукції. Визначено швидкість надходження найбільш токсичного важкого металу до основних сільськогосподарських культур, які вирощуються в умовах Закарпатської області.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у тому, що вперше для умов Закарпатської області за допомогою математичної моделі виконано оцінку сучасного агроекологічного стану території.

Теоретичне і практичне значення роботи полягає в оптимізації сільськогосподарських угідь Закарпатської області з урахуванням сучасного агроекологічного стану.

Апробація роботи виконувалася при написанні 3 наукових статей у Віснику Гідрометцентру Чорного та Азовського морів, виданнях ВАК та тез на Наукових конференції Одеського державного екологічного університету та інших наукових закладах України.

І ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Загальна характеристика

Закарпатська область, яку часто називають коротко Закарпаття – одна з наймолодших областей України. Як адміністративно-територіальна одиниця вона утворена і входить до її складу з 22 січня 1946 року. За територіально-адміністративним поділом включає 13 районів, 5 міст обласного підпорядкування, 11 міських, 19 селищних та 307 сільських рад. Обласний центр - м.Ужгород.



Область розташована на крайньому заході України. Вона межує з Львівською та Івано-Франківською областями, а також із чотирма державами Європейського Союзу. Кордон області більшою ділянкою співпадає з державним кордоном України (загальною протяжністю 467,3 км), у тому числі з Польщею – 33,4 км, Словаччиною – 98,5 км, Угорщиною – 130,0 км та Румунією – 205,4 км. Унікальні географічне та геополітичне розташування області в центрі Європи та вагомий природно-ресурсний і історико-культурний потенціал – сприяють розвитку рекреаційно-туристичної галузі.

Площа області становить 12,8 тис.км² (2,1% території України). Закарпатська область є унікальною екологічною системою заходу України з різноманітним рельєфом та кліматичними умовами, що зумовлені вертикальною поясністю та різноманітністю ландшафтів. Її територія з півночі захищена Карпатським хребтом, з північного заходу – Татрами, з півдня – західними Румунськими горами і Мараморошським масивом.

1.2 Природні умови

Близько двох третин території Закарпаття займають гори з найвищою горою України (г.Говерла, 2061 м. н.р.м.). Область розташована на південно-західних схилах Українських Карпат (Східні Карпати) і на прилеглий до них Закарпатській низовині, яка є частиною Середньо-дунайської низовини. Гірська частина області включає три групи асиметричних хребтів з більш похилими південно-західними схилами, які прорізані численними долинами гірських річок. У центрі – ланцюг Полонинських гір з плоскими вершинами – полонинами, які вкриті гірськими луками і частково використовуються як пасовища. Найбільші полонини: Рівна, Красна, Боржава, Свидовець та ін. [1].

Територія області є водозбірним басейном р.Тиса, яка є притокою р.Дунай. Усі річки та потічки, які формуються по долинах і ущелинах гір, а їх на Закарпатті понад 9 тисяч, є її притоками. Найбільші з них – це річки

Тересва, Терєбля, Рїка, Боржава, Латориця і Уж. Дві останнї впадають у р.Бодрог уже на територїї Словаччини, яка в подальшому впадає в р.Тиса. Водний режим рїчок є дуже змїнним. Він залежить вїд погодно-клїматичних умов і тїсно пов'язаний зї станом лїсїв Українських Карпат [2].

Озер у Закарпаттї мало. Однак значна їх частина – це цїкаві гїрські озера. Найбїльшим є Синевирське озеро з площею близько 7 га, середньою глибиною 15-16 м. Воно розташоване на висотї 989 м. н. р.м. і є дуже популярним туристичним об'єктом.

Закарпаття багате на рїзноманїтнї кориснї копалини. Розвїдано близько 220 родовищ, в яких наявнї 30 матерїалїв, що мають промислове значення, Це: кольоровї, рїдкїснї та дорогоцїннї метали (золото, сїбло, ртуть, германїй, цинк, свинець та їн.), неметали (барит, цеолїт, бентонїт, доломїт, алунїт), сїль, вугїлля, газ, будївельнї матерїали (мармур, базальт, андезит, керамзит, перлїт і їн.), мїнеральнї і термальнї води. Формування бїльшостї родовищ корисних копалин пов'язано з останнїм геологїчним етапом розвитку Карпат (вулканїчнї формування). Однак наявнї також формування кристалїчних сланцїв, мармурїв, кварцитїв тощо, якї розмїщенї на великих глибинах, а в Мармороському кристалїчному масивї виходять на денну поверхню (Рахївський район). Їх утворення вїдбулося на початковому етапї формування гїр (230-240 млн.рокїв тому).

Клїмат Закарпаття є помїрно континентальним з достатнїм і надлишковим зволоженням, нестїйкою весною, не дуже спекотним лїтом, теплою осїнню і м'якою зимою. Середньорїчна швидкїсть вїтру у рїзних мїсцях становить 1,2-2,4 м/с. Максимальна швидкїсть, яка зареєстрована в районї мїст Хуст і Мїжгїр'я та на полонинах досягає близько 40 м/с. Середньомїсячна багаторїчна температура сїчня у горах становить $-7,8^{\circ}\text{C}$, тодї як у низинї (м.Ужгород) тїльки $-3,1^{\circ}\text{C}$, а влїтку $11-14^{\circ}\text{C}$ у високогїр'ї і $20-21^{\circ}\text{C}$ на низинї. В залежностї вїд висотного мїсцеположення територїї змїнюється кїлькїсть опадїв. Середньорїчнї опади в низиннїй зонї становлять 600-800 мм, а в горах – 1000-1500 мм (у рїк високої водностї до 2500 мм) [1].

2 МЕТОДИКА ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ

Поняття "якість земель" може бути визначене як комплекс їхніх ознак, які по-різному впливають на можливість їхнього використання. Це поняття відображає співвідношення фактичної продуктивності земель до потенційно можливої, що визначається умовами водо- та теплозабезпечення, й узагальнює терміни "якість ґрунтів" та "стале землеробство". Поняття "якість ґрунтів" більш обмежене, ніж "якість земель", оскільки ґрунт є частиною поняття земель, але часто використовуються в однаковому розумінні [3].

Якісна оцінка земель має як теоретичне, так і практичне значення. По-перше, характеристики їхньої якості використовуються в системі моніторингу земель для прогнозу і своєчасного запобігання деградаційним процесам, охорони та раціонального використання. По-друге, облік кількості та якості земель, бонітування ґрунтів є складовими Державного земельного кадастру, відомості з якого використовується для регулювання земельних відносин, визначення розміру плати за землю та їхньої цінності у складі природних ресурсів. Одними з перших визначення якості ґрунтів дали В. Ларсон і І. Ф. Пірс (1991 р.): "якість ґрунтів може бути визначена як стан існування ґрунту по відношенню стандартів або як визначення бала по відношенню до стандарту прийнятого за найвищий бал". Таке визначення більш абстрактне, ніж коректне. Е. Грегоріч та інші (1994 р.) вважають, що "якість ґрунту - це комплексна характеристика здатності ґрунтів до функціонування й те, як добре ці функції "працюють" при спеціальному використанні". Д. Карлен та інші (1992 р.) визначають поняття "якість ґрунтів" з погляду їхньої ролі для довготривалого підтримання продуктивності і збереження якості навколишнього середовища, головним вважають "здатність ґрунту служити природним середовищем для росту рослин і підтримки існування людства і тварин. Д. Доран і Т. Гіаркін (1994 р.) визначають якість ґрунту як

"можливість до стійкої біологічної продуктивності, підтримки якості навколишнього середовища і забезпечення здоров'я рослин і тварин".

За визначенням М. Маусбаха і Г. Тугела (1995 р.), якість ґрунту відображає "здатність певних ґрунтів до функціонування в природних штучних екосистемних зв'язках для підтримки продуктивності рослин і тварин, збереження або покращення якості води і повітря та забезпечення здоров'я і звичок людей". Таке твердження потребує для зрозуміння поняття "якості ґрунту" оцінки п'яти таких його функцій:

- усвідомлення стійкості біологічної активності, різноманітності і продуктивності;
- регулювання потоків води й розчинів (біогеохімічних циклів, колообігів);
- фільтруючої здатності, буферності, деградації, іммобілізації і детоксикації органічних і неограничених речовин, зокрема з індустриальних і муніципальних відходів та атмосферних опадів;
- накопичення та колообіг поживних та інших речовин у біосфері;
- захисту соціально-економічних структур і збереження агроекологічних цінностей, пов'язаних з середовищем проживання людей [4].

Зрозуміло, що всі ці функції пов'язанні між собою. Немає ґрунтів, які успішно забезпечують всі ці функції потенційно й ефективно. Деякі з них бувають у природних екосистемах, решта є результатом діяльності людини. Нарешті, якість ґрунтів залежить від того, яким чином ці функції корисні для людей. З погляду сільськогосподарського виробництва висока якість ґрунту означає забезпечення високої продуктивності виробництва без істотної його деградації та забруднення навколишнього середовища.

Якісну оцінку земель господарства проводять з використанням агроекологічного методу (А. І. Сірий, 2002р.) та за методом спеціального бонітування (М. В. Лісовий, 2002р.) [5].

2.1 Основні еколого-агрохімічні характеристики ґрунтового покриву

Основна властивість ґрунтів - їхня родючість, яка залежить від багатьох чинників: складу ґрунту, його фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей. Ці властивості дуже змінюються під впливом різних антропогенних чинників, що істотно впливає на умови живлення рослин, величину та якість урожаю. Потрібно знати властивості ґрунту, щоб цілеспрямовано керувати формуванням урожаю, ростом і розвитком рослин. Ріст і розвиток рослин значною мірою залежать від фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту [6].

Забезпеченість ґрунтів поживними речовинами і створення необхідних агрокліматичних умов для вирощування зернових, технічних, кормових, овочевих та олійних культур є першою умовою формування сталих високопродуктивних урожаїв. Саме від забезпеченості ґрунтів за показниками еколого-агрохімічної оцінки (агрофізичні, фізико-хімічні, агрохімічні та екологічні властивості ґрунтів) та від умов вирощування культур залежить якість продукції та сировини.

Агрофізичні показники ґрунтів (щільність ґрунту і продуктивна волога) є важливими показниками їхньої родючості, яка зумовлює ефективність використання поживних речовин із ґрунту та добрив, впливає на врожайність сільськогосподарських культур.

Фізико-хімічні показники впливають на поживний режим ґрунту, його біологічну активність і зумовлюють урожайність і якість сільськогосподарської продукції. Вони характеризуються активною (pH_{H_2O}), обмінною (pH_{KCl}) і гідролітичною кислотністю (H_T , мг-екв. на 100 г ґрунту), сумою ввібраних основ (мг-екв./100 г) та вмістом загального гумусу (%), ємністю поглинання (мг-екв. на 100 г ґрунту), ступенем насичення ґрунту основами [7].

Сільськогосподарські культури по-різному реагують на реакцією ґрунтового розчину. Одні добре розвиваються на кислих ґрунтах, інші - на нейтральних. Надмірна кислотність ґрунтів здійснює на рослини негативний вплив, який виявляється в підкисленні клітинного соку, порушенні білкового обміну, зниженні інтенсивності фотосинтезу та кореневого й водного живлення. Більшість зернових культур краще розвиваються за слабокислої та нейтральної реакції ґрунту (пшениця, ячмінь, кукурудза, соя, горох, соняшник). У разі нейтральної і слаболужної реакції (рН - 7-8) добре ростуть люцерна, цукрові буряки, коноплі. Малочутливі до підвищеної кислотності жито, просо, гречка. Ці культури ростуть у широкому інтервалі рН - від слаболужної (7,5) до кислої (4,7) реакції. Оптимальне рН для них 5,5-6. Кисла реакція властива підзолистим, дерновопідзолистим, сірим лісовим і болотним ґрунтам; нейтральна - чорноземам; лужна - каштановим ґрунтам і солонцям [8].

Гідролітична кислотність ґрунтів дає можливість визначити чи потребують ці ґрунти вапнування для нормального росту й розвитку культур. Застосування добрив, засобів хімічної меліорації (вапнування, гіпсування) дуже впливає на фізико-хімічні властивості ґрунтів і на створення оптимальної реакції ґрунтового розчину. Якщо ґрунти мають гідролітичну кислотність менше 2 ($H_T = < 2$ - нейтральні ґрунти), то вони не потребують вапнування; якщо мають від 2,1 до 3,0 ($H_T = 2,1-3,0$ - близькі до нейтральних), то доцільне вапнування на опідзолених ґрунтах Лісостепу, проводиться вибірково в сівозмінах з вимогливими до вапна культурами; якщо ж гідролітична кислотність більше 3,0, то ґрунти потребують вапнування залежно від типу ґрунту та ступеня кислотності .

Сума ввібраних основ - це загальна кількість усіх катіонів основ - Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , NH_4^+ , увібраних ґрунтово-вбирним комплексом, тобто де загальна сума катіонів без водню й алюмінію [9].

Гумус - інтегральний показник родючості, який об'єднує в собі низку властивостей ґрунтів. З гумусними речовинами пов'язані умови

життєдіяльності рослин, які відображаються у властивостях ґрунтового профілю: потужність і багатство гумусного профілю, придатність до сільськогосподарського використання, реакція середовища, фізичний стан, його біохімічна активність та ін. На збільшення запасів гумусу позитивно реагують такі сільськогосподарські культури, як озима пшениця, ячмінь, цукровий буряк, кукурудза та соняшник. Оптимальним для цих культур є вміст гумусу в орному шарі ґрунту - $>3,5\%$, допустимим - $2,0-3,5\%$, недопустимим - $<2,0\%$. Значення щільності складення ґрунту і показників вмісту гумусу для культур наведені у додатку Г.

Основними агрохімічними показниками, які входять до складу еколого-агрохімічного паспорту поля та земельних ділянок, є азот сполук, що легко гідролізується; рухомий фосфор; обмінний калій; рухомі форми мікроелементів: бору; марганцю, кобальту, міді, цинку [10].

Розрізняють такі форми азоту: загальний азот, мінеральні сполуки азоту (доступний для рослин), легко гідролізований (характеризує забезпеченість ґрунту азотом протягом всього періоду вегетації), важко гідролізований (резерв для збагачення ґрунтів та мінеральні форми азоту, - азот амінів, частина необмінного аміаку та азот гумінів), негідролізований азот (гуміни, меланіни, необмінний амоній, майже не бере участі в азотному обміні між ґрунтом і рослиною). Азот надходить у ґрунт у процесі гниття органічних речовин у вигляді аміаку, який під дією нітрифікуючих бактерій окислюється в азотну кислоту. Оптимальний вміст поживних речовин є важливою умовою одержання високих і сталих урожаїв. Поглинання поживних речовин залежить від віку, біологічних особливостей та умов вирощування рослин.

У ґрунті загальний вміст фосфору, як правило, нижчий, ніж азоту і особливо калію. Його вміст коливається у межах $0,04 - 0,22\%$ залежно від типу ґрунту, його гранулометричного складу та вмісту в ньому гумусу. Фосфор у вигляді мінеральних сполук переважає над вмістом органічних сполук. Мінеральні сполуки фосфору у ґрунті перебувають у вигляді солей

кальцію, заліза та алюмінію. Основними й найкраще засвоюваними сполуками фосфору для рослин є солі орто- (H_3PO_4) і метафосфорної (HPO_3) кислот у ґрунті. Найбільш доступні солі одновалентних катіонів ортофосфорної кислоти. Нормальне фосфорне живлення рослин забезпечується тільки через корені. Калій входить до ряду шести елементів (кисень, кремній, алюміній, залізо, кальцій, калій), які становлять 96 % усіх хімічних речовин ґрунту. У ґрунті, на відміну від ґрунтовірних порід, калій перебуває не тільки у складі мінеральних структур, а входить також до складного орґано-мінерального колоїдного комплексу - решток рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Калій у ґрунтах розподіляється на такі форми: водорозчинний, обмінний, важкообмінний, або резервний, калій ґрунту, необмінний, зокрема, фіксований калій, калій нерозчинних алюмосилікатів, калій орґанічної частини ґрунту (мікроби, орґанічні рештки тощо). Обмінний калій - основний показник забезпеченості доступним для рослин калієм. Він представлений іонами калію, що містяться на поверхні негативно заряджених колоїдних часточок ґрунту. Вміст обмінного калію характеризує генетичні особливості ґрунту, а також інтенсивність антропогенної дії. За його вмістом визначають забезпеченість ґрунту калієм.

Для забезпечення оптимального режиму живлення рослин, крім мікроелементів (азот, фосфор, калій), необхідні макроелементи (В, Мо, Мп, Со, Сu, Zn). Незважаючи на надзвичайно малий вміст макроелементів, роль їх дуже велика: підвищується уміст хлорофілу в листках рослин, зростає інтенсивність їхнього фотосинтезу, посилюється діяльність ферментативного комплексу, підвищується стійкість рослин проти хвороб. Мікроелементи - це елементи, які містяться в досить малій кількості у ґрунті та рослинах (0,01-0,001 % на суху речовину). Вміст рухомих форм мікроелементів змінюється залежно від рівня застосування макро- і мікроелементів та вегетації рослин [11].

Екологічний стан ґрунту визначається рівнем антропогенного забруднення радіонуклідами (цезій - 137, стронцій - 90), важкими металами

(рухомі форми кадмію, цинку, міді, свинцю, ртуті), залишками ДДТ та іншими високотоксичними пестицидами. До складу еколого-агрохімічного паспорта полів і земельних ділянок входять такі показники: вміст рухомих форм важких металів, мг/кг: кадмію, свинцю; щільність радіоактивного забруднення, Кі/км²: цезієм-137, стронцієм-90 [12].

Основна властивість ґрунтів - їхня родючість, яка залежить від багатьох чинників: складу ґрунту, його фізичних, хімічних, фізико-хімічних і біологічних властивостей. Ці властивості дуже змінюються під впливом різних антропогенних чинників, що істотно впливає на умови живлення рослин, величину та якість урожаю. Потрібно знати властивості ґрунту, щоб цілеспрямовано керувати формуванням урожаю, ростом і розвитком рослин. Ріст і розвиток рослин значною мірою залежать від фізичних, хімічних та біологічних властивостей ґрунту .

Забезпеченість ґрунтів поживними речовинами і створення необхідних агрокліматичних умов для вирощування зернових, технічних, кормових, овочевих та олійних культур є першою умовою формування сталих високопродуктивних урожаїв. Саме від забезпеченості ґрунтів за показниками еколого-агрохімічної оцінки (агрофізичні, фізико-хімічні, агрохімічні та екологічні властивості ґрунтів) та від умов вирощування культур залежить якість продукції та сировини.

Якісну оцінку земель та еколого-агрохімічні паспортизацію полів і земельних ділянок проводять згідно з Керівним нормативним документом "Суцільний ґрунтово-агрохімічний моніторинг сільськогосподарських угідь України". Показником якості, або еколого-агрохімічного стану ґрунту, є бонітет, виражений у балах. Методика залучає до свого складу не лише показники родючості, але й дані про забруднення ґрунтів токсикантами антропогенного походження і є зведеним показником агроекологічного стану поля, земельної ділянки та інших територіальних одиниць [13].

Основними показниками, за якими визначається агрохімічний стан ґрунтів поля, прийнято вважати: вміст в орному шарі загального гумусу,

сполук азоту, які легко гідролізується, рухомого фосфору, обмінного калію та мікроелементів (марганцю, молібдену, цинку, міді, бору, кобальту), а також кислотність ґрунту, ємність поглинання, сума ввібраних основ, щільність ґрунту, максимально можливі запаси продуктивної вологи (1 м). Основними агрохімічними показниками, які входять до складу еколого-агрохімічного паспорту поля та земельних ділянок, є азот сполук, що легко гідролізується; рухомий фосфор; обмінний калій; рухомі форми мікроелементів: бору; марганцю, кобальту, міді, цинку.

2.2 Нормативи агроекологічних умов вирощування сільськогосподарських рослин

У процесі нормування ґрунтово-кліматичних чинників керувалися принципом виділення трьох рівнів відповідальності екологічних умов потребам основних сільськогосподарських культур: 1 - оптимальні умови; 2 - допустимі (задовільні); 3 - незадовільні (погані) умови. Перший рівень відповідає таким умовам, за яких можна отримати на більшій екологічній чистоті врожаї, за другим рівнем є загроза зниження врожайності на 20 - 30, за третім рівнем - до 50%. Інформація про потреби сільськогосподарських культур отримана з довідників, монографій, окремих статей, опублікованих картографічних матеріалів.

Під час нормування кожного з показників урахували загальні потреби культур, уникаючи деталізації обліку комплексної дії чинників.

Потужність гумусового шару - це показник ефективного кореневмісного шару ґрунтів, у процесі нормування якого врахували таке: біологічні особливості будови кореневої системи окремих культур, потужність товщі, що забезпечує найвищий урожай культур, прийняті оцінки кореневмісного шару (ФАО) й потужності ґрунтів (США), формалізованні дані про потужність гумусової частини профілю ($H + H_p + Ph_k$), прийняті на

Україні. Врахували також положення, визначене Р. Г. Дерев'янка та ін., про те, що зв'язок між урожаєм сільськогосподарських культур і потужністю досить тісний у межах від 30 до 90 см, а за більшої потужності - значно слабшає.

Найменшою потребою у глибокому гумусовому шарі відрізняється картопля, потім ідуть жито, овес, вимогливіші до цього показника цукровий буряк, озима пшениця, соняшник, ячмінь, кукурудза. Льон - довгунець рекомендується вирощувати за потужності гумусового шару не вище 70 см, на глибоких і високогумусних ґрунтах він зникає.

Гранулометричний склад ґрунту - визначається не тільки біологічними особливостями культур, але й іншими екологічними умовами. Наприклад, різними будуть оптимальні параметри гранулометричного складу в умовах вологого й сухого клімату, проте, як уже йшлося вище, прийнятий компромісний підхід: діапазони показників, Відповідних трьом названим вище рівням, універсальні для будь-якого клімату. Під час визначення нормативів використано розробки Н. А. Качинського (1958 р.), літературні дані про реакції сільськогосподарських культур, щодо гранулометричного складу; матеріали класифікації ґрунтів України, щодо придатності для обробітки сільськогосподарських культур (І. А. Розумний і ін., 1955р.).

Як показник гранулометричного складу прийняли співвідношення між вмістом фракцій фізичного піску ($>0.01\text{мм}$) і фізичної глини ($>0.01\text{мм}$). Ґрунти на початковій карті розділені на 6 класів, в яких це співвідношення відповідно рівне: 1 - 0,48 (глина легка); 2 - 0,90 (суглинок важкий); 3 - 1,66-1,85 (суглинок середній); 4 - 3,0 (суглинок легкий); 5 - 5,66 (супісок); 6 - 12,33 (пісок зв'язаний). У процесі нормування класи згруповані за рівнями відповідності.

Щільність зложення ґрунту в рівноважному стані - під час нормування скорисалися в основному надрукованими працями В. В. Медведева із співробітниками (1990р.) і наявними в них графіками залежності врожаїв сільськогосподарських культур від щільності ґрунту [21].

Реакція ґрунтового розчину (Ph) - у процесі нормування цього показника використано початкові матеріали про вплив кислотності ґрунту на рослини. Оптимальними умовами для озимої пшениці, ячменю, кукурудзи, цукрового буряка, соняшнику є ґрунти з реакцією, близькою до нейтральної або слаболужної. Для решти культур оптимум відповідає зниженим значенням Ph [14].

Нормування цього показника для культур проводило багато дослідників. Проте за наявності величезної кількості публікацій трудність їхнього аналізу полягає в тому, що одні автори використовували тільки Ph сольовий, інші водний, що призводить до великих розбіжностей в оцінці оптимуму. В цих випадках нам доводилося ухвалювати компромісні рішення.

Загальний уміст гумусу - інтегральний показник родючості ґрунтів, зв'язок його з урожаєм майже завжди має позитивний характер. Проте визначен, що збільшення вмісту гумусу вище 5% майже не супроводжується зростанням врожаю. В основу нормування покладено вимоги культур до родючості ґрунту, а також критерії ділення ґрунтів на слабогумусні (< 3 %), малогумусні (< 3-6 %) і середньогумусні (>6%), прийняті по Україні.

Уміст рухомого фосфору й калію - реакція сільськогосподарських культур на забезпеченість ґрунтів цими елементами неоднозначна. Вимогливіші до фосфору просапні культури, менш - зернові (М. Р. Жежель, Е. І. Пантелєєва, 1972р.) До обмінного калію вимогливіші коренеплоди, картопля, менш - зернові і льон.

У зв'язку з відмінністю в методах визначення та параметрах, прийнято доцільним картографування цих показників не в абсолютних значеннях, а за п'ятибальною шкалою, прийнятою в агрохімслужбі: дуже високий рівень забезпеченості - 5, високий - 4, помірний - 3, низький - 2, дуже низький - 1.

Запаси продуктивної вологи (ЗПВ) - нормування їх дано також за двома фазами зростання й розвитку сільськогосподарських культур. В основу покладено картографічні матеріали, опубліковані в довіднику, щодо запасів продуктивної вологи під основними сільськогосподарським

культурами, а також нормативні дані про критичні та оптимальні рівні ЗПВ у шарі 0-20 см на період посів - сходи і в шарі 0-100см на період формування генеративних органів.

Рівень ґрунтових вод (РГВ) і ступінь їхньої мінералізації - нормування цього показника проведене з урахуванням критичної мінералізації ґрунтових вод. Прийнято, що ступінь мінералізації може істотно позначитися лише на тих територіях, де РГВ менше 5 м від поверхні.

Уміст валових форм важких металів - в основу нормативної оцінки покладена гранично допустима концентрація (ГДК) важких металів у ґрунтах кларки для тих елементів, для яких ГДК не розроблено [12].

2.3 Показники еколого-агрохімічного стану ґрунтів

Еколого-агрохімічна паспортизація полів і земельних ділянок здійснюється з використанням матеріалів якісної оцінки (бонітування) ґрунтів і показників їхнього санітарно-гігієнічного стану.

Показником якості або еколого-агрохімічного стану ґрунту є бонітет, виражений у балах. Бонітет являє собою інтегральну величину різноманітних властивостей і природних ознак, виражених у мг, %, мг-екв, мм, т та інших одиницях вимірювання, які перераховують у бали бонітету. Внутрішні природні властивості й ознаки ґрунту виступають як критерії бонітування критеріїв і діляться на такі дві групи основні (типові) та модифіковані.

Агрохімічна оцінка якості ґрунтів характеризується фізико-хімічними властивостями з використанням показників, які визначають за результатами аналізів агрономічного обстеження цих ґрунтів і вираження в балах за 100-бальною оцінкою. За 100 балів береться еталонний ґрунт з найвищим значенням показників властивостей ґрунту, інші ґрунти отримують оцінку відповідно еталона [15].

Середні дані діагностичних ознак служать основного для встановлення бала бонітету ґрунтів, який обчислюється таким чином. Для кожного діагностичного показника з групи основних типових критеріїв спочатку обчислюють бал бонітету як процентне відношення фактичного значення критерію по еталонного (стандартного):

$$Б = Ф : Е \cdot 100 \quad (2.1)$$

Б - бал ґрунту за вмістом гумусу (%), вологи (мм) чи поживних елементів (мг/кг);

Ф - активний вміст гумусу (%), вологи (мм) чи поживних речовин (мг/кг);

Е - вміст гумусу (%), вологи (мм) чи поживних речовин (мг/кг) в еталонному ґрунті.

На щільність ґрунту (г/см³) і кислотність вводяться відповідні поправочні коефіцієнти (додаток Г), які множаться на 100 і переводяться у 100 балів [16].

З усіх вирахованих у такий спосіб основних показників для цього ґрунту розраховують середньоарифметичний агрохімічний бал бонітету (всі бали за агрохімічною оцінкою додаються і діляться на кількість показників).

У такий спосіб переводять абсолютне значення ознаки у відносне. Але для цього потрібне обґрунтоване нормативне забезпечення основних (типових) ознак для визначення еталонного ґрунту.

Проведені дослідження, низка наукових публікацій вітчизняних і зарубіжних учених, узагальнення результатів наявних матеріалів з питань якісної оцінки ґрунтів, ґрунтово-агрохімічного, радіологічного та інших видів моніторингу сільськогосподарських земель дають змогу вже сьогодні запропонувати проектним установам і виробництву досить обґрунтовану систему показників еталонного ґрунту. Зазвичай, за еталон (стандарт) прийметься оптимальне значення діагностичного показника, який оцінюється

в 100 балів, що повністю відповідає одному з основних екологічних законів землеробства - закону оптимуму.

Стандарти (еталони) для мінеральних ґрунтів

Гумус: запаси в шарі 0 -100 см - 500 т/га; вміст у шарі 0-20 см - 6,2%.

Максимально можливі запаси продуктивної вологи в шарі 0-100см - 200мм.

Стандартами для елементів живлення є такі величини:

Макроелементи:

- для азоту - 225 мг/кг за Корнфілдом, 100 мг/кг - за Тюрінім-Коновою;
- для рухомого фосфору - 250 мг/кг за Кірсановим, 200 мг/кг - за Чириковим, 60 мг/кг - за Мачигінім;
- для обмінного калію - 170 мг/кг за Кірсановим, 200 мг/кг за Чириковим, 400 мг/кг за Мачигінім.

Мікроелементи:

- для некарбонатних і малокарбонатних ґрунтів (метод Пейве-Рінккіса): марганець – 71, цинк - 1,6, мідь 3,4, кобальт - 2,3, молібден - 0,71, бор - 0,23 мг/кг ґрунту;
- для карбонатних ґрунтів (метод Крупського-Олександрової): марганець - 21, цинк - 5,1, мідь - 0,51, кобальт - 0,31 мг/кг ґрунту[17].

Еталоном для забруднення ґрунтів цими токсичними речовинами можна вважати такий ґрунт, радіоактивне забруднення якого не перевищує нормального природного фону. Максимально наближеними до еталону є ґрунти, на яких можна вирощувати екологічно чистий урожай, придатний для виробництва продуктів дитячого та дієтичного харчування.

Отже, усі вище наведені матеріали служать основою для визначення балів бонітету, складання оціночної шкали та паспортизації земель. Розрахунки виконують у такій послідовності. Для кожного діагностичного показника, що є одним з основних (типових) критеріїв, обчислюють бонітувальний бал як процентне відношення фактичного значення ознаки до стандарту (еталона) [18].

З усіх обрахованих у такий спосіб основних типових критеріїв для цього ґрунту розраховується як середньоарифметичний середній бал. Вирахуваний за основними критеріями середній бал корегується потім за допомогою модифікаційних критеріїв через поправкові коефіцієнти на негативні властивості ґрунту і на клімат.

Остаточний бал бонітету може бути визначений і способом послідовного множення вихідного бала на відповідні коефіцієнти поправок.

3 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ҐРУНТІВ ДЕЯКИХ РАЙОНІВ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ

3.1 Оцінка основних еколого – агрофізичних характеристик

Агрофізичні показники ґрунтів (щільність ґрунту і продуктивна волога) є важливими показниками їхньої родючості, яка зумовлює ефективність використання поживних речовин із ґрунту та добрив, впливає на врожайність сільськогосподарських культур.

Фізико-хімічні показники впливають на поживний режим ґрунту, його біологічну активність і зумовлюють урожайність і якість сільськогосподарської продукції. Вони характеризуються активною (pH_{H_2O}), обмінною (pH_{KCl}) і гідролітичною кислотністю (H_T , мг-екв. на 100 г ґрунту), сумою ввібраних основ (мг-екв./100 г) та вмістом загального гумусу (%), ємністю поглинання (мг-екв. на 100 г ґрунту), ступенем насичення ґрунту основами .

За даними 2015- 2019 років було виконано оцінку еколого – агрохімічного стану ґрунтів Закарпатської області. На рисунку 3. 1 наведено показники вмісту азоту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

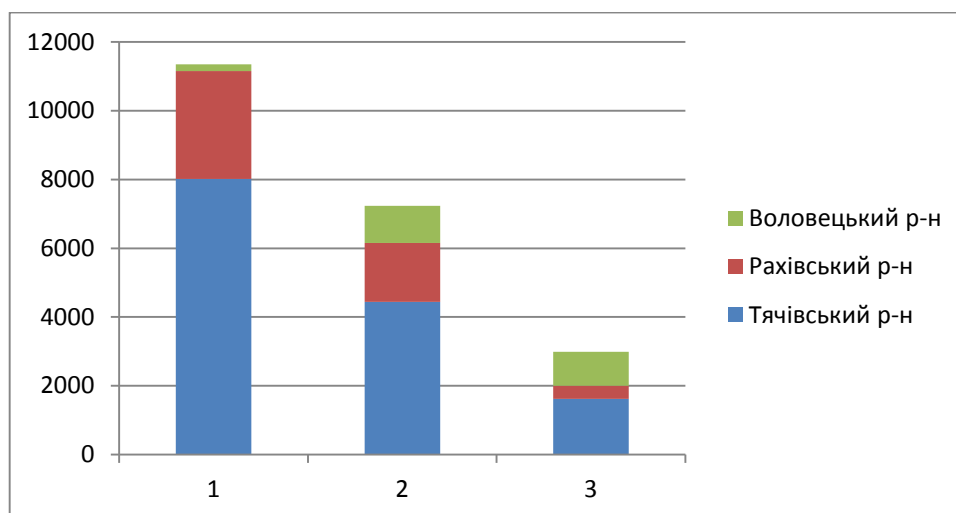


Рис. 3.1 - Показники вмісту азоту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Воловецькому районі, найменші у Тячівському, а середні значення складають у Рахівському.

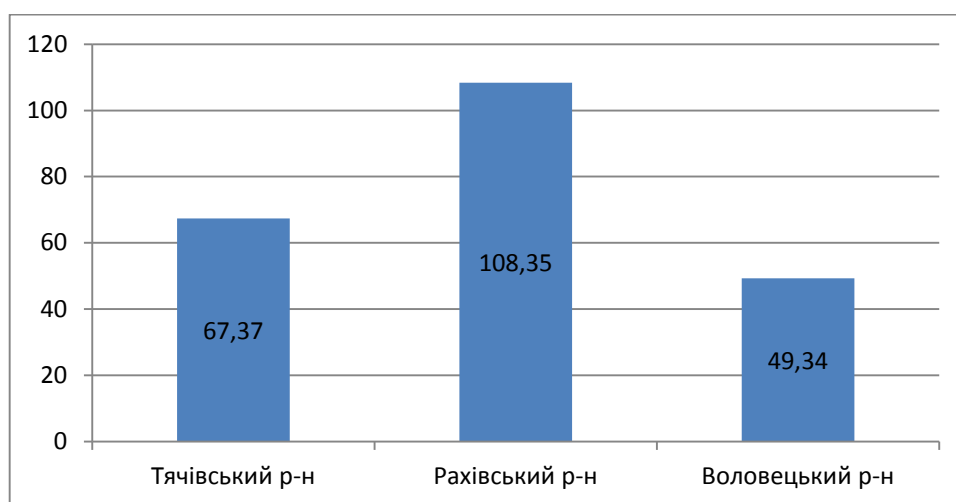


Рис. 3.2 - Показники вмісту P_2O_5 у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші у Воловецькому районі, а середні значення складають у Тячівському.

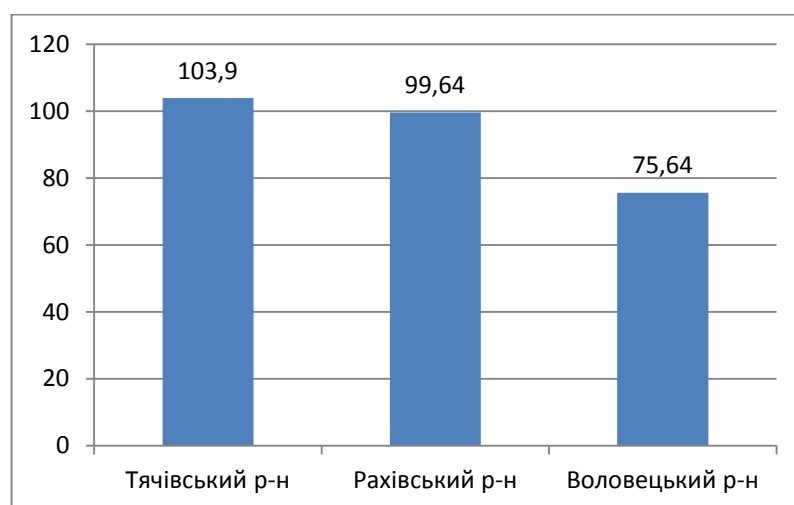


Рис. 3.3 - Показники вмісту K_2O у ґрунтах деяких районів Закарпатської області

Сільськогосподарські культури по-різному реагують на реакцією ґрунтового розчину. Одні добре розвиваються на кислих ґрунтах, інші - на нейтральних. Надмірна кислотність ґрунтів здійснює на рослини негативний вплив, який виявляється в підкисленні клітинного соку, порушенні білкового обміну, зниженні інтенсивності фотосинтезу та кореневого й водного живлення. Більшість зернових культур краще розвиваються за слабокислої та нейтральної реакції ґрунту (пшениця, ячмінь, кукурудза, соя, горох, соняшник) [18].

Гідролітична кислотність ґрунтів дає можливість визначити чи потребують ці ґрунти вапнування для нормального росту й розвитку культур. Застосування добрив, засобів хімічної меліорації (вапнування, гіпсування) дуже впливає на фізико-хімічні властивості ґрунтів і на створення оптимальної реакції ґрунтового розчину.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Тячівському районі, найменші Воловецькому, а середні значення складають у Рахівському.

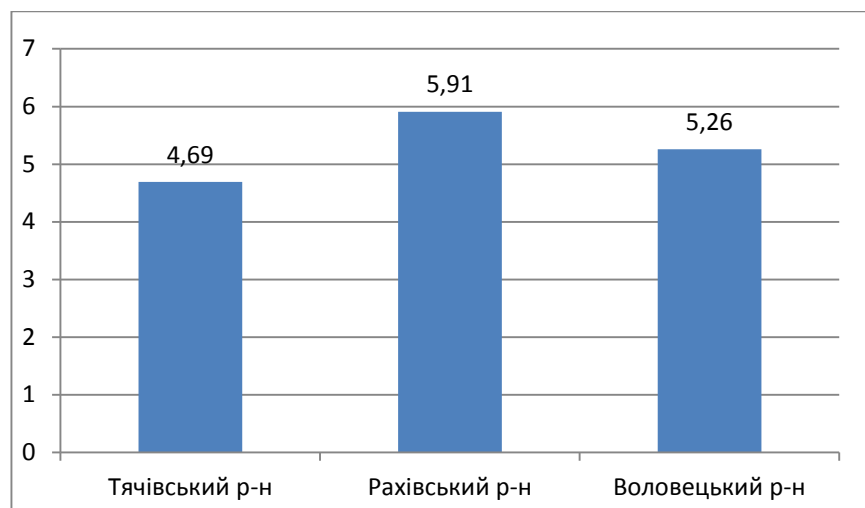


Рис. 3.4 - Показники вмісту Ph у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші Тячівському, а середні значення складають у Воловецькому.

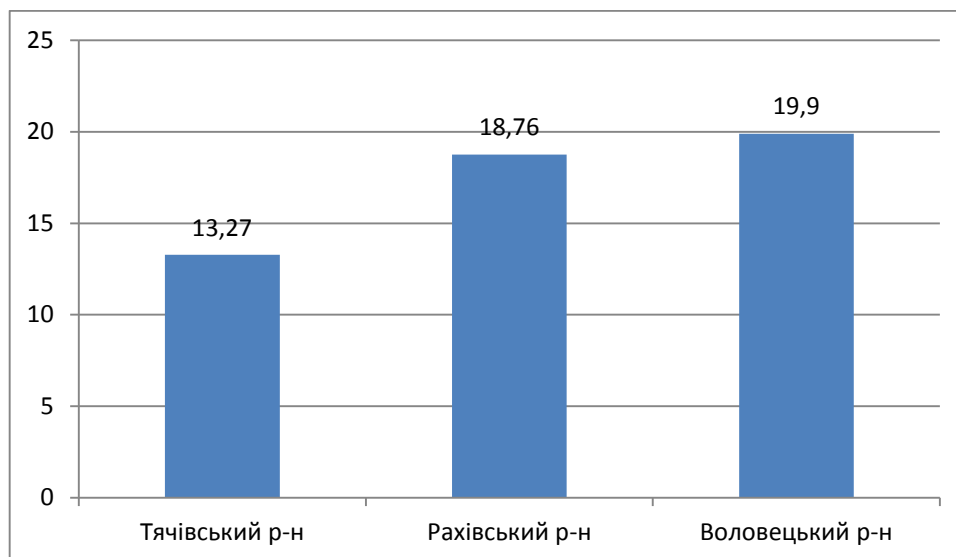


Рис. 3.5 - Показники вмісту S у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Воловецькому районі, найменші Тячівському, а середні значення складають у Рахівському.

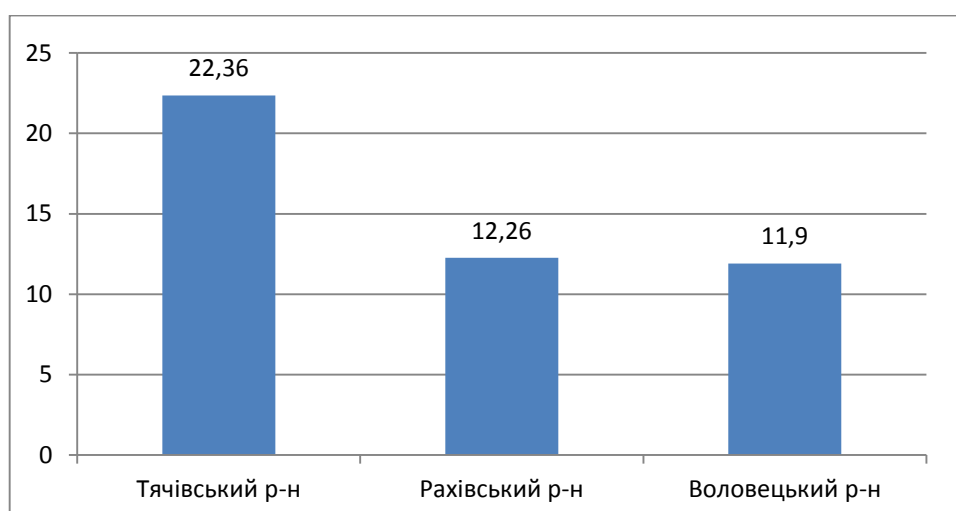


Рис. 3.6 - Показники вмісту Mg у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Тячівському районі, найменші Воловецькому, а середні значення складають у Рахівському.

3.2 Оцінка еколого - агрохімічного потенціалу сільськогосподарських угідь Закарпатської області

У зв'язку із збільшенням антропогенного навантаження на агроценози актуальним є питання визначення ступеню забезпечення ґрунтів органічною речовиною для оптимізації внесення мінеральних та органічних добрив, та засобів захисту рослин. До складу цих засобів входить значна кількість важких металів, які накопичуються у ґрунтах та в результаті сільськогосподарського виробництва потрапляють у рослини [19]. Загальний вміст гумусу - інтегральний показник родючості ґрунтів, зв'язок його з урожаєм майже завжди має позитивний характер. В основу нормування покладено вимоги культур до родючості ґрунту, а також критерії ділення ґрунтів на слабогумусні (< 3 %), малогумусні (< 3-5 %) і середньогумусні (>5%), прийняті по Україні.

Вміст гумусу є основною характеристикою ґрунту, яка визначає його агроекологічні властивості, тому на рисунку 3.7 наведено вміст гумусу для основних сільськогосподарських угідь Закарпатської області. При цьому ураховано усі типи угідь. Середній вміст гумусу у ґрунтах Іршавського району складає 2,4 %. Найбільший вміст спостерігається на луках та пасовищах, які найменш розпахані та де вирощуються рослини, які дозволяють накопичувати органічну речовину. Найменші значення припадають на роз пахані землі та землі, які зайняті під сільськогосподарські угіддя.

За цим показником найбільше гумусу знаходиться на пасовищах, при цьому середній вміст складає 2.5% у Іршавському районі. Така ж сама

ситуація, як на рисунку 3.7 спостерігається на рисунку 3.8 тільки в Ужгородському районі. В цілому, ґрунти Закарпатської області не достатньо забезпечені гумусом, тому для отримання високих та стійких врожаїв сільськогосподарських культур тут необхідно внесення мінеральних та органічних речовин.

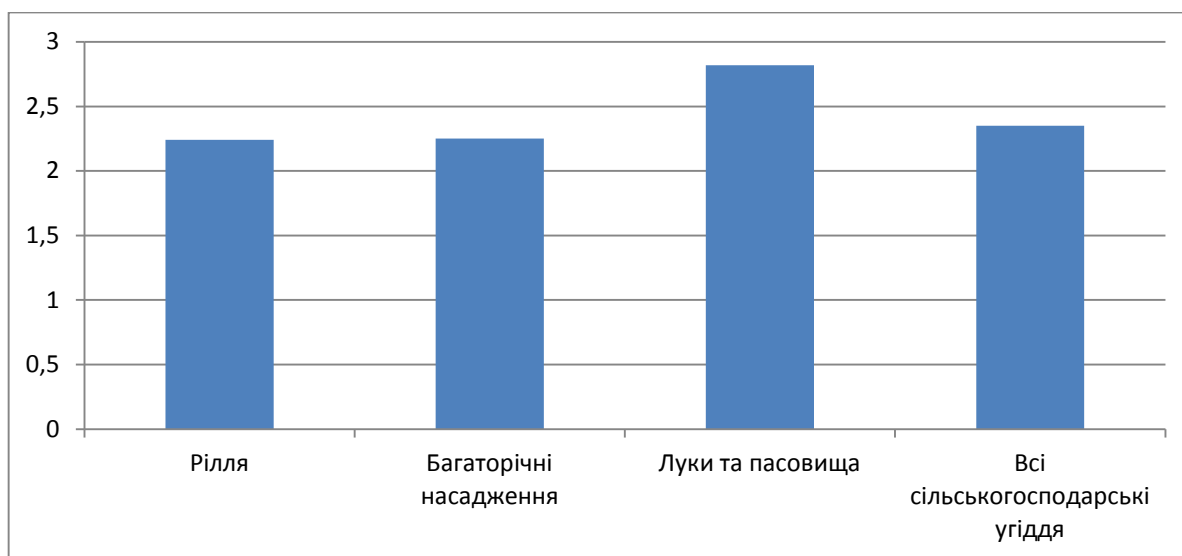


Рис. 3.7 - Вміст гумусу в ґрунтах Іршавського району.

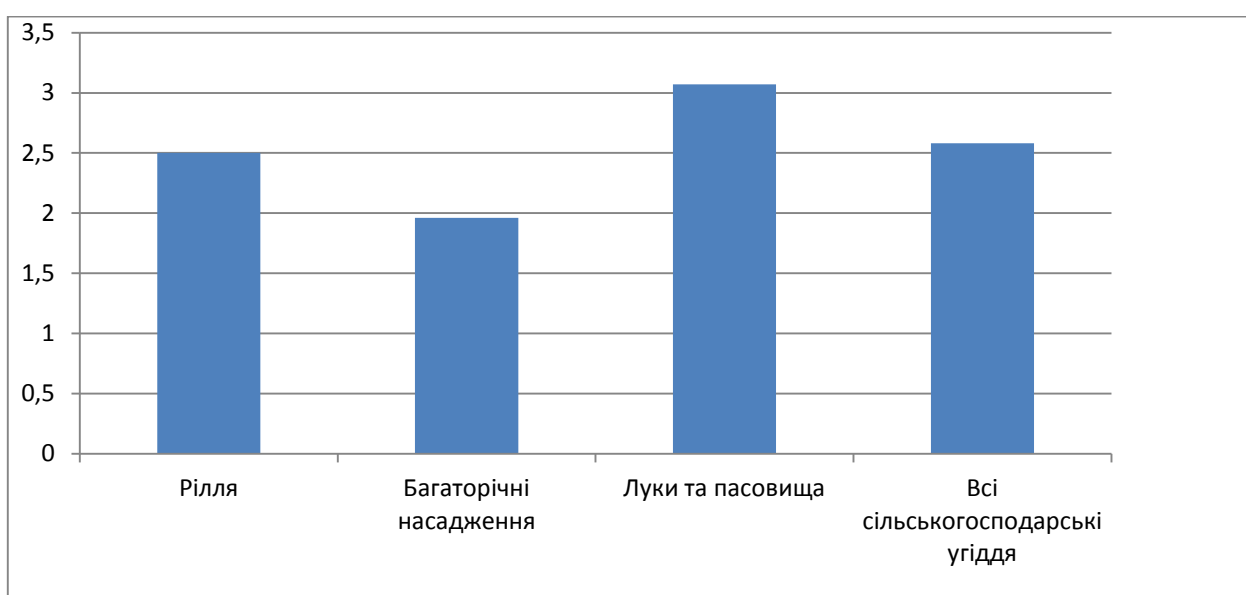


Рис. 3.8 - Вміст гумусу в ґрунтах Ужгородського району

Забезпеченість ґрунтів поживними речовинами і створення необхідних агрокліматичних умов для вирощування зернових, технічних, кормових, овочевих та олійних культур є першою умовою формування сталих високопродуктивних урожаїв. Саме від забезпеченості ґрунтів мікроелементами та від умов вирощування культур залежить якість продукції та сировини.

На застосування азотних добрив істотно впливає їх реакція. Внесені в ґрунт добрива помітно змінюють реакцію ґрунтового розчину. При цьому характер такої зміни не завжди однозначний з характером хімічної реакції добрива. Такі зміни реакції, які відбуваються внаслідок використання рослинами компоненту добрив, називають фізіологічною реакцією. Можливу зміну реакції ґрунту в результаті внесення добрив треба враховувати при виборі добрив. Так, на ґрунтах, що мають кислу реакцію (підзолистих, болотних та ін.), краще застосовувати фізіологічно лужні, а на лужних ґрунтах – фізіологічно кислі добрива. Добрива з різною реакцією слід чергувати, щоб не відбувалося інтенсивної однобічної зміни реакції ґрунту. При значній кислотності добрив ґрунт нейтралізують вапном. Проте у всіх випадках треба враховувати і відношення до реакції середовища рослин [21].

На рисунку 3.9 наведено вміст одного з основних поживних елементів - азоту у ґрунтах основних сільськогосподарських районів Закарпатської області. При цьому ураховано усі типи угідь. В середньому вміст азоту у ґрунтах Іршавського району знаходиться у межах середньо та високо забезпечених. Найбільший вміст спостерігається на луках та пасовищах, найменші значення припадають на розпахані землі.

Проаналізувавши рисунок 3.9, треба відзначити, що найбільше озону знаходиться у ґрунтах, на яких розташовані луки та пасовища, що дозволяє зробити висновок, що для поліпшення якості ґрунтів треба дотримуватися сівоzmінення та кожні 6-7 років використовувати землю під пасовища. Отриманими значеннями вмісту озону у ґрунтах є 100-110 мгекв/100г ґрунту. Цей показник є близьким для ґрунтів Закарпатської області.

Важливою характеристикою добрив є вміст у них поживного елемента, зокрема для азотних – азоту. Чим більший вміст елемента, тим добриво краще, в ньому міститься менше баласту. Однак зміна властивостей ґрунту внаслідок внесення добрив і, зокрема, його структури відбувається не лише під дією баласту, а й тієї його частини, яка використовується рослиною. В цілому, ґрунти Закарпатської області достатньо забезпечені азотом.

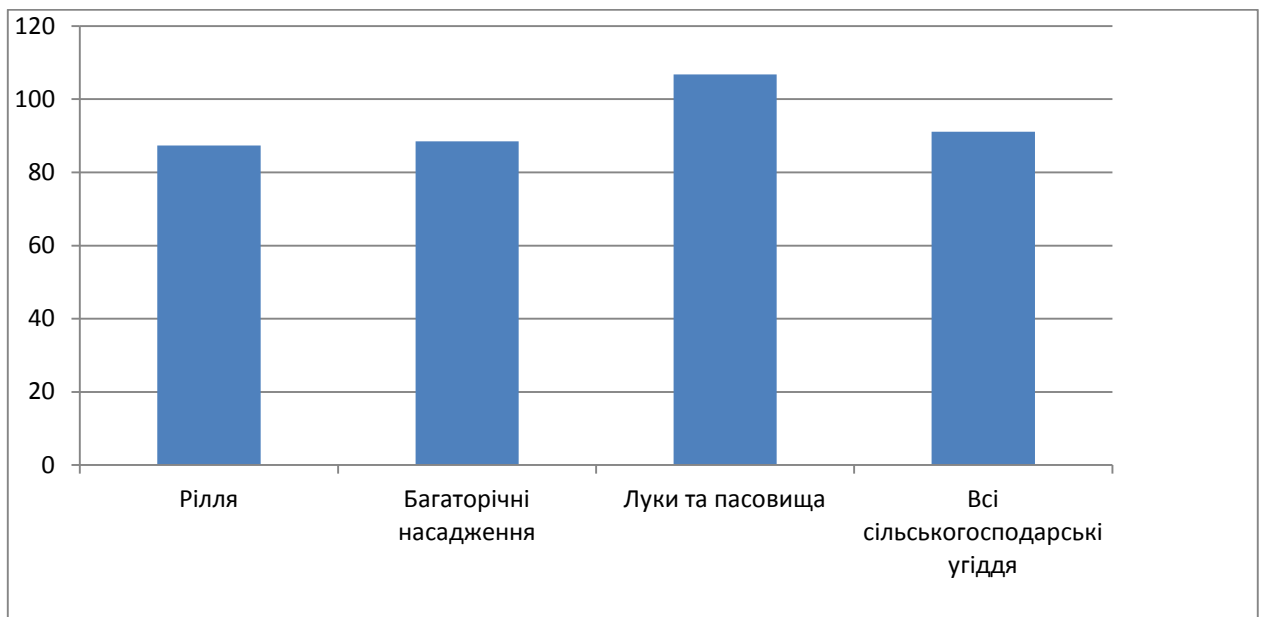


Рис. 3.9 - Вміст азоту у ґрунтах Іршавського району

Також був розрахований вміст найбільш токсичних важких металів . до яких належить свинець та кадмій для двох основних сільськогосподарських районів закарпатської обл. При цьому було проведено порівняння вмісту цих елементів на ріллі та пасовищах. В основному спостерігається тенденція до зменшення важких металів на пасовищах у порівнянні з ріллею за рахунок поглинання рослинами, це можна спостерігати на рисунку 3.10.

Наступна характеристика, яка урахувалася для агроекологічної оцінки - це гідролітична кислотність, яка наведена на рисунку 3.11 і на рисунку 3.12.

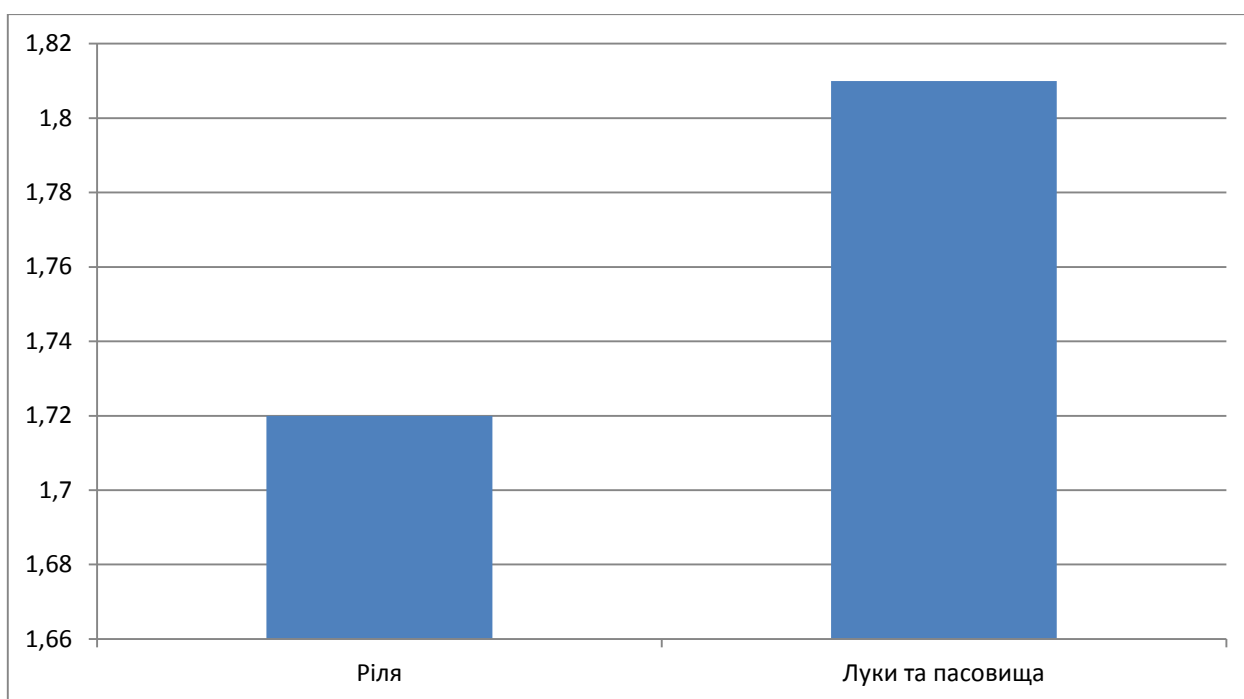


Рис. 3.10 - Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих форм свинцю
Іршавського району

Закарпатська область розташована у зоні з ризикованим землеробством, має сприятливі агроекологічні умови для вирощування великого набору сільськогосподарських рослин. За вмістом основних найбільш токсичних важких металів у ґрунтово-рослинному покриві перевищень ГДК не спостерігається.

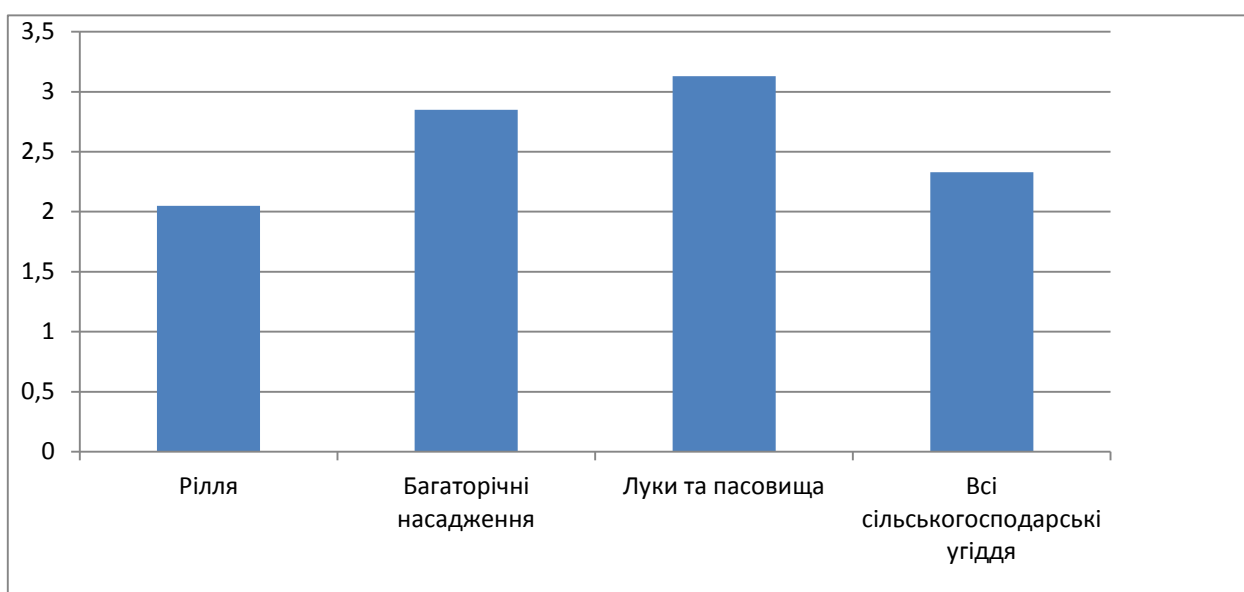


Рис.3.11 - Характеристика ґрунтів за гідролітичною кислотністю
Іршавського району

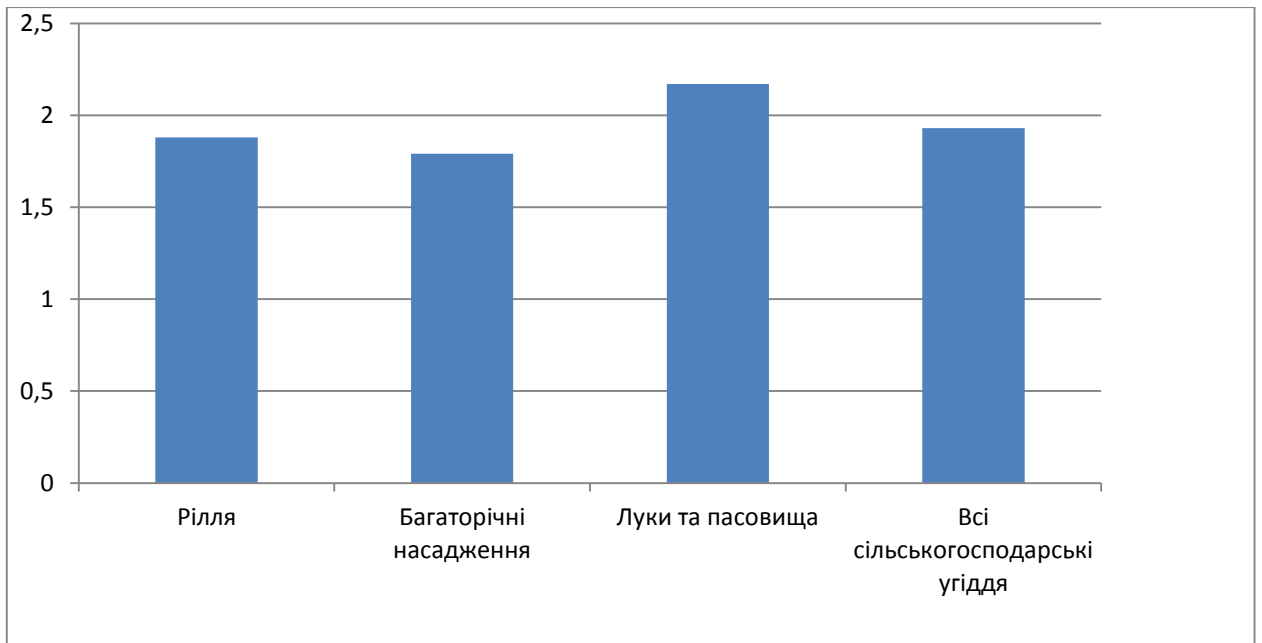


Рис. 3.12 - Характеристика ґрунтів за гідролітичною кислотністю
Ужгородського району

За основними агроєкологічними та агрохімічними характеристиками ґрунти території відносяться до середньозабезпечених, лімітуючим фактором є незначний вміст гумусу у межах 3%. Для збільшення родючості ґрунту рекомендовано збільшення кількості фосфорних та калійних добрив та система меліоративних заходів. Отримані результати дозволяють надавати практичні рекомендації щодо оптимального використання ґрунтово-рослинних умов Закарпатської області

Мідь у ґрунтах є відносно малорухливим елементом. Характерною рисою розподілу міді в ґрунтовому профілі є її акумуляція у верхніх горизонтах. Це явище є результатом дії різних чинників, але перш за все концентрація міді у верхньому шарі ґрунту відображає її біоаккумуляцію, а також сучасний антропогенний вплив.

Утворення органічних комплексів Cu має важливе практичне значення для управління біологічною доступністю і міграцією Cu у ґрунті. Біологічна доступність розчинених форм Cu залежить в основному від молекулярної маси комплексів Cu і її сумарної кількості. На рисунку 3.13 наведено вміст міді у ґрунтах деяких районів Закарпатської області за даними 2015 року.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші Тячівському, а середні значення складають у Воловецькому.

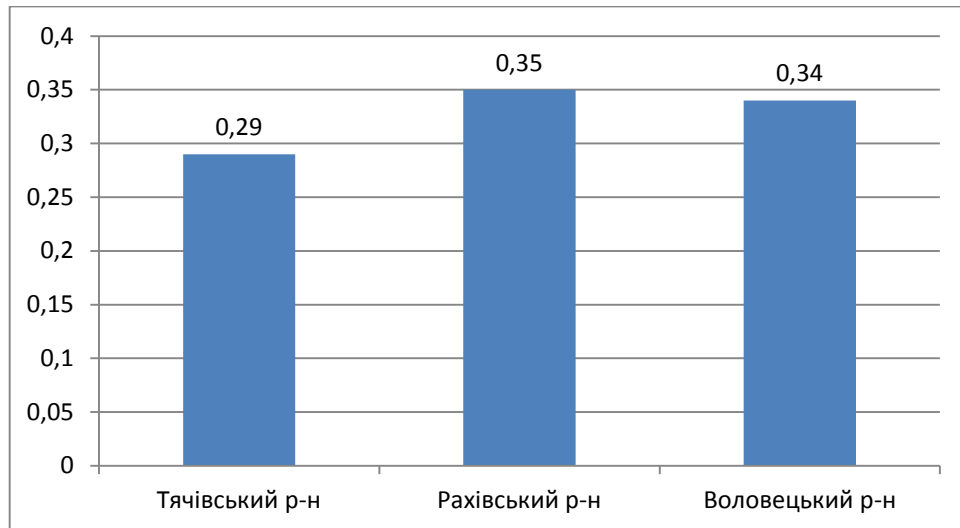


Рис. 3.13 - Показники вмісту Cu у грунтах деяких районів Закарпатської області.

Розчинні форми Zn доступні для рослин, і, за наявними даними, вжиток Zn лінійно зростає з підвищенням його концентрації в живильному розчині і в грунтах. Швидкість поглинання Zn сильно вагається залежно від вигляду рослин і умов середовища зростання. Велике значення має склад живильного розчину, особливо присутність Ca [22].

Дані про рухливість Zn у рослинах досить суперечливі. Проте, є загальні закономірності: кореневі системи часто містять значно більше Zn, ніж надземні частини, особливо, якщо рослина виросла на ґрунті, багатому на Zn. При оптимальному рівні вмісту Zn у ґрунті цей елемент може переміщуватися з коріння і накопичуватися у верхніх частинах рослин. За опублікованими даними, Zn концентрується в хлоропластах. Також, він накопичується в рідині, що заповнює вакуолі, і в клітинних мембранах[23].

У метаболізмі рослин Zn виконує важливі функції. Найбільш істотна з них – це входження до складу різних ензимів, таких, як дегідрогеназа,

протеїнази, пептидаза і фосфогидролази. Крім того Zn бере участь в метаболізмі вуглеводів, протеїнів і фосфату, а також утворенні ДНК і рибосом. Вважають, що Zn підвищує стійкість рослин до сухих і жарких погодних умов, а також до бактерійних і грибкових захворювань.

Більшість рослинних видів і генотипів володіють високою толерантністю до надлишкових кількостей Zn. Звичайні симптоми токсикозу – хлороз, особливо в молодого листя, і ослаблення зростання рослин.

Цинк належить до малотоксичних мікроелементів. Хронічні отруєння та забруднення ним харчових продуктів практично не спостережуються. Найбільш забруднені цинком землі, знаходяться поблизу металургійних підприємств, що робить їх непридатними для вирощування сільськогосподарських культур та випасу. Так, у стручковій квасолі, вирощеній за 10 км від металургійного підприємства, вміст цинку становить 6 мг/кг. У зеленій масі – до 56,4 мг/кг. У продуктах харчування основна частина цинку являє собою речовину природного походження, і становить 0-20 мг/кг. Для харчових продуктів рекомендовані такі допустимі величини вмісту цинку: м'яса – до 20 мг/кг, напоїв – до 5 мг/кг, фруктів та овочів – до 100 мг/кг, варення та мармеладу – до 5 мг/кг [24].

За даними 2016 року було виконано оцінку вмісту цинку у ґрунтах сільськогосподарського призначення в деяких районах Закарпатської області. Отримані показники можуть говорити про незначний вміст цього важкого металу у ґрунтах сільськогосподарського призначення визначених районів. На рисунку 3.14 наведені показники вмісту цинку у ґрунтах деяких районів Закарпатської області. Отримані характеристики будуть використані у подальшому для цілей моделювання забруднення ґрунтово – рослинного покриву Закарпатської області та для прогнозу можливого рівня забруднення при сучасному рівні інтенсифікації сільськогосподарського виробництва.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші Тячівському, а середні значення складають у Воловецькому.

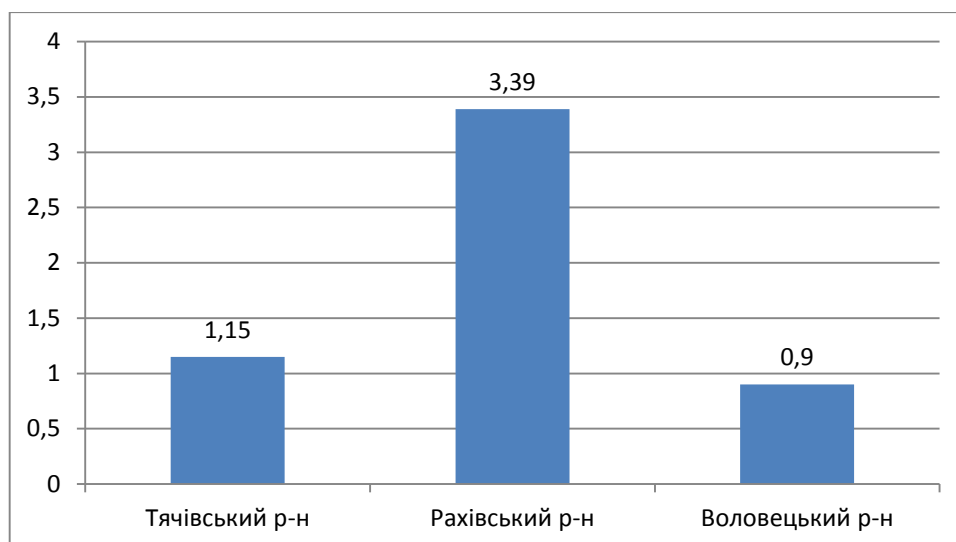


Рис. 3.14 - Показники вмісту Zn у грунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші Воловецькому, а середні значення складають у Тячівському.

На рисунку 3.15 наведені показники вмісту кобальту у грунтах деяких районів Закарпатської області.

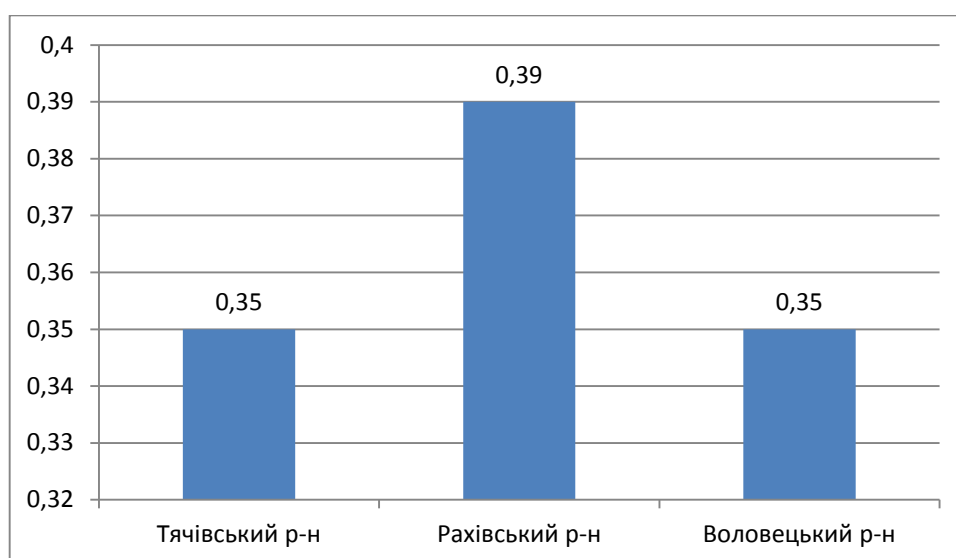


Рис. 3.15 - Показники вмісту Co у грунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, а у Тячівському та Воловецькому найменші.

На рисунку 3.16 наведені показники гідробіологічного вмісту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

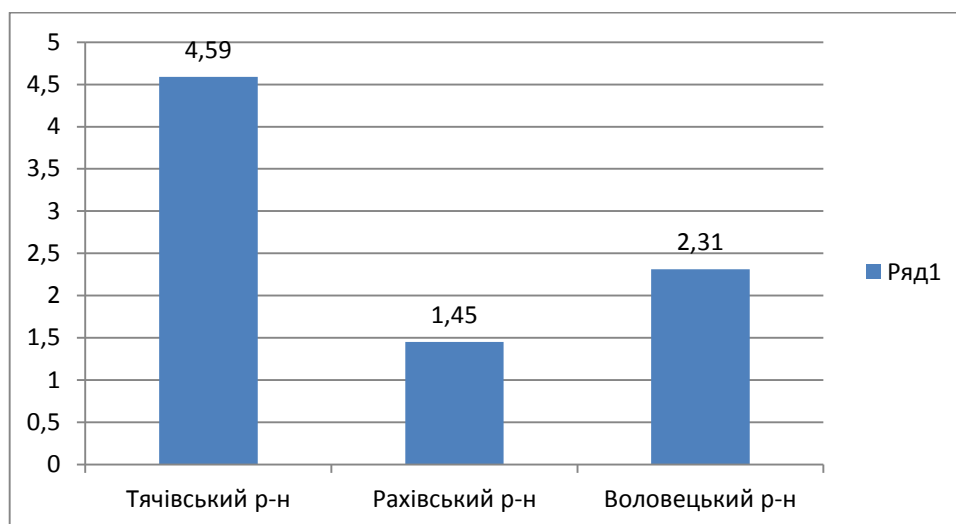


Рис. 3.16 - Показники гідробіологічного вмісту у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Тячівському районі, найменші Рахівському, а середні значення складають у Воловецькому.

На рисунку 3.17 наведені показники вмісту суми ввібраних основ у ґрунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Рахівському районі, найменші Тячівському, а середні значення складають у Воловецькому.

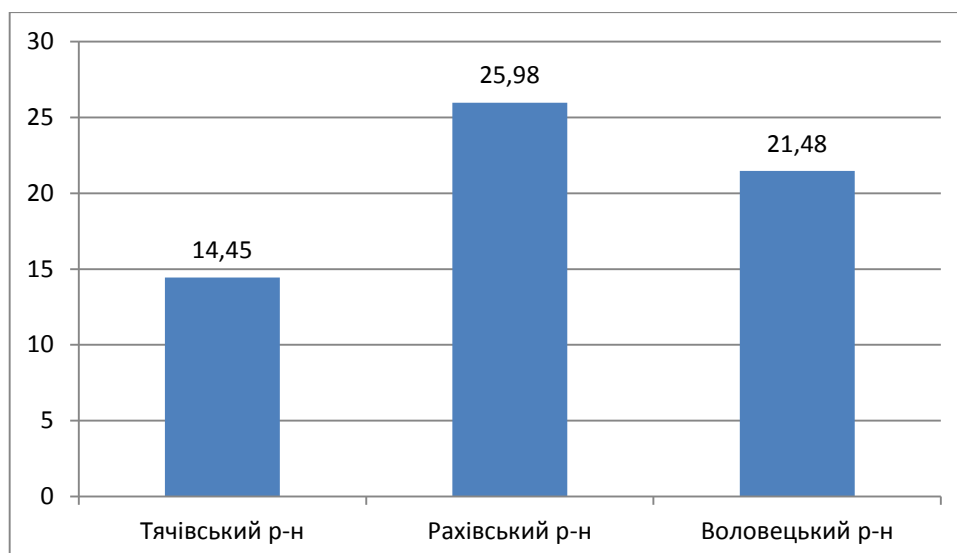


Рис. 3.17 - Показники вмісту суми ввібраних основ у грунтах деяких районів Закарпатської області.

На рисунку 3.18 наведені показники вмісту кадмію у грунтах деяких районів Закарпатської області .

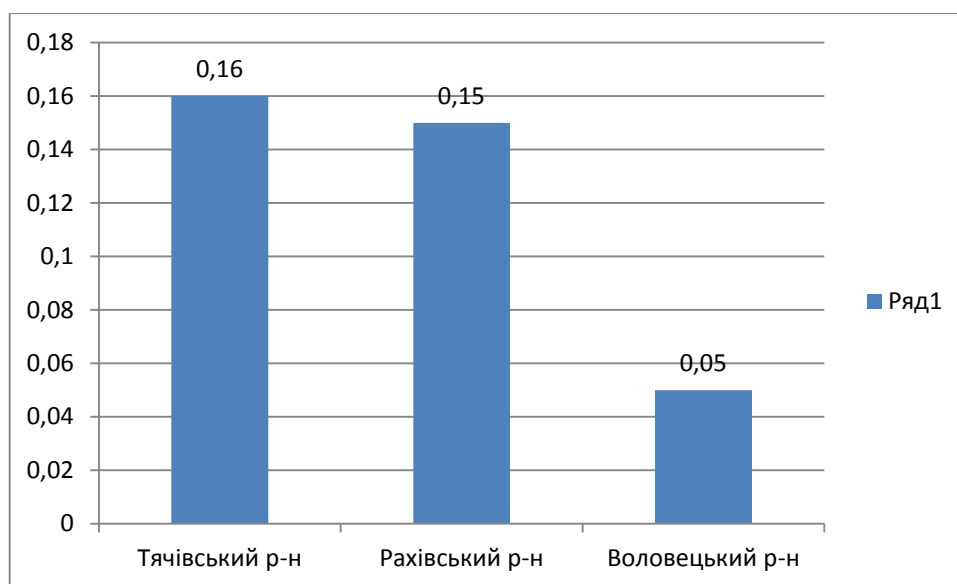


Рис. 3.18 - Показники вмісту Cd у грунтах деяких районів Закарпатської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показнику спостерігаються у Тячівському районі , найменші Воловецькому, а середні значення складають у Рахівському.

Проаналізував сучасний стан вмісту важких металів у ґрунтах сільськогосподарського призначення Закарпатської області встановлено, що найбільші значення за всіма важкими металами, які розглядалися за досліджуваний період, спостерігалися у Рахівському районі, найменші у Воловецькому. Основним джерелом потрапляння важких металів у ґрунти сільськогосподарського призначення Закарпатської області є сільськогосподарське виробництво, а саме внесення мінеральних добрив, до складу яких входять важкі метали та транспорт.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБРУДНЕННЯ РОСЛИННИЦЬКОЇ ПРОДУКЦІЇ ЗАКАРПАТСЬКОЇ ОБЛАСТІ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

4.1 Моделювання тепло- та волого перенесення у ґрунті

Сукупність процесів, які протікають у ґрунті, (фізичних процесів тепло- і вологоперенесення у ґрунті, хімічних і біохімічних процесів) складає основну групу, динамічні властивості якої повинні ретельно відтворюватися при моделюванні. Маючи інерційні (буферні) властивості, ґрунт здатний запасати тепло, вологу й елементи живлення, що дозволяє рослинам «пережити» короточасні стресові впливи, довести процес дозрівання до кінця[21].

Саме той факт, що у ґрунтах відбуваються численні вертикальні міграції речовини, а також їх перетворення у кожному ґрунтовому шарі дозволило І. Ріхтерові розглядати ґрунт як реактор. Цей термін, мабуть, найбільш удадо визначає принцип модельної побудови, істотно спрощуючи реальну ситуацію, але спонукуючи розглядати сукупність процесів у ґрунті на динамічній балансовій основі [23].

Будемо розглядати при моделюванні лише вертикальні міграції всіх ґрунтових складових і, отже, лише вертикальне перенесення тепла і вологи. Зробимо деталізацію поняття компартментів, яке введене вище. Маючи дуже складну внутрішню структуру, ґрунт складається з мікро- і макроагрегатів, пронизаних численними порами. При моделюванні ця структура не розглядається. Розглядаємо ґрунт як деяке «суцільне тіло», або, точніше, як пористе середовище, властивості якого змінюються по глибині. Тому всі змінні, про які піде мова нижче - температура, вологість, вміст нітратів чи амонію - розглядаються як осереднені в деяких об'ємах величини, висота яких досить мала в порівнянні з загальною глибиною моделюємого шару[22].

Цілком природно, що реальні вертикальні профілі температури і вологості у ґрунті безперервні. Моделювання динаміки таких неперервних залежностей на цифровій машині неможливо. Вони повинні розглядатися як такі, що мають дискретний характер.

При описі динаміки ґрунтових процесів будемо вважати, що обмін даної субстанції (тепло- чи вологообмін) здійснюється на межі виділених шарів, причому збільшення або зменшення тепло- чи вологовмісту відбувається відразу ж у всьому компартменті. Будемо вважати за крок моделі тільки ті обмінні процеси, які відбуваються між сусідніми шарами. Це означає, що часовий крок моделі має бути обраний досить малим: дійсно, за великий проміжок часу волога з верхнього шару, наприклад, після опадів може проникнути у всі інші шари, в тому числі й у нижній.

На верхній межі розрахункового шару, тобто при $x=x_0=0$ відбувається обмін теплом і водяною парою між ґрунтом і приземним повітрям. Умови тепло- і вологообміну тут обчислюються на підставі фізичних міркувань, які будуть розглянуті нижче. Вибір цієї межі визначається очевидними міркуваннями і не вимагає коментарів. Що ж стосується нижньої межі розрахункового шару x_{NS} (і розташування останнього вузла), то її місце розташування не настільки очевидно. Ясно, принаймні, що вона повинна розміщатися нижче шару, де розміщена коренева система. Інша вимога зводиться до того, щоб значення моделюємої величини чи її потоку на нижній межі було відоме, в противному випадку виникає невизначеність у розрахунку[23].

Для моделювання волого перенесення найбільш ясным представляється випадок неглибокого залягання ґрунтових вод (на глибині 1-3 м). Нижню межу варто помістити при цьому саме на рівні ґрунтових вод, оскільки тут точно відомо гранична умова: тиск ґрунтової вологи дорівнює нулю. При більш глибокому заляганні ґрунтових вод виникає деяка невизначеність, як у завданні нижньої граничної умови, так і в розташуванні самої цієї границі. У той же час часто можна вважати, що на глибині приблизно 2-3 м вологість

грунту за сезон вегетації міняється незначно, якщо потік води через границю близький до нуля.

Оскільки, частіше за все, розглядається динаміка ґрунтової води у верхніх шарах 100-150 см, єдина вимога, якій повинна задовольняти нижня гранична умова, зводиться до наступного: неточність її завдання не повинно вносити істотної погрешності у розрахунки профілю вологості верхніх шарів ґрунту.

Дуже близька картина складається і при розрахунку теплового поля. Відомо, що добові коливання температури ґрунту загасають уже на глибині 40-60 см, у той час як сезонні зміни можуть поширюватися на значно більшу глибину. У всякому разі, у більшості регіонів нашої країни температуру ґрунту можна вважати постійною на глибині 4 м. Однак, це не означає, що нижню границю у всіх випадках слід поміщати на цій глибині. Можна з достатньою точністю вважати, що вже на відстані 1,5-2 м від поверхні ґрунту добовий хід температури відсутній, а зміна температури всередині сезону не має міжсезонної мінливості і слідує середньому кліматичному ходу. Це означає, що нижню граничну умову температури на цій глибині можна вважати постійною всередині кожної доби, а її зміну за сезон вегетації задавати у вигляді залежності від номера доби відповідно до осереднених за ряд років кліматичних даних.

Теплота як форма енергії і температура як її кількісна характеристика відіграють велику роль у житті рослин. Температурний режим безпосередньо впливає на розвиток рослин, оскільки темпи розвитку залежать від поглиненого посівом тепла. У той же час з температурним режимом пов'язані внутрішньо ґрунтове випаровування і транспірація, а температурний градієнт безпосередньо впливає на рух води у ґрунті. Крім того, від температури ґрунту, як і від її вологості, залежить інтенсивність азотних трансформацій. З іншого боку, на перенесення тепла у ґрунті впливає водний режим так, що аналіз динаміки водного і теплового режимів

варто проводити спільно. Зупинимось більш докладно на теплофізичних характеристиках ґрунтів[25].

Інтенсивність нагрівання будь-якого тіла при підведенні тепла визначається його теплоємністю, яка характеризує кількість теплової енергії, що має бути передана тілу для підвищення його температури на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи на $1\text{ }^{\circ}\text{K}$. Питому теплоємність можна визначати як теплоємність одиниці об'єму або одиниці маси і виражати відповідно в $\text{кал}/(\text{см}^3\text{K})$ або $\text{кал}/(\text{г-K})$. З погляду теплових властивостей можна уявити собі, що ґрунт складається з двох основних компонентів-ґрунтового скелета і води, яка знаходиться у рідкій фазі, оскільки теплоємність газового компонента незначна. В зв'язку з цим питома теплоємність вологого ґрунту c знаходиться як середньозважена величина.

$$c = c(w) = c_s \rho_s + c_w w \quad (4.1)$$

де c_s - питома теплоємність ґрунтового скелета; ρ_s - щільність ґрунту; $c_w = 1$ - теплоємність води; w - вологість ґрунту.

Таким чином, теплоємність ґрунту лінійно залежить від її вологості. Виходить, що при підвищенні вологості ґрунту її теплоємність може змінюватися в кілька разів - від величини, рівної приблизно $0,2-0,25$ до $0,8-0,9\text{кал}/(\text{см}^3\text{K})$. Це означає, що для нагрівання вологого ґрунту на визначену кількість градусів знадобиться набагато більше енергії, ніж для нагрівання на цю же величину сухого ґрунту.

Другою важливою в тепловому відношенні характеристикою ґрунтів є їх теплопровідність. Теплопровідність характеризує швидкість передачі тепла, будучи аналогом провідності у законі Ома. При наявності температурного градієнта вздовж деякого тіла тепло поширюється від його більш гарячого кінця до більш холодного тим швидше, чим більше його теплопровідність. Питому теплопровідність варто розраховувати як Швидкість передачі тепла (наприклад, $\text{кал}/\text{с}$), віднесена до градієнта

температури і до одиниці довжини, тобто варто вимірювати, наприклад, у кал/(см-Кс).

Теплопровідність ґрунту також залежить від її вологості, однак, вигляд цієї залежності в порівнянні з теплоємністю виявляється більш складною. При цьому супіщані ґрунти характеризуються більш різким збільшенням теплопровідності при збільшенні вологості, ніж суглинисті. Крім того, ця залежність нелінійна і має вигляд S-подібної кривої з насиченням. Сама ж величина теплопровідності при зміні вологості ґрунту від нуля до повного насичення змінюється на декілька порядків.

Зв'язок теплопровідності і вологості ґрунту встановлено у роботі Д.А. Куртєнера і А.Ф. Чудновського:

$$\lambda(w) = c(w) [\lambda_1 (w - \lambda_4)^2 + \lambda_2 \rho_S + \lambda_3] \quad (4.2)$$

де $\lambda(w)$ - теплопровідність ґрунту.

Значення коефіцієнтів наведені у таблиці 3.1. Ці співвідношення використовуються при моделюванні температурного режиму ґрунтів.

Таблиця 4.1 - Коефіцієнти, які визначають залежність теплопровідності ґрунту від вологості

Тип ґрунту	λ_1	λ_2	λ_3	λ_4
Чорнозем звичайний	-130	3,1	1,21	0,20
Темно-каштановий	-170	2,2	1,90	0,18
Сірозем	-62	2,7	0,20	0,18
Південний чорнозем	-104	2,4	0,68	0,20
Дерново-глейовий	-200	3,1	1,40	0,20

Розглянемо деякий компартмент за номером j . Очевидно, що з погляду теплообміну всі компартменти, крім першого, який граничить з приґрунтовим повітрям, і останнього, рівноправні, оскільки у кожного існує два «сусіди». Позначимо площу поперечного розрізу кожного з

компартментів через P . Висота j -го компартменту, як уже говорилося, дорівнює A , а його об'єм дорівнює:

$$V_j = h_j F \quad (4.3)$$

Температура ґрунту має характерну добову і сезонну варіабельність. Протягом кожної доби температура поверхні ґрунту досягає мінімуму приблизно на момент сходу Сонця. При відсутності роси і сухої поверхні ґрунту температура її верхніх шарів починає збільшуватися відразу ж після сходу Сонця і досягає максимуму приблизно о 14 год., після чого знову зменшується. При високій вологості ґрунту і при наявності роси підвищення температури у ранкові години сповільнюється, тому що значна частка прихідної сонячної енергії витрачається на випаровування[2].

Максимальне значення температури поверхні ґрунту, залежить як від її вологості, так і від щільності травостою. Досить густий рослинний покрив (при листовому індексі 4-5) екранує ґрунт від прихідної радіації, а посів витрачає велику частину прихідної радіації на транспірацію. Тим самим ґрунт охороняється від перегріву, що сприятливо позначається на життєдіяльності ґрунтової біоти.

Завдяки тому, що коливання температури у добовому ході запізнюються при збільшенні глибини, існують моменти часу, коли максимум профілю температури знаходиться у ґрунті на деякій глибині: верхні шари ґрунту починають прохолоджуватися, в той час як температура більш глибоких шарів продовжує рости.

Зрозуміло, що вже на глибині 40-50 см амплітуда коливань температури не перевищує 2-3 °С. Температура ґрунту на глибині 100-150 см не змінюється протягом доби, але має явно виражений сезонний хід. У середніх широтах Північної півкулі мінімум температури на цій глибині досягається приблизно наприкінці березня, а максимум - у третій декаді серпня кожного року. З точністю до $\pm 1^\circ\text{C}$ можна прийняти, що на цій глибині

температура протягом усього сезону вегетації має стандартний хід, який відповідає середнім багаторічним (кліматичним) даним.

Водний режим є основним у житті рослин. При описі водного режиму варто виділити два принципово різних процеси - промочування ґрунту і його висушування.

При зволоженні ґрунту після досить інтенсивних опадів або поливу волога переміщається всередину ґрунту під дією суми двох сил - маси і сисної сили більш сухих нижніх шарів. Якщо верхній шар ґрунту промокає при цьому до максимального насичення, рух води здійснюється у рідкій фазі і відбувається в основному по великих порах, тріщинах та інших локальних каналах. Якщо розглядати вегетаційний сезон в цілому, то періоди зволоження займають не дуже великий відсоток сумарного часу, особливо в аридних і напіваридних регіонах, де вода є основним фактором, який лімітує урожай[5].

Значно більш істотне значення у житті рослин має режим висушування. В цьому режимі розчинені у воді мінеральні речовини підтягуються до коренів рослин, а самі рослини, поглинаючи воду з ґрунту і, випаровуючи її в атмосферу, підтримують свої життєво важливі функції в межах, які забезпечують їхнє нормальне функціонування. У тих випадках, коли ґрунт повністю насичений водою, на нього не діють ніякі інші сили, крім маси, і волога вільно перетікає в нижче розташовані шари аж до водоупору або ґрунтових вод. Однак, якщо виключити з розгляду болота і заливні луки, така ситуація створюється лише на короткочасні періоди. Звичайно лише частина порового простору зайнята водою, а інша - ґрунтовим повітрям. Саме рух вологи, у ненасиченій зоні ґрунтового профілю представляє головну задачу моделювання.

При зменшенні вологості пересування вологи починає здійснюватися по капілярах різного діаметра і «зазорах» між ґрунтовими агрегатами. Оскільки в більш сухих шарах зайняті водою капіляри в середньому мають менший діаметр, вода починає підійматися в ці шари за рахунок різниці

капілярних тисків. Ця сисна сила ґрунту починає превалювати над силою маси і стає основною при зменшенні вологості нижче найменшої вологоємності. При подальшому висушуванні ґрунту перенесення вологи здійснюється; як у рідкій фазі у вигляді дифузії молекул у шарі води, адсорбованому на ґрунтових частках, так і у вигляді водяної пари, яка дифундує у вільному поровому просторі. При цьому на сумарну швидкість волого перенесення починає впливати не тільки градієнт вологості, але і градієнт температури. Вертикальні градієнти температурного поля ґрунту, покритого рослинністю, не настільки значні, щоб цей ефект міг відігравати істотну роль у сумарному волого обміні посіву. Головними діючими силами, відповідальними за переміщення води у ґрунті є, таким чином, сила маси, завжди спрямована вниз і гідравлічний потенціал, дія якого спрямована від більш вологих шарів ґрунту до більш сухих. Наявність коренів у ґрунті варто розглядати як розподілену по глибині функцію стоку або джерела.

Водний потенціал або «тиск» ґрунтової вологи прийнято подібно осмотичному тиску вважати величиною негативною і вимірювати в тих же одиницях, що і тиск, тобто в гектопаскалях, атмосферах або сантиметрах водного стовпа (як відомо, 1 атм = 1000 см водного стовпа). Величину зворотну водному (гідравлічному) потенціалу вважають «сисною силою» ґрунту[7].

Подібно напруженню в електротехніці або градієнту температури в теплофізиці градієнт водного потенціалу є рушійною силою міграції вологи в ґрунті. Якщо сила струму дорівнює різниці потенціалів електричного поля, помноженої на провідність, швидкість руху рідини у пористому середовищі, відповідно до закону Дарсі, дорівнює градієнту потенціалу, помноженому на волого провідність цього середовища. Точно так само швидкість перенесення тепла визначається добутком градієнта температури на коефіцієнт теплопровідності.

Отже, швидкість руху вологи у ґрунті V відповідно до закону Дарсі визначається виразом:

$$v = -k \frac{\Delta H}{\Delta x} \quad (4.4)$$

де k - коефіцієнт волого провідності;

$\Delta x = x_2 - x_1$ - різниця близько розташованих рівнів ґрунтового профілю;

$\Delta H = H(x_2) - H(x_1)$ - різниця напорів води на цих рівнях.

Знак мінус свідчить про те, що швидкість волого перенесення спрямована в сторону, протилежну зростанню напору. Сам напір H містить два доданки.

Рух ґрунтової вологи в ненасиченій зоні визначається двома основними залежностями. Перша з них - це зв'язок коефіцієнта волого провідності з водним потенціалом, тобто функції $k(p)$. Друга, мабуть, навіть більш важлива, це так названа крива водо утримання чи «основна гідрофізична характеристика» ґрунту. ОГХ визначається як залежність об'ємної вологості ґрунтів від водного потенціалу. Чим сухіше ґрунт, тим більше його «сисна сила», яка дорівнює водному потенціалу, узятому зі зворотним знаком.

Отже, водний потенціал має збільшуватися за абсолютною величиною при зменшенні вологості і перетворюватися в нуль при повній вологоємності. При незначному зменшенні вологості ґрунту від повної вологоємності тиск ґрунтової вологи зростає на деяку величину практично миттєво. Цю ділянку кривої досить складно описати при моделюванні, у багатьох моделях вона замінюється вертикальною лінією, що продовжується до перетинання з плавним продовженням верхньої кривої у точці А. Можливість такої апроксимації пов'язана з тим, що режими, близькі до повного зволоження ґрунту, зустрічаються досить рідко. Деякі помилки, які тут з'являються, істотно не впливають на загальний розрахунок.

Подальше зниження вмісту вологи приводить до підвищення абсолютної величини потенціалу, який описується опукло-ввігнутою кривою з точкою перегину. Практичне значення мають точки, зв'язані з тиском, приблизно рівним -330 см і -15000 см. Перша з них відповідає найменшій вологоємності ґрунту. Це той вміст води у ґрунті, який залишається після

стікання зайвої вологи під дією гравітаційних сил. Вологість, яка приблизно дорівнює -15000 см (точне значення залежить від виду рослин), називається вологістю в'янення. При вологості, менше ВВ, рослини не здатні поглинати вологу з ґрунту, оскільки при цьому сисна сила ґрунту виявляється вище, ніж та максимальна сисна сила, яку може розвинути коренева система. Ця волога є недоступною для рослин[10].

При вологості, рівній НВ і нижче, у ґрунті мається достатня кількість не тільки води в її рідкій фазі, але і повітря. При цьому створюються сприятливі умови для життєдіяльності кореневої системи. Тому діапазон вологості ґрунту приблизно від $0,7$ НВ до НВ є для рослин оптимальним. При зменшенні вологості нижче $0,7$ НВ або вище НВ створюються стресові умови або по зволоженню ґрунту, або по постачанню кореням кисню.

Таким чином, доступна для рослин волога знаходиться в межах вище ВВ, а сприятлива для росту і розвитку рослин - у діапазоні від $0,7$ НВ до НВ. Зрозуміло, усі ці границі орієнтовні і залежать як від вирощуваної культури, так і від інших факторів навколишнього середовища, зокрема, від температури і вологості повітря.

Перейдемо до розгляду іншої гідрофізичної характеристики ґрунту - коефіцієнта її волого провідності. Залежність $k(p)$ при повному насиченні має назву коефіцієнта фільтрації k_f . Зі збільшенням абсолютної величини водного потенціалу, тобто зі зменшенням вологості ґрунту, $k(p)$ зменшується. При цьому значення коефіцієнта фільтрації глинистих ґрунтів виявляється на багато менше, ніж відповідне значення для піску або ґрунтів легкого складу[12].

У той же час при зниженні вологості (росту сисної сили ґрунту) волого провідність легких ґрунтів зменшується більш різко і при вологості, меншій НВ, значення $k(p)$ для піску виявляється нижче, ніж для суглинку. В зв'язку з цією властивістю волого провідності посіви на легких ґрунтах виявляються надзвичайно чутливими до посушливих періодів: різке зростання коефіцієнта волого провідності за умов, близьких до насичення, приводить до швидкого

проникнення води, яка випадає у вигляді опадів, у нижні ґрунтові горизонти і зникнення її з шару, в якому розміщується коренева система.

Взагалі, вигляд розглянутих кривих визначається багатьма властивостями ґрунту - їхнім мінералогічним складом, щільністю, вмістом ґрунтової органіки і, зрештою, залежить від всієї історії ґрунтоутворюючого процесу в даному місці. Характерні риси залежностей $p(w)$ і $k(p)$ пов'язують з легко вимірюваними ґрунтовими параметрами.

Компартментна модель, яка описує динаміку водного режиму ґрунту, багато в чому аналогічна моделі тепло перенесення. Маються, однак, і принципові розходження. Перше з них пов'язано з тим, що вхідні в модель коефіцієнти самі залежать від моделюємої величини - вологості ґрунту або водного потенціалу. Тим самим моделі стають нелінійними, що різко ускладнює як аналіз, так і чисельне рішення рівнянь переносу. Друга відмінність пов'язана з тим, що в кожному компартменті з'являється функція внутрішнього стоку - поглинання води коренями. Тим самим задача кількісного опису динаміки волого обміну стає більш складною. З'являється необхідність зв'язати її з процесами, які відбуваються в інших блоках моделі не тільки через граничну умову (умова на границі ґрунт-повітря), але і через функцію розподілених по ґрунтовому профілю стоків, їхній сумарний транспорт по рослині і транспірацію[22].

Розглянемо рівняння водного балансу у деякому ґрунтовому шарі. Зміна вологовмісту у j -му компартменті за малий проміжок часу $\Delta t = t_{k+1} - t_k$ можна записати у вигляді:

$$\Delta W_i = W_i(t_{k+1}) - W_i(t_k) = [(v_{i+1} - v_i) - h_i f_i] F \Delta t \quad (4.5)$$

де F і h_i - відповідно площа і товщина компартмента; v_i і v_{i+1} - швидкість руху води через верхню і нижню границі; f_i - швидкість поглинання води коренями, яка віднесена до одиниці об'єму ґрунту.

Співвідношення (3.5) не що інше, як рівняння балансу (або нерозривності): кількість рідини, яка поступає в компартмент дорівнює $v_{i+1}F\Delta t$, а яка витікає дорівнює сумі потоку через нижню межу $v_i\Delta t$ кореневого поглинання $f_i h_i F\Delta t$.

Для проведення розрахунків динаміки руху вологи необхідно, таким чином, використовувати залежність потенціалу від вологості. Ця залежність саме і визначається ОГХ. Використання ОГХ дозволяє виключити одну з двох цих величин і записати рівняння або для динаміки вологовмісту, або для динаміки водного потенціалу. Звичайно перевагу має другий шлях, для чого приводяться два аргументи. Перший з них зводиться до того, що поглинання вологи коренями визначається різницею водних потенціалів ґрунту і рослини і для замикання моделі все рівно приходиться розраховувати потенціали. Другий заснований на аналогії: рівняння тепло перенесення записані для аналога потенціалу - температури, а не для аналога вологості - кількості потенціалу в компартменті.

На межі ґрунт - повітря має бути заданий потік вологи - негативний випадку випадання опадів і позитивний - при випаровуванні. При цьому інтенсивні дощі приводять до того, що волога не встигає усмоктуватися верхнім шаром ґрунту і просочується в глиб ґрунтового профілю. При наявності схилу це приводить до стікання частини води, а на горизонтальних ділянках і нерівностях поля утворюються калюжі. У моделі шар вільної вологи на поверхні ґрунту рівномірно «розповсюджується» по всьому полю і характеризується наведеною висотою стовпа води, що досягає декількох міліметрів. Ця величина додається до водного потенціалу, який при наявності насиченого вологою верхнього шару стає позитивним.

Після припинення опадів вільна волога частково випаровується, а частково усмоктується в ґрунт. При цьому «працює» саме криволінійна ділянка ОГХ, близька до вертикалі. Ця обставина ускладнює процес розрахунку і приводить до того, що в досить докладних моделях режим усмокування повинен описуватися за допомогою спеціальних алгоритмів. У

прикладних моделях, де не потрібна висока точність, ці труднощі обходяться за рахунок використання дещо спрощеного перерозподілу надлишкової вологи по ґрунтових компартментах. Цей процес починається з верхнього компартмента, який заповнюється до ПВ чи НВ, якщо залишилися волога то додається у другий компартмент і т.д. - доти, поки запас надлишкової вологи не буде вичерпаний. Якщо при цьому виявляється, що весь ґрунтовий профіль насичений водою, вважається, що надлишкова кількість вологи виноситься за межі розрахункового шару[15].

Можна виразити потенціал кореня P_r через транспірацію:

$$P_r = \frac{\sum_{i=1}^{NR} h\omega p - E/\xi}{\Omega} \quad (4.6)$$

і для поглинання води коренями у j -му компартменті записати:

$$f_j = \frac{\omega}{\Omega} E - \frac{\xi\omega}{\Omega} (\sum_{i=1}^{NR} h\omega p - \Omega p) \quad (4.7)$$

Приймається, що водний потенціал безпосередньо поблизу кореня дорівнює його середньому значенню на даній глибині ґрунтового профілю.

Функція стоку у корінь визначається виразом (3.7).

Ці співвідношення справедливі для всіх компартментів, крім нульового й останнього. Тому до них необхідно додати граничні умови.

На земну поверхню випадає протягом року в середньому 710 мм опадів, а сумарне випаровування складає 240 мм, проте, розподіл опадів, як по територіях областей, так і в кожному місці протягом року нерівномірний і ґрунтова волога в багатьох випадках є фактором, який лімітує урожай. Більш того, багато регіонів нашої країни періодично страждають від посухи, так що прогноз водного режиму ґрунтів і раціональне використання водних ресурсів є в землеробстві одним з найважливіших. При моделюванні водного режиму варто звернути увагу на два моменти - це по-перше, динаміка продуктивної вологи, найчастіше, у метровому шарі ґрунту і, по-друге, розподіл волого запасів по ґрунтовому профілі.

Вологість ґрунту не має чітко вираженого добового ходу. Добовим коливанням піддається транспірація, тобто швидкість вилучення води з ґрунту за режиму висушування. Однак ці коливання мало відбиваються на загальному балансі. Вологозапаси у ґрунті досить швидко збільшуються при випаданні опадів і при поливах, а в проміжках між опадами й у міжполивні періоди повільно зменшуються. Це зменшення частково відбувається за рахунок гравітаційного стікання води, але в більшості за рахунок транспірації і поверхневого випаровування. Тому типовий сезонний хід волого запасів має чітко виражений пилкоподібний характер. При цьому в залежності від балансу опадів і транспірації вологість ґрунту в середньому за досить тривалі періоди (декада, місяць) або збільшується, або зменшується[17].

Типовою є ситуація, коли рослини у перший період свого життя забезпечуються водою за рахунок весняних запасів вологи, які утворилися в результаті випадання осінніх дощів і танення снігу. Надалі доля посіву залежить від поповнення вологи, оскільки інтенсивна транспірація, починаючи з моменту виходу в трубку, приводить до швидкого витрачання запасеної вологи. У цьому процесі істотну роль грає вертикальний розподіл ґрунтової вологи. Оскільки висушування починається з верхніх шарів ґрунту, то доля урожаю багато в чому залежить від того, наскільки швидко корені рослин проникають у більш глибокі ґрунтові шари, де вони можуть знайти достатню кількість вологи. При цьому особливу роль починають грати адаптивні властивості рослин, які приводять до прискореного росту коренів у глиб ґрунту при водному дефіциті.

4. 2 Модель хімічного забруднення ґрунтів

Аналіз показує, що основними джерелами хімічного забруднення ґрунтів є хімічні речовини, використовувані в сільському господарстві

(пестициди отрутохімікати та ін.); атмосферні опади в радіусі дії промислових підприємств (особливо хімічних і металургійних); видобування корисних копалин; теплові й атомні електростанції; мінеральні добрива.

Значна частина джерел забруднення ґрунтів справляє локальну дію, але деякі з них діють у регіональному й навіть у глобальному масштабі, особливо в разі забруднення через атмосферні опади або; внаслідок використання добрив на значних площах.

Хімічне забруднення ґрунтів відбувається переважно двома шляхами:

- поглинанням верхнім шаром ґрунту викидів промислових джерел в атмосферу;

- безпосереднім внесенням хімічних речовин у вигляді меліорантів, добрив, пестицидів, гербіцидів. У першому випадку математична модель істотно залежить від структури перенесення забруднень повітряним шляхом, висоти, потужності джерела забруднень і відстані від нього.

Як вихідне рівняння моделі об'єкта було покладено:

$$L(x, y, z) = M_1 \delta(x) \delta(y) \delta(Z - H) + M_2 \delta(x) \delta(y) f(z), \quad (4.8)$$

де $L(x, y, z)$ – рівняння дифузії в тривимірному просторі; перший доданок характеризує джерело викидів на висоті H (домішки надходять через трубу); другий доданок — неорганізовані викиди заводу. Функція $f(z)$ може мати різний вигляд.

Коефіцієнти рівнянь (4.7) і (4.8) — випадкові функції метеофакторів, тому, беручи суму цих рівнянь з певними ваговими коефіцієнтами M_i , вибраними пропорційно часу дії метеорологічних умов i -го типу, «усереднені» рівняння також дістанемо у вигляді (4.7) або (4.8).

4.2.1 Основні характеристики важких металів

Важкі метали – токсичні елементи, які можуть міститись в продовольчій сировині та харчовій продукції, мають здатність накопичуватися в організмі.

Свинець відноситься до найбільш відомих отрут. В сучасному світі переважна частина харчових продуктів, вода та інші об'єкти навколишнього середовища забруднені свинцем.

Основними джерелами забруднення є двигуни внутрішнього згорання, в яких використовується пальне з присадками які містять свинець. З відпрацьованих газів двигунів, свинець потрапляє на поверхню землі у вигляді пилу. Середня кількість свинцю, який потрапляє в організм з харчовими продуктами, становить 250-300 мкг на добу, з повітря надходить близько 90 мкг [26].

При обробці продуктів основним шляхом потрапляння свинцю є жерстяна банка, в яку зазвичай консервують різноманітні продукти харчування як рослинного так і тваринного походження. Свинець потрапляє у продукт із свинцевого припою у швах банки. Встановлено, що біля 20 % свинцю у щоденному раціоні людей поступає з консервованої продукції, в тому числі від 13 до 14 % з припою, а 6-7 % - з самого продукту. Поступово, з упровадженням нових методів пайки та закрутки банок, вміст свинцю у консервованій продукції зменшується.

Свинець зазвичай має брудно-сірий колір, хоча свіжий його розріз має синюватий відлив і блищить. Проте блискучий метал швидко покривається тускло-сірою захисною плівкою оксиду. Щільність свинцю ($11,34 \text{ г/см}^3$) у півтора рази більше, ніж у заліза, вчетверо більше, ніж в алюмінію; навіть срібло легше за свинець.

Хоча в природних умовах Pb присутній у всіх рослинах, виявити яку особливу його роль в метаболізмі не вдалося. Розгляд цього питання призвів

до висновку про те, що якщо Pb і необхідний для рослин, та його концентрація на рівні 2-6 мкг/кг має бути вже достатньою.

Детальний аналіз даних про поглинання Pb корінням рослин дозволив прийти до висновку, що спосіб його поглинання – пасивний[17]. Швидкість поглинання знижується при вапнуванні і низьких температурах. Не дивлячись на погану розчинність Pb у ґрунті, він поглинається кореневими волосками і затримується в стінках кліток.

Коли Pb присутній в живильних розчинах в розчинній формі, коріння рослин здатне поглинати його у великій кількості, при цьому швидкість поглинання зростає з часом. Переміщення Pb з коріння в надземну частину вельми обмежено, і лише 3% Pb, що міститься в корінні, переміщується в стебло.

Переносимий повітрям Pb – головне джерело свинцевого забруднення – також легко поглинається рослинами через листя. Токсичність органічних форм Pb не лише перевершує токсичність неорганічних форм, але і що викликаються цими двома типами агентів ефекти розрізняються якісно. Проте симптоми свинцевого токсикозу в рослин не дуже специфічні [17].

Кадмій – рідкий і вельми розсіяний елемент. Його вміст в земній корі складає $1,1 \cdot 10^{-5}\%$. Через сильне розсіяння він не утворює самостійних рудних скупчень промислового значення, а зустрічається в рудах важких кольорових металів як домішка і витягується з них як побічний продукт.

Головний чинник, що визначає вміст Cd у ґрунтах – це хімічний склад материнських порід. Активність, а з нею і здатність рослин поглинати Cd, сильно залежить від рН ґрунту: він найбільш рухомий в інтервалі рН 4,5-5,5, а із збільшенням його значення рухливість падає.

В основному Cd локалізується в корінні і в менших кількостях у вузлах стебел, черешках і головних жилках листя. Кадмій вважається токсичним елементом для рослин, і основна причина його токсичності пов'язана з порушенням ензиматичної активності.

Видимі симптоми, викликані підвищеним вмістом Cd у рослинах – це затримка зростання, пошкодження кореневої системи, хлороз листя, червоно-буре забарвлення їх країв або прожилків. Окрім створення перешкод нормальному метаболізму ряду мікрокомпонентів живлення фітотоксичність Cd виявляється в гальмівній дії на фотосинтез, порушенні транспірування. Відомо, що Cd інгібує процеси в мікроорганізмах, що відбуваються за участю ДНК, перешкоджає симбіозу мікробів і рослин і підвищує схильність рослин до грибкових інвазій.

Сприятливий режим фосфору знижує токсичну дію Pb. Це взаємодія – наслідок здатності Pb до утворення нерозчинних фосфатів в рослинних тканинах і ґрунтах. Відомо, що S уповільнює перенесення Pb з коріння у стебла [27].

4.2.2 Морфологічні характеристики рослин, які впливають на поглинання важких металів

Найбільш небезпечними для живих організмів і рослин є такі важкі метали як свинець, мідь, кадмій, цинк і інші забруднюючі елементи. Біля 90% важких металів, потрапляючи в довкілля, акумулюються ґрунтом. Потім вони мігрують в природні води, поглинаються рослинами і потрапляють в харчові ланцюги.

Свинець, ртуть, мідь та цинк вважаються основними забрудниками, головним чином тому, що техногенне їх накопичення в довкіллі йде особливо високими темпами. Дані елементи володіють великою спорідненістю з фізіологічно важливими з'єднаннями і можуть пригнічувати найбільш значимі процеси метаболізму, припиняти зростання і розвиток.

Допустима кількість важких металів, яку людина може споживати з продуктами харчування без ризику для життя, коливається залежно від виду металу в межах: свинець – 3 мг, кадмій – 0,4-0,5 мг, ртуть – 0,3 мг в тиждень.

Хоча ці рівні умовні, проте вони служать основою для контролю вмісту важких металів в продуктах харчування.

У живих організмах важкі метали грають особливу роль. У низьких концентраціях вони входять до складу біологічно активних речовин, які регулюють нормальний хід процесів життєдіяльності. Порушення в разі техногенного забруднення концентрацій, призводить до негативних, а інколи катастрофічних наслідків для живих організмів.

Потрапляючи в рослини, важкі метали розподіляються в їх органах і тканинах нерівномірно. Тому вивчення особливостей акумуляції важких металів в рослинах може допомогти обмежити їх потрапляння в організм людини [18].

Частіше кореневі системи рослин утримують більше цинку, ніж надземні органи. У надземних органах цинк концентрується переважно в старому листі. Коріння пшениці відрізняється більшим вмістом свинцю і кадмію порівняно з листям. Рівень накопичення важких металів в репродуктивних органах рослин значно нижчий, ніж у вегетативних, і залежить від біологічних особливостей культури, фізіологічної ролі елементу, його вміст в ґрунті і доступності для рослин. Це можна вважати позитивним фактором, оскільки саме вони складають господарську важливу частину основних овочевих культур.

Механізми поглинання, транспорту, метаболізму і розподілу важких металів в органах і тканинах тісно пов'язані з видовими і сортовими особливостями вирощуваних культур, на які впливають екологічні і антропогенні чинники [18]. Знання про закономірності розподілу важких металів в тканинах і органах рослин дають можливість визначити механізми їх перерозподілу і акумуляції в процесі розвитку рослин, розробити достовірні методи оцінки якості врожаю, вірно сертифікувати продукцію.

Знання особливостей розподілу важких металів в рослинах має інтерес, оскільки дозволяє раціонально використовувати продукцію в процесі технологічної переробки і при використанні в сирому вигляді.

Накопичення і розподіл важких металів в органах рослин залежить, перш за все, від вигляду, фізіологічної спеціалізації і морфологічних ознак окремих органів (тип листя, розмір стебла і прожилкок, розмір центрального циліндру в коренеплодах).

У коренеплодах моркви вміст важких металів (окрім заліза) зменшується від кінчика до голівки. Для заліза характерний високий вміст в голівці і рівномірний розподіл в інших частинах коренеплоду. У центральній частині коренеплоду спостерігається підвищена кількість цинку і свинцю, а в шкірці – підвищена кількість міді, марганцю, кадмію і заліза.

Мінімальна кількість кадмію, цинку і свинцю знаходиться в м'якоті бульби картоплі. Підвищена кількість заліза характерна для периферійної частини бульби. Мідь розподілена рівномірно у всіх частинах бульби.

Капуста відрізняється від інших овочевих культур і картоплі підвищеним вмістом цинку і зниженим – кальцію.

Для зелених культур характерний вищий вміст свинцю в стеблах, ніж в листових пластинах. Серед зелених культур найбільша кількість свинцю у всіх органах рослини спостерігається в кропиві, щавлі, салаті [18].

4.3 Моделювання забруднення рослинницької продукції Закарпатської області цинком

У сучасній екологічній науці широке застосування мають методи математичного моделювання, які дозволяють урахувати увесь комплекс факторів навколишнього середовища для оцінки стану екосистеми. У роботі виконано оцінку забруднення рослинницької продукції, яка вирощується у Закарпатській області, важким металом – цинком.

У зв'язку із збільшенням антропогенного навантаження на агроценози актуальним є питання визначення ступеню забруднення сільськогосподарської продукції, яка вирощується на землях, які зазнають значного забруднення за рахунок внесення мінеральних добрив, та засобів

захисту рослин. До складу цих засобів входить значна кількість важких металів, які накопичуються у ґрунтів та в результаті сільськогосподарського виробництва потрапляють у рослини. [1].

Для урахування впливу забруднення ґрунтів на якісні та кількісні характеристики рослинницької продукції запропоновано багато методів, найбільш сучасними з яких є методи математичного моделювання. За допомогою математичної моделі, яка наведена у роботі накопичення важких металів рослиною розглядається в залежності від утримання рухомих форм важких металів у ґрунті. Швидкість надходження важких металів у рослину описується формулою (4.9):

$$\frac{\Delta A_q^{\text{погл(о)}}}{\Delta t} = \frac{86,4 \alpha_q^{\text{погл}} \bar{A}_q^{\text{гр}} m_r^j}{a_r} \quad (4.9)$$

де $\frac{\Delta A_q^{\text{погл}}}{\Delta t}$ – швидкість поглинання важких металів корінням рослини, $\text{мгм}^{-2} \text{доб}^{-1}$; $\alpha_q^{\text{погл}}$ – поглинальна здібність кореню, мс^{-1} ; $\bar{A}_q^{\text{гр}}$ – концентрація рухомих форм q -го виду важких металів у ґрунті, мгкг^{-1} ; a_r – радіус кореню., см ; q – вид важкого металу.

На рисунку 4.1 наведено вміст цинку у рослинницькій продукції, яка вирощується в умовах Закарпатської області.

За наведеною формулою визначено швидкість поглинання цинку більшістю сільськогосподарських рослин, які вирощуються в умовах Закарпатської області. Проаналізувавши швидкість поглинання за даними 2019 року були зроблені наступні висновки, що найбільша швидкість поглинання отримана для технічних культур та багаторічних трав, найменша для зернових та зерно – бобових культур. При цьому, важливу роль у визначенні ступеню забруднення ґрунтів цинком відіграють умови зволоження ґрунту. При більш посушливих умовах кількість цинку, який поглинається рослиною, збільшується у порівнянні з достатніми умовами зволоження ґрунту. Для

зменшення впливу важких металів на якісні та кількісні характеристики сільськогосподарських рослин, які вирощуються на територіях із збільшеним вмісту такого важкого металу як цинк рекомендується застосування додаткових прийомів обробки ґрунту, із зменшення їх накопичення у верхніх шарах ґрунту.

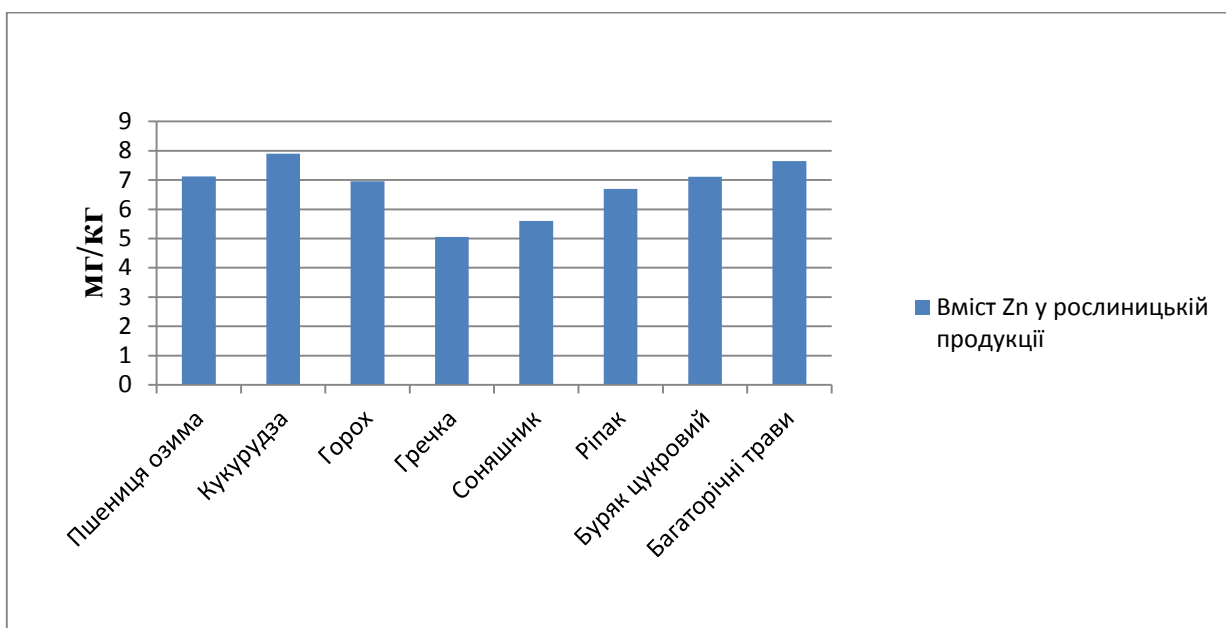


Рис. 4.1 - Вміст Zn у рослинницькій продукції

Що до Zn, то максимальний його вміст спостерігається в кукурудзі, озимій пшениці, багаторічних трави, а мінімальні в гречці та соняшнику.

За допомогою наведеної вище методики можливо визначити вміст будь яких важких металів у сільськогосподарській продукції, яка вирощується в умовах Закарпатської області та надати практичні рекомендації що до отримання екологічно чистої сільськогосподарської продукції в умовах Закарпатської області.

ВИСНОВКИ

В результаті наукової роботи були дробленні наступні висновки:

1. Закарпаття багате на різноманітні корисні копалини. Розвідано близько 220 родовищ, в яких наявні 30 матеріалів, що мають промислове значення, Це: кольорові, рідкісні та дорогоцінні метали (золото, срібло, ртуть, германій, цинк, свинець та ін.), неметали (барит, цеоліт, бентоніт, доломіт, алуніт), сіль, вугілля, газ, будівельні матеріали (мармур, базальт, андезит, керамзит, перліт і ін.), мінеральні і термальні води. Формування більшості родовищ корисних копалин пов'язано з останнім геологічним етапом розвитку Карпат (вулканічні формування). Однак наявні також формування кристалічних сланців, мармурів, кварцитів тощо, які розміщені на великих глибинах, а в Мармороському кристалічному масиві виходять на денну поверхню (Рахівський район). Їх утворення відбулося на початковому етапі формування гір (230-240 млн.років тому).

2. Клімат Закарпаття є помірно континентальним з достатнім і надлишковим зволоженням, нестійкою весною, не дуже спекотним літом, теплою осінню і м'якою зимою.

3.Для забезпечення оптимального режиму живлення рослин, крім мікроелементів (азот, фосфор, калій), необхідні макроелементи (В, Мо, Мп, Со, Сu, Zn). Незважаючи на надзвичайно малий вміст макроелементів, роль їх дуже велика: підвищується уміст хлорофілу в листках рослин, зростає інтенсивність їхнього фотосинтезу, посилюється діяльність ферментативного комплексу, підвищується стійкість рослин проти хвороб. Мікроелементи - це елементи, які містяться в досить малій кількості у ґрунті та рослинах (0,01-0,001 % на суху речовину). Вміст рухомих форм мікроелементів змінюється залежно від рівня застосування макро- і мікроелементів та вегетації рослин.

4. Найбільші значення по азоту спостерігаються у Воловецькому районі , найменші у Тячівському, а середні значення складають у Рахівському.

5. Найбільші значення по фосфору спостерігаються у Рахівському районі , найменші у Воловецькому районі, а середні значення складають у Тячівському.

6. Найбільші значення по калію спостерігаються у Тячівському районі , найменші Воловецькому, а середні значення складають у Рахівському.

7. Найбільші значення кислотності спостерігаються у Рахівському районі , найменші Тячівському, а середні значення складають у Воловецькому.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Закарпатській області за 2015-2019 роки.
2. Азманова Н.В., Акімов І.А. та ін.. Екологічний атлас. Атлас-монографія. К.: Варта, 2006. 220 с.
3. ДСТУ 4362:2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 19 с.
4. Методика агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення/За ред. С. М. Рижука, М. В. Лісового, ц. М. Бенцаровського. К.: 2003. 64 с.
5. Патица В. П., Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
6. Бібліотека Всеукраїнської екологічної ліги. Серія «Охорона навколишнього середовища», «Стан ґрунтів України»/ За ред.. О.Г. Татаріко. К.: березень, 2005, №3 (15). 31 с.
7. Методичні вказівки до самостійної роботи з вивчення дисципліни «Інтегрований захист рослин»/ С.М. Вигера. К.: Видавничий центр НАУ, 2008. 73 с.
8. Агрохімія: Підручник/М. М. Городній та ін. К.: ТОВ "Алефа", 2003. 778 с.
9. Булігін С. Ю. та ін. Оцінка і прогноз якості земель: Навч. посібник/Булігін С. Ю., Барвінський А. В., Ачасова А. О., Ачасов А. Б. / Харк. нац. аграр. ун-т. Х., 2008. 237 с.
10. Винера С.М. Методичні вказівки до самостійної роботи з вивчення дисципліни «Інтегрований захист рослин» для студентів напрямку підготовки – 0401 «Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансованого природокористування». К.: НАУ, 2008. 73 с.

11. Гайнріх Д., Гергт М. Екологія: Пер. з 4-го нім. вид./Худож. Рудольф і Розмарі Фанерт; Наук. ред. пер. В. В. Серебряков. К: Знання-Прес. 2001. 287 с.
12. Пестициди і технічні засоби їх застосування: Навч. посібник/М.Д., Євтушенко, Ф. М. Марютін, І.І. Сушко, В. М. Жеребко та інші/За редакцією М. Д. Євтушенка, Ф. М. Марютіна. Харків, 2001. 349 с.
13. Булигін С. Ю. та ін. Оцінка і прогноз якості земель: Навч. посібник/Булигін С. Ю., Барвінський А. В., Ачасова А. О., Ачасов А. Б./ Харк.нац. аграр. ун-т. Х., 2008. 237с.
14. Гнатенко О. Ф., Петренко Л. Р., Капштик М. В., Вітвицький С. В., Кравченко Ю. С., Богданович Р. П. Грунтознавство. Лабораторний практикум. К.: РВЦ НАУ, 2000. 170с.
15. Патика В. П., Трараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. К.: Фітосоціцентр, 2002. 296с.
16. Стан родючості ґрунтів України та прогноз його змін за умов сучасного землеробства/За ред. В. В. Медведєва, М. В. Лісового. Харків: ШТРИХ, 2001. 100с.
17. Методичні рекомендації з комплексної агроекологічної оцінки земель сільськогосподарського призначення / За ред. к. с.-г. н. О. О. Ракоїд. К.: Логос, 2008. 51с.
18. Рідей Н. М., Наумовська О. І., Паламарчук С. П., Строкаль В. П., Шофолов Д. Л., Горбатенко А. А., РРибалко Ю. В. Комплексна екологічна оцінка земель за агроекологічними показниками ґрунтового вкриття для одержання конкурентноспроможної рослинницької продукції/За ред. Н. М. Рідей. К.: Видавництво НУБІП. 2009. 180с.
19. Технологія відтворення родючості ґрунтів у сучасних умовах/ За ред. С. М. Рижук і В. В. Медведєва. Харків, 2003. 214с.

20. Грабак Н. Х., Тоніха І. Н., Давиденко В. М., Шевель І. В. Основи ведення сільського господарства та охорони земель: Навч. Посіб. 2-ге вид-ня. К.: ВД "Професіоналізм". 2006. 496с.
21. Грунтознавство: Підручник/Д. Г. Тихоренко, М. О. Горін, М. І. Лактіонов та ін./ За ред. Д. Г. Тихоненка. К.: Вища школа. 2005. 703с.
22. Кривов В. М. Екологічно безпечне землекористування Лісостепу України. Проблема охорони ґрунтів. Л.: Урожай. 2006. 302с.
23. Лактіонов М. І. Агрогрунтознавство. Навч. посіб. Харків. Видавець Шуст А. І., 2001. 156с.
24. Марчук І. У. та ін. Добрива та їх використання Довідник/ І. У. Марчук, В. М. Макаренко, В. Є. Розстальний, А. В. Савчук. К.: 2002. 243с.
25. Охорона земель та стале землекористування: Наук.-метод. центр/Рідей Н. М., Тонха О. Л., Шофолов Д. Л. луганськ: Вид-во ТОВ "Протехснаб", 2009. 250с.
26. Кулініч В. В. Земельні ресурси України: нуобхідність еколого-економічної оптимізації використання// Землеустрій і кадастрі; 2007. №1 с. 20-24.
27. Лакстіонов М. І. Агрогрунтознавство. Навч. посіб. Харків: Видавець Шуст А. І., 2001. 156с.
28. Довідник міжнародних стандартів для органічного агровиробництва/ Навчально-кординаційний центр сільськогосподарських дорадчих служб/ За ред М. В. Капштика та О. О. Котирлок К.: СПД Горобець Г. С. 2007ю 356с.
29. Гавриленко О. П. Геоекологічне обґрунтування проектів природокористування: Навч. посібник К.: Ніка-Центр, 2003. 218с.
30. Агроекологія. Методологія, технологія, економіка/ В. А. Черников, И. Г. Грингоф, В. Т. Емцев и др./ Под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса. М.: Колос, 2004. 400с.

31. Кривов В. М., Тихоненко Р. В. Оптимізація земельних угідь сучасних агроландшафтів та формування екологічної мережі у новоутворених сільськогосподарських підприємствах/ Науковий вісник НАУ. 2006. №93.С. 89-95.
32. Охорона ґрунтів: Підручник/ М. К. Шикула, О. Ф. Гнатенко, Л. Р. Петренко, М. В. Капштик. 2-ге вид., випр. К.:Т-во "Знання", 2004. 398с.
33. Жовинский Э.Я., Кураева И.В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. – К.: Наукова думка, 2002. – 213 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Оцінка ґрунтів за щільністю складення (г/ см³)

Рівноважна щільність скрадення, г/см ³	Оцінка ґрунтів за щільністю
>1,50	Дуже щільні
1,35-1,40	Щільні
1,25-1,30	Ущільнені
1,10-1,20	Оптимально ущільнені
< 1,00	Розпушені

Додаток Г

Поправкові коефіцієнти на гранулометричний склад

Гранулометричний склад ґрунту	Коефіцієнти
Полісся	
Супіщані та піщані	0,80
Суглинкові	1,00
Лісостеп, Степ	
Легкосуглинкові	0,90
Середньосуглинкові	1,00
Важкосуглинкові і глинисті	0,90

Додаток Д

Поправкові коефіцієнти на потужність гумусового горизонту

Гранулометричний склад ґрунту	Коефіцієнти
Полісся	
< 20	0,80
20-40	1,00
> 40	1,20
Лісостеп і Степ	
< 30	0,90
30-60	1,00
> 60	1,10

Додаток Е

Значення щільності складення (г/см³) ґрунту для культур

№ п/п	Група культур	Оптимальний інтервал щільності, г/см ³	Допустимий інтервал щільності, г/см ³
1	Зернові	1,10-1,45	1,00-1,10 1,46-1,55
2	Технічні	1,0-1,35	0,80-1,02 1,36-1,60
3	Кормові	1,10-1,30	0,95-1,10 1,30-1,62

Додаток Э

Значення показників умісту гумусу % для культур

№ п/п	Група культур	Оптимальні значення гумусу, %	Допустимі значення гумусу, %
1	Зернові	>3,5	2,0-3,5
2	Технічні	>3,0 (для цукрових буряків і соняшника >3,5)	2,0-3,0 (для цукрових буряків і соняшника 2,0-3,5)
3	Кормові	>3,0	2,0-3,0

Додаток Ж

Значення показників обмінного калію (мг/кг) для культур

№ п/п	Група культур	Оптимальні значення мг/кг ґрунту			
		За методом Чирихова	За методом Кірсанова	За методом Мачигіна	За методом Маслової
1	Зернові	>110	>140	>250	>180
2	Технічні	>81 (для цукрових буряків і соняшника, картоплі 120-180)	>120(для цукрових буряків і соняшника, картоплі 170-250)	>201(для цукрових буряків і соняшника, картоплі 301-400)	>151(для цукрових буряків і соняшника, картоплі 201-
3	Кормові	>120	>170	>300	>200
Допустимі значення ґрунту, мг/кг					
№ п/п	Група	За методом	За методом	За методом	За методом
1	Зернові	40-100	81-140	101-250	101-180
2	Технічні	41-81 (для цукрових буряків і соняшника, картоплі 71-120)	81-120 (для цукрових буряків і соняшника, картоплі 120-170)	101-200 (для цукрових буряків і соняшника, картоплі 201-300)	101-150 (для цукрових буряків і соняшника, картоплі 201-300)
3	Кормові	41-120	81-170	101-300	101-200

Додаток З

Гранично допустимі концентрації важких металів у абстрактному ґрунті і рослинній продукції (за даними В. І. Кисіля, 1997 р.)

Важкі метали	ГДК рухомих форм у ґрунті,	ГДК валового вмісту в рослинній продукції, мг/кг абсолютно сухої
Цинк (Zn)	<23	<10
Кадмій (Cd)	<0,7	<0,003
Свинець (Pb)	<2	<0,5
Мідь (Cu)	<3	<5
Хром (Cr)	<6	<0,3
Ртуть (Hg)	0	<0,02

Додаток И

Значення рівня забрудненості важкими металами для культур

№ п/п	Група культур	Оптимальні значення, мг/кг ґрунту	Допустимі значення, мг/кг ґрунту
1	Зернові	1-2 кларки (<0,5 ГДК)	2-4 кларки (0,5-1,5 ГДК)
2	Технічні	1-3 кларки (0,5-1,0 ГДК)	3-6 кларки (1,0-2,5 ГДК)
3	Кормові	1-2 кларки (<0,5 ГДК)	2-4 кларки (0,5-2,5 ГДК)

Додаток І

Нормативні показники вмісту гумусу (%) у ґрунтах (за Гришиною Л. А., Орловим Д.С.)

№	Рівень забезпеченості	Уміст гумусу, %
1	Дуже високий	>10
2	Високий	6-10
3	Середній	4-6
4	Низький	2-4
5	Дуже низький	<2

Додаток ІІ

Нормативні показники вмісту азоту, що легко гідролізується (мг/кг)

№	Рівень забезпеченості	Уміст азоту, що легко гідролізується, мг/кг	
		За методом Тюріна й Коновалової	За методом Корнфілда
1	Дуже низький	<30	<100
2	Низький	31-40	101-150
3	Середній	41-50	151-200
4	Підвищений	51-70	>200
5	Високий	71-100	-
6	Дуже високий	>100	-

Апроксимоване агроекологічне районування території України

Зона, провінція, область	Тип ґрунтів, що переважає ГДК	Індекс самоочищення території
Полісся		
Волинська, Рівненська, Львівська – північні райони, Хмельницька – північні райони, Чернігівська, київська на північ від Обухова, Сумська на північ від лінії Конотоп-Глухів	Дерново-середньоопідзолисті, глинисто-піщані, ГТК 2-1,6	0,50
Лісостеп		
Західна провінція		
Тернопільська, Хмельницька – південні райони, Чернівецька, Вінницька	Сірі опідзолені, ГТК 1,4-1,6	0,60
Центральна провінція		
Київська – на південь від Обухова, Черкаська, Одеська на північ від Любашівки	Чорноземи мало гумусні типові, ГТК 1,4-1,6	0,55
Лівобережна висока провінція		
Полтавська, Сумська – на південь від лінії Конотоп-Глухів, Харківська – на північ від лінії Красноград – Куп'янськ	Чорноземи звичайні середньогумусні ГТК 1,2-1,1	0,70
Степ		
Північна підзона		
Кіровоградська, Дніпропетровська, Харківська на південь від лінії Красноград- Куп'янськ	Чорноземи звичайні мало гумусні, ГТК 0,8	0,50
Південні підзона		
Дністровсько-Дніпровська провінція, Одеська – на південь від Любашівки до Роздільної, Миколаївська, Херсонська – на північ від Каховки, Запорізька	Чорноземи звичайні мало гумусні, на південних лесах, ГТК 0,8-0,7	0,3

Зона, провінція, область	Тип ґрунтів, що переважає ГДК	Індекс самоочищення території
Донецька провінція		
Донецька, Луганська	Чорноземи звичайні мало гумусні, ГТК 0,9	0,38
Степова зона		
Херсонська - на південь від Сімферополя, прибережні райони Одеської та Запорізької областей	Чорноземи південні карбонатні, темно-каштанові, солонцюваті ґрунти ГТК 0,6-0,5	0,23
Зона Українських Карпат		
Передгірська зона		
Івано-Франківська, Львівська - південно-західна частина	Буровато-підзолисті, кислі ґрунти, ГТК 2,4	0,75
Закарпатська низинна провінція		
Закарпатська	Буроземи кислі мало гумусні, ГТК 2,6	0,78
Гірський Крим		
Предгірська лісостепова провінція – на південь від лінії Сімферополь - Феодосія	Чорноземи південні міцелярно-карбонатні, ГТК 1,0-0,7	0,38
Південнобережна провінція		
Південний берег	Чорно-коричневі ґрунти	0,30

Додаток К

Нормативні показники вмісту рухомого фосфору (мг/кг)

№	Рівень забезпеченості	Уміст рухомого фосфору, мг/кг		
		За методом Чирикова	За методом Кірсанова	За методом Мачигіна
1	Дуже низький	<20	<25	<10
2	Низький	21-50	26-50	11-15
3	Середній	51-100	51-100	16-30
4	Підвищений	101-150	101-150	31-45
5	Високий	151-200	151-250	46-60

6	Дуже високий	>200	>250	>60
---	--------------	------	------	-----

Додаток Л

Номартивні показники вмісту обмінного калію (мг/кг)

№	Рівень забезпеченості	Уміст рухомого калію (мг/кг)			
		За методом Чирикова	За методом Кірсанова	За методом Мачигіна	За методом Маслової
1	Дуже низький	<20	<40	<50	<50
2	Низький	21-40	41-80	51-100	51-100
3	Середній	41-80	81-120	101-200	101-150
4	Підвищений	81-120	121-170	201-300	151-200
5	Високий	121-180	171-250	301-400	201-300
6	Дуже високий	>180	>250	>400	>300

Додаток М

Градація забезпеченості ґрунтів рухомими формами мікроелементів (мг/кг)
(за працею Ягодіна Б.А.)

Мікроелементи	Біохіміч на зона	Ґрунтова втяжка	Градація забезпеченості, мг на 1 кг ґрунту				
			Дуже низька	Низьк а	Середн я	Висок а	Дуже висока
В		H ₂ O	0,2	0,2-0,4	0,4-0,8	0,8-1,2	1,2
Cu		1,0 н. HCl	1,4	1,4-3,0	3,0-4,4	4,4-5,6	5,6
Mo		Оксалатна втяжка	0,10	0,10- 0,23	0,23- 0,38	0,38- 0,55	0,55
Mn		0,1 н. H ₂ SO ₄	25	25-55	55-90	90-170	170
Co		0,1 н. HNO ₃	1,0	1,0-1,8	1,8-2,9	2,9-3,6	3,6
Zn		0,1 н. KCl	0,15	0,15- 0,3	0,3-1,0	1,0-2,0	2,0