

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської  
підготовки  
Кафедра екології та  
охорони довкілля

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА**

на тему: Моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів  
Черкаської області

Виконав студент 2 курсу групи МЕБ - 19

спеціальності 101 – Екологія  
Дзюник Станіслав Васильович

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 аспірантської підготовки

Кафедра екології та охорони довкілля

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 101 – Екологія

Освітньо-професійна програма Екологічна безпека

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри екології та охорони довкілля

Сафранов Т.А.

“ 15 ” березня 2021 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА**

Дзюнику Станіславу Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області

Керівник роботи Ільїна Валентина Григоріївна, к.геогр.н., доцент

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ 23 ” лютого 2021 р. № 16-”С”

2. Строк подання студентом роботи 11 травня 2021 року

3. Вихідні дані до роботи Вміст фосфору, калію, азоту, гумусу та пестицидів у ґрунтах Черкаської області за 2014 -2019 рік. Показники стану сільськогосподарських рослин, кількісні та якісні характеристики мінеральних та органічних добрив.

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

- визначити основні характеристики, які впливають на рівень використання мінерального живлення рослинами;

- встановити показники моделі для оцінки впливу агрохімікатів на агроценози Черкаської області;

- визначити вплив агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.

- визначити можливість використання моделі для умов Черкаської області.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Методи проведення якісної оцінки земель. Схема міграції пестицидів у навколишньому середовищі. Вмісту гумусу у ґрунтах Черкаської області. Вмісту азоту у ґрунтах Черкаської області. Вмісту фосфору у ґрунтах Черкаської області. Вмісту калію у ґрунтах Черкаської області. Процент кислих ґрунтів у ґрунтах Черкаської області. Еколого - агрохімічна оцінка ґрунтів Черкаської області. Діаграма класифікації ґрунтів Черкаської області за вмістом гумусу. Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується. Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору. Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію. Структура посівів сільськогосподарських культур в області, %. Щільність забруднення сільськогосподарських угідь області цезієм – 137 та стронцієм – 90; Апробація моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області; Урожайність зернових культур у 2018 році. Урожайність пшениці в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році. Урожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році.

#### 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 15 березня 2021 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 екологічних наслідків використання</i>	<i>15.03.21-</i>	<b>75</b>	<b>4</b>
	<i>Агрохімікатів</i>	<i>20.03.21</i>		<i>(добре)</i>
2	<i>Моделювання впливу агрохімікатів</i>	<i>21.03.21-</i>	<b>75</b>	<b>4</b>
	<i>та його наслідки</i>	<i>31.03.21</i>		<i>(добре)</i>
3	<i>Визначення параметрів моделі</i>	<i>1.04.21-</i>	<b>75</b>	<b>4</b>
		<i>18.04.21</i>		<i>(добре)</i>
	<b><i>Рубіжна атестація</i></b>	<b><i>19.04.21-</i></b>	<b>75</b>	<b>4</b>
		<b><i>24.04.21</i></b>		<b><i>(добре)</i></b>
4	<i>Моделювання впливу агрохімікатів</i>	<i>25.04.21-</i>	<b>75</b>	<b>4</b>
	<i>на стан агроценозів Черкаської області</i>	<i>29.04.21</i>		<i>(добре)</i>
5	<i>Узагальнення отриманих результатів. Оформлення остаточної електронної версії роботи та передача її на процедуру встановлення ступеня оригінальності, відсутності ознак плагіату та складення протоколу і висновку керівника</i>	<i>30.04.1- 04.05.21</i>	<b>75</b>	<b>4</b> <i>(добре)</i>
6	<i>Підготовка паперової версії магістерської кваліфікаційної роботи і презентаційного матеріалу до публічного захисту. Рецензування роботи</i>	<i>05.05.21- 11.05.21</i>	<b>75</b>	<b>4</b> <i>(добре)</i>
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>75,0</b>	

(до десятих)

Студент

\_\_\_\_\_ Дзюник С.В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ Ільїна В.Г.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

### **Дзюник С.В. Моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області**

*Актуальність теми.* Ґрунти Черкаської області 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. За допомогою математичної моделі виконано оцінку впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.

*Метою роботи* є виконати оцінку впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області за допомогою математичної моделі.

*Об'єктом дослідження* є агроценози Черкаської області.

*Предметом дослідження* є математична модель впливу агрохімікатів на агроценози.

*Методи дослідження.* Методологічною основою роботи є математична модель впливу агрохімікатів на ріст рослин.

*Результати дослідження.* Визначено основні характеристики, які впливають на рівень використання агрохімікатів рослинами, встановлені параметри моделі для оцінки впливу на агроценози Черкаської області, визначено можливості використання моделі для умов Черкаської області.

*Наукова новизна одержаних результатів* полягає у тому, що вперше для умов Черкаської області визначено вплив агрохімікатів на стан агроценозів з урахуванням факторів навколишнього середовища за допомогою математичної моделі.

*Теоретичне і практичне значення* роботи полягає в оптимізації режиму внесення агрохімікатів в умовах Черкаської області з урахуванням сучасного агроекологічного стану та за допомогою математичної моделі. Визначені параметри моделі, що дозволить використовувати її для прогностичних цілей.

*Структура та обсяг роботи.* Складається із вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних літературних джерел (20). Загальний обсяг роботи складає 93 сторінок. Робота містить 18 рисунків, 29 таблиць.

*Ключові слова:* агрохімікати, радіонукліди, моделювання, еколого – агрохімічна оцінка, пестициди.

## ANNOTATION

### **Dziunyk S.V. Modelling of the Impact of Agrochemicals on the Status of Agroecosystems in the Cherkassy oblast**

*Topicality of the topic.* Soils of Cherkassy region insufficiently provided with humus, therefore for obtaining high and sustainable yields of these crops is necessary to use modern methods of agrochemical treatment, which involves the introduction of chemical plant protection, mineral and organic fertilizers. Using a mathematical model to assess the impact of agrochemicals on the state of agroecosystems Cherkassy region.

*The aim of the work* is to assess the impact of agrochemicals on the state of agroecosystems of Cherkassy region with the help of a mathematical model.

*The object* of the study is agroecosystems of Cherkassy region.

*The subject* of the study is a mathematical model of the impact of agrochemicals on agroecosystems.

*Research methods.* The methodological basis of the work is a mathematical model of the effect of agrochemicals on plant growth.

*Results of the research.* Determined the main characteristics that influence the level of use of agrochemicals by plants, set the parameters of the model to assess the impact on agroecosystem in Cherkassy region, identified the possibility of using the model for the conditions of Cherkassy region.

*Scientific novelty of the research* lies in the fact that for the first time for the conditions of Cherkassy region determined the impact of agrochemicals on the state of agroecosystems, taking into account environmental factors with a mathematical model.

*Theoretical and practical significance* of the work is to optimize the regime of agrochemicals in the conditions of Cherkassy region, taking into account the current agro-ecological state and using a mathematical model. Determined parameters of the model, which will allow to use it for prognostic purposes.

*Structure and scope of work.* It consists of an introduction, four chapters, a conclusion, a list of references (20). The total volume of the work is 93 pages. The work contains 18 figures, 29 tables.

**Key words:** agrochemicals, radionuclides, modeling, ecological and agrochemical evaluation, pesticides.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП .....	10
1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	13
2. СУЧАСНИЙ СТАН ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ АГРОЦЕНОЗІВ .....	16
3 МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ АГРОЦЕНОЗІВ	20
3. 1 Моделювання формування продуктивності агроценозів .....	20
3.2 Моделювання мінерального живлення рослин .....	23
3.3 Моделювання накопичення важких металів.....	27
3.4 Моделювання динаміки забруднення ґрунтів пестицидами .....	29
4 ОЦІНКА СУЧАСНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АГРОЦЕНОЗІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	35
4.1 Основні агроекологічні характеристики ґрунтового покриву.....	35
5 АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ АГРОХІМІКАТІВ В УМОВАХ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	51
5.1 Моделювання впливу агрохімікатів.....	52
5.2 Моделювання радіонуклідного забруднення.....	57
5.3 Ідентифікація параметрів моделі.....	61
ВИСНОВКИ.....	67
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	70
Д О Д А Т К И.....	74

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

$C_{lab}$  – єдиний фонд вільних вуглеводів;

$N_{lab}$  – єдиний фонд вільного азоту;

$R_L$  – радіаційний баланс рослинного покриву;

РП – рослинний покрив;

$R_S$  – радіаційний баланс поверхні ґрунту;

ПГ – поверхня ґрунту;

$T_L$  і  $T_S$  – температура листя і ґрунту;

$k$  – емпіричний параметр орієнтації листя.

$\frac{\partial \psi}{\partial z}$  - потенціал тиску ґрунтової вологи;

$C(\psi) = \frac{d\Theta}{d\psi}$  - диференціальна вологоємність;

$C(\psi)$  – об'ємна вологість;

$S(\psi)$  – поглинання вологи коренями;

$\lambda$  – нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;

$R_L$  – радіаційний баланс РП;

$ET_{pot}$  – випаровуваність;

$C_{hydr}$  – маса вуглеводів, що утворюються при розпаді тканин, які старіють;

$R$  – витрати вуглеводів на дихання посіву;

$\Phi_{pot}$  – інтенсивність потенційного фотосинтезу;

$a$  – нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;

$C_0$  – концентрація  $CO_2$  у повітрі;

$P$  – поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;

$a_\phi$  – онтогенетична крива фотосинтезу;

$\Psi_\phi$  – температурна крива фотосинтезу;



$K_{\phi}(N_{str}^L)$  – коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального живлення;

$N_{abs}^{\max}$  – максимальна швидкість поглинання азоту коренем;

$\bar{N}_{s.r.}, \bar{N}_{s.w.}$  – концентрація азоту відповідно на поверхні коріння і в ґрунтовому розчині;

$K_{abs}^N$  – константа Міхаеліса-Ментен;

$K_{abs}^N(T_s)$  – функція впливу температури ґрунту на швидкість поглинання азоту коренем;

$W_i^j$  – фактичний вологозапас ґрунту;

$\hat{W}_i^j$  – розрахований вологозапас ґрунту.

$N_{abs}$  – кількість поглиненого з ґрунту азоту;

$N_{hydr}$  – кількість азоту, що утвориться при розпаді білка;

$N_{sen}$  – витрати на відновлення білка;

## ВСТУП

Моделювання є сучасним апаратом оцінки стану довкілля. 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. Зростання кислотності ґрунтів, зменшення вмісту в них органічної речовини та елементів живлення, погіршення агрономічно важливих фізичних властивостей - це результат деградаційних процесів. Наявність в рілних землях Черкаської області третини еродованих ґрунтів та площ, забруднених залишками пестицидів і радіонуклідами, більш інтенсивно поглиблює процеси деградації земель.

Мінеральні добрива - це екзогенні хімічні сполуки, які є джерелом надходження багатьох хімічних елементів і сполук у довкілля. Характер впливу мінеральних добрив на агро екосистеми насамперед зумовлений їхнім хімічним складом, що у свою чергу залежить від особливостей сировини та промислових технологій виробництва. У процесі їхньої оцінки слід ураховувати як адитивні дії окремих складових мінеральних добрив на ґрунтову систему, так і їхню сумарну дію.

Територія Черкаської області відноситься до основної з виробництва зернових, технічних культур та картоплі. Ґрунти території недостатньо забезпечені гумусом, тому для отримання високих та стійких врожаїв цих культу 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 позитивних але і негативний ефект. Тому, в рамках роботи було виконано аналіз 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, пестицидів та інших елементів у ґрунтах Черкаської області з 2014 по 2019 роки.

Ціль роботи – за допомогою математичної моделі виконати оцінку впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області

Об'єкт дослідження – агроценози Черкаської області.

Предмет дослідження – математична модель впливу агрохімікатів на агроценози.

Вихідні данні – кількісні та якісні характеристики мінеральних та органічних добрив під сільськогосподарськими культурами, агрохімічні характеристики ґрунтів, остаточні кількості пестицидів у ґрунтах Черкаської області за період з 2014 по 2019 роки.

Задачі дослідження:

- визначити основні характеристики, які впливають на рівень використання агрохімікатів;
- встановити параметри моделі для оцінки впливу агрохімікатів на агроценози Черкаської області;
- визначити можливість використання моделі для умов Черкаської області.

Науковою новизною роботи є визначення сучасного агроекологічного стану агроценозів Черкаської області з урахуванням рівня внесення агрохімікатів за допомогою математичної моделі.

За результатами роботи були опубліковані наступні тези: Ільїна В.Г., Дзюник С.В. Аналіз вмісту фосфору у ґрунтах сільськогосподарського призначення Черкаської області / Матеріали VII міжнародної наукової конференції молодих вчених « Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» . Україна, Харків, 2019 .

## 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

Черкаська область була утворена пізніше від усіх адміністративних областей України - 7 січня 1954 року. Площа Черкаської області становить 20,9 тис. км<sup>2</sup>, а це 3,5% площі країни або, 18 місце в Україні. Населення - 1386,6 тис. осіб (на 01.01.2008), що складає 2,9% населення України або 15 місце у країні [1].

Адміністративний центр області - місто Черкаси. Відстань від Черкас до Києва залізницею 240 км, а шосейними дорогами 186 км. Черкаська область поділяється на 20 адміністративних районів [2].

Черкаська область розташована в центральній лісостеповій частині України, в басейнах середніх течій Дніпра і Південного Бугу. На півночі вона межує з Київською (межа 340 км), на сході - з Полтавською (212 км), на півдні - з Кіровоградською (388 км), і на заході - з Вінницькою (124 км) областями України.

Територія області з південного заходу на північний схід простягається на 245 км. Більша, правобережна частина, розміщена в межах Наддніпрянської височини. Вздовж долини Дніпра на 70 км тягнеться Канівсько-Мошногірський кряж. Значні підвищення рельєфу надають території гірського характеру. З корисних копалин промислове значення мають бентонітові глини, каоліни, граніти, гнейси, лабрадорит, пісковики, торф [2].

Із загальної площі Черкаської області (2091,6 тис. га) сільськогосподарські землі складають 1486,9 тис. га, в тому числі сільськогосподарські угіддя 1450,77 тис. га, інші сільськогосподарські землі – 36,1 тис. га (площа сільськогосподарських угідь області, у порівнянні з минулим роком, зменшилась на 0,3 тис. га).

Типовими ґрунтами для Черкаської області є чорноземи. На правобережжі області їхній склад строкатий: опідзолені чорноземи і темно-сірі

лесові (опідзолені) ґрунти, сірі та ясно-сірі лесові (опідзолені), на лівобережжі - глибоко гумусні та лучні чорноземи [3].

Ґрунтовний покрив Черкаської області складний і строкатий. Домінуючими типами ґрунтів в області є чорноземи типові, чорноземи опідзолені і реградовані – 687,7 тис. га (54 % від загальної площі ріллі). Це найбільш родючі і водночас найбільше еродовані ґрунти. Найбільші площі чорноземів типових поширено на лівобережжі.

Рівнинний, рельєф області зручний для прокладання шляхів сполучення, для будівництва різних інженерних споруд, для розміщення населених пунктів і ведення сільського господарства. Більшу частину території Черкащини складають сільськогосподарські угіддя.

Черкаська область добре забезпечена ґрунтовими ресурсами. В сільськогосподарському виробництві знаходиться близько 750 тис. га особливо цінних орних земель, тобто 56% ріллі розташовано на чорноземних і лучних ґрунтах. Родючість черкаських земель за якісними показниками займає перше місце в Україні [3].

Типовими ґрунтами для Черкаської області є чорноземи. На правобережжі області їхній склад строкатий: опідзолені чорноземи і темно-сірі лесові (опідзолені) ґрунти, сірі та ясно-сірі лесові (опідзолені), на лівобережжі - глибоко гумусні та лучні чорноземи.

Клімат Черкаської області помірно-континентальний, порівняно теплий, з нестійким волого забезпеченням. Зима малосніжна і м'яка, літо тепле і помірно вологе. Середня температура повітря за рік по області становить 7,9-8,7°C, однак по роках коливається в дуже широких межах: від 5,4°C (М Жашків) в 1987 р. до 10,1°C (М Чигирин) в 1989 р.

Режим зволоження території області створює в цілому позитивний баланс вологи в ґрунті. Проте у зв'язку з невеликою кількістю опадів в окремі роки, значну повторюваність мають ґрунтові засухи, які негативно впливають на розвиток с/г. культур. Помірна атмосферна засуха, яка часто поєднується із ґрунтовою у період активної вегетації с/г. культур (ГТК

становить 0,7-0,9), має ймовірність 90% на всій території області, крім південного сходу області, де таку ж ймовірність має суворя атмосферна засуха (ГТК становить менше 0,7) [4].

Відносна вологість повітря у теплий період року (квітень-жовтень) по області коливається від 63% весною до 80% восени, а кількість днів із відносною вологістю повітря 30 % та менше за цей період становить від 11 до 27 днів. За сукупністю показників агрокліматичних ресурсів у період активної вегетації с/г. культур (суми позитивних температур повітря, кількості опадів та гідротермічного коефіцієнта) територію Черкаської області поділено на 2 агрокліматичні райони та підрайони (порівняно високого теплозабезпечення і нестійкого зволоження, достатнього теплозабезпечення і нестійкого зволоження; достатнього теплозабезпечення і достатнього зволоження) [5].

## 2. СУЧАСНИЙ СТАН ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ АГРОЦЕНОЗІВ

Необхідною умовою ефективного використання сільськогосподарських угідь є наявність інформації щодо їхнього еколого-агрохімічного стану, що дасть можливість об'єктивно оцінити агроекологічний стан ґрунтів і отримати високі урожаю [3].

Якісну оцінку земель господарства (рисунк 2.1) проводять з використанням агроекологічного методу (А.І. Сірий, 2002 р.) та за методом спеціального бонітування (М. В. Лісовий, 2002 р.).



Рис. 2.1 – Методи проведення якісної оцінки земель

Україна є великою європейською державою, що за географічним положенням входить до басейнів Чорного, Азовського й частково Балтійського морів. Вона володіє величезним резервом родючих ґрунтів, екологічний стан яких постійно погіршується [5]. Так, багаторічна екстенсивна урбанізація та індустріалізація територій, неконтрольований сільськогосподарський тиск на ґрунтовий покрив спричинили глибокі зміни природних властивостей земель, трансформацію внутрішньо ґрунтових процесі, утрату ними самовідновлювальної здатності [7].



Про сучасний незадовільний екологічний стан земельних ресурсів України свідчить і те, що середньорічний змив ґрунту на орних землях України сягає 15 т/га, що становить 460 млн т родючого шару, який містить близько 24 млн т гумусу, понад 1 млн т азоту, 0,7 млн т фосфору, що еквівалентно 320-330 млн т органічних добрив, а еколого-економічні збитки через ерозію ґрунтів перевищують 9,1 млрд. грн. Виникли серйозні проблеми з поверненням біоенергетичного потенціалу ґрунтів. Найбільш шкідливим для землекористування та довкілля є забруднення ґрунтів хімічними й біологічними компонентами, зокрема радіонуклідами, важкими металами, пестицидами, збудниками інфекційних хвороб. Через ґрунти ці забруднювачі мігрують у суміжні географічні середовища (воду, повітря), забруднюють продукти харчування. Особливо небезпечним є сукупне забруднення ґрунтів важкими металами, пестицидами та радіонуклідами.

У місцях випадання промислових викидів деградують природні й культурні біоценози, збіднюється видовий склад і чисельність фауни, погіршуються фізико-хімічні властивості і біологічна активність ґрунтів, посилюється їхня ерозія, виникає нове надзвичайно небезпечне явище - підкислення чорноземів, у продукції накопичуються токсиканти, знижується врожайність культур. Зокрема у зоні впливу промислових комплексів міру наближення до джерела викидів урожайність зернових культур зменшується на 20-30 %, соняшнику - 15-20 %, овочів 25-30 %, кормових культур - 23-28 % і плодових - на 15-20 % .

Зменшення в 2,5 рази обсягів використання пестицидів, яке простежується протягом останніх років, хоч і сприяло зменшенню забруднення ґрунтів та продукції отрутохімікатами, проблему загалом не вирішує. З дозволених у 1996 р. до використання препаратів найбільша частота виявлення їхніх залишків у ґрунті спостерігалася по симазину (80 %), алероксу (74 %) та атразину (73,9 %). Більш ніж у 50 % зразків ґрунту виявлена наявність залишків ще 11 препаратів, що свідчить про велику забрудненість ґрунтів пестицидами . Існує перевищення допустимого вмісту

пестицидів у продукції рослинництва Черкаської області, критичне - у ґрунтах Сумської, Луганської, Донецької, Хмельницької та Херсонської областей. Залишається невирішеною проблема утилізації заборонених і непридатних для використання 10,7 тис. т пестицидів. Тому стратегія застосування пестицидів має обов'язково враховувати особливості їхньої дії.

Проте найнебезпечнішим з екологічного погляду видом деградації є радіоактивне забруднення [9]. Так, унаслідок аварії на ЧАЕС забруднено понад 8,4 млн. га сільськогосподарських угідь, на яких щільність забруднення радіоактивним цезієм перевищує 0,1 Ки/км<sup>2</sup>. Через високий ступінь забруднення виведено з обігу 180 тис. га сільськогосподарських угідь. Площа радіоактивного забруднення лісових масивів в Україні становить понад 3 млн. га. Значні збитки викликані зміною режиму землекористування, затратами на забезпечення радіаційної безпеки й соціальний захист населення, реабілітацію його здоров'я.

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 забезпечення здоров'я рослин і тварин".

За визначенням М. Маусбаха і Г. Тугела (1995 р.), прийнятим Спілкою ґрунтознавців США, Комітетом з питань здоров'я ґрунтів, 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".

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.) [7].

### 3 МОДЕЛЬ ЕКОЛОГО-АГРОХІМІЧНОЇ ОЦІНКИ СТАНУ АГРОЦЕНОЗІВ

#### 3. 1 Моделювання формування продуктивності агроценозів

Структура моделі визначається виходячи з закономірностей формування гідрометеорологічного режиму в системі "грунт - рослина - атмосфера" і біологічних уявлень про ріст і розвиток природної чагарникової рослинності під впливом чинників зовнішнього середовища. У основі моделі лежить система рівнянь радіаційного, теплового і водного балансів, балансу біомаси і радіонуклідів у рослинному покриві [12].

Радіаційний баланс рослинного покриву можна уявити у вигляді суми довгохвильової і короткохвильової радіації [13 ]:

$$R_L = Q_L + F_L ; \quad (3.1)$$

$$R_S = Q_S + F_S , \quad (3.2)$$

де  $R_L$  і  $R_S$  - радіаційний баланс рослинного покриву (РП) і поверхні ґрунту (ПГ);  $Q_L$ ,  $Q_S$  - кількість поглиненої короткохвильової радіації РП і ПГ;  $F_L$ ,  $F_S$  - величини балансу довгохвильової радіації РП і ПГ.

Величина балансу довгохвильової радіації визначається за допомогою наступних формул [13 ]:

$$F_L = (F_A + \varepsilon_S \sigma T_S^4 - 2\varepsilon_L \sigma T_L^4)(1 - e^{-kL}), \quad (3.3)$$

$$F_S = F_A e^{-kL} - \varepsilon_S \sigma T_S^4 + \varepsilon_L \sigma T_L^4 (1 - e^{-kL}), \quad (3.4)$$

де  $F_A$  - противипромінювання атмосфери;  $\varepsilon_L$  і  $\varepsilon_S$  - коефіцієнти сірості листя;  $\sigma$  - стала Стефана-Больцмана;  $T_L$  і  $T_S$  - температура листя і ґрунту;  $k$  - емпіричний параметр орієнтації листя [6].

Вологоперенесення у ґрунті. Рівняння потоку води в системі "ґрунт - корінь" розглядається аналогічно одночасно як насичене і ненасичене середовище:

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = \frac{1}{C(\psi)} \frac{\partial}{\partial z} \left[ K(\Theta) \left( \frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right) \right] - \frac{S(\psi)}{C(\psi)}, \quad (3.5)$$

де  $\frac{\partial \psi}{\partial t}$  - потенціал тиску ґрунтової вологи;  $C(\psi) = \frac{d\Theta}{d\psi}$  - диференціальна вологоємність;  $K(\Theta)$  - гідравлічна провідність;  $S(\psi)$  - поглинання вологи коренями;  $t$  - час;  $z$  - вертикальна координата.

Транспірація рослинного покриву визначається за допомогою формули Пенмана [14]:

$$T_r = \frac{\Delta \left( \frac{R_L}{\lambda} \right)}{\Delta + \gamma_{ef}} + \frac{ET_{pot}}{\Delta + \gamma_{ef}}, \quad (3.6)$$

де  $\Delta \left( \frac{R_L}{\lambda} \right)$  - нахил кривої залежності тиску насиченої водяної пари від температури повітря;  $\gamma_{ef}$  - ефективна психрометрична постійна;  $R_L$  - радіаційний баланс РП;  $ET_{pot}$  - випаровуваність.

Випаровуваність визначається за допомогою рівняння:

$$ET_{pot} = \frac{(e_s - e_a) \rho c_p}{r_a}, \quad (3.7)$$

де  $e_s$  - тиск насиченої пари при даній температурі повітря;  $e_a$  - фактичний тиск водяної пари;  $\rho$  - щільність повітря;  $c_p$  - теплоємність повітря;  $r_a$  - опір примежового шару.

Випаровування із поверхні ґрунту  $E_S$  визначається як:

$$E_S = \frac{(\Delta R_S)1,26}{\Delta + \gamma}, \quad (3.8)$$

Фонд вільних вуглеводів рослин на кожному часовому кроці являє собою баланс продуктів фотосинтезу і продуктів розпаду тканин, які старіють, а також витрат на дихання:

$$\frac{dC_{lab}}{dt} = \Phi + C_{hydr} - R, \quad (3.9)$$

де  $C_{lab}$  - фонд вільних вуглеводів;  $\Phi$  - маса продуктів фотосинтезу посіву;  $C_{hydr}$  - маса вуглеводів, що утворюються при розпаді тканин, які старіють;  $R$  - витрати вуглеводів на дихання посіву [6].

Процес фотосинтезу листя описується з врахуванням впливу на фотосинтез рівня мінерального живлення, фази розвитку рослин, температурного режиму і вологозабезпеченості посівів:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{1/\Phi_{pot}K_{\Phi}(N_{str}^L) + 1/a_c C_0 + 1/a_{\Phi}\Pi} \min\left\{\alpha_{\Phi}, \Psi_{\Phi}, \frac{ET}{ET_{pot}}\right\}, \quad (3.10)$$

де  $\Phi_{pot}$  - інтенсивність потенційного фотосинтезу;  $a$  - нахил вуглекислотної кривої фотосинтезу;  $C_0$  - концентрація  $CO_2$  у повітрі;  $a_{\Phi}$  - нахил світлової кривої фотосинтезу;  $\Pi$  - поглинена рослинним покривом фотосинтетично активна радіація;  $\alpha_{\Phi}$  - онтогенетична крива фотосинтезу;  $\Psi_{\Phi}$  - температурна крива фотосинтезу;  $K_{\Phi}(N_{str}^L)$  - коефіцієнт забезпеченості рослин елементами мінерального живлення.

### 3.2 Моделювання мінерального живлення рослин

Приймається, що формування фонду вільного азоту на кожному часовому кроці йде за рахунок поглинання азоту з ґрунту, продуктів розпаду тканин і витрат на відновлення життєдіяльних структур тканин:

$$\frac{dN_{lab}}{dt} = N_{abs} + N_{hyd} - N_{sen}, \quad (3.11)$$

де  $N_{lab}$  - фонд вільного азоту;  $N_{abs}$  - кількість поглиненого з ґрунту азоту;  $N_{hydr}$  - кількість азоту, що утвориться при розпаді білка;  $N_{sen}$  - витрати на відновлення білка.

Процес поглинання азоту рослиною з ґрунту йде активним шляхом і пасивним – виносом азоту з транспіраційною течією.

$$\frac{dN_{abs}}{dt} = \frac{N_{abs}^{max} \bar{N}_{s.r.} m_r^n}{K_{abs}^N + \bar{N}_{s.r.}} K_{abs}^N(T_s) + T \bar{N}_{s.w.}, \quad (3.12)$$

де  $N_{abs}^{max}$  - максимальна швидкість поглинання азоту коренем;  $\bar{N}_{s.r.}$ ,  $\bar{N}_{s.w.}$  - концентрація азоту відповідно на поверхні коріння і в ґрунтовому розчині;  $K_{abs}^N$  - константа Міхаеліса-Ментен;  $K_{abs}^N(T_s)$  - функція впливу температури ґрунту на швидкість поглинання азоту коренем [6].

Динаміка біомаси надземної і підземної частин рослин та окремих органів визначається з врахуванням потреб цих частин рослин в асимілятах.

Приріст маси знаходиться як сума вільних вуглеводів і азоту:

$$\frac{dm}{dt} = \frac{dC_{lab}}{dt} + \frac{dN_{lab}}{dt}. \quad (3.13)$$

Розподілення приросту маси між надземною і підземною частинами рослин виконується за допомогою рівняння виду:

$$\frac{dm_{shoot}}{dt} = \beta_{shoot}^m \frac{dm}{dt}, \quad (3.14)$$

$$\frac{dm_{root}}{dt} = \left(1 - \beta_{shoot}^m\right) \frac{dm}{dt}, \quad (3.15)$$

де  $\beta_{shoot}^m$  - співвідношення надземної і підземної частин рослин.

Вплив забезпеченості елементами мінерального живлення на продуктивний процес рослин визначається нами за принципом Лібіха з урахуванням функції забезпеченості азотом  $K_N$ , фосфором  $K_P$  і калієм  $K_K$ :

$$K(NPK) = \min(K_N, K_P, K_K) \quad (3.16)$$

де  $K(NPK)$  – коефіцієнт забезпечення рослин елементами мінерального живлення.

Значення функцій найбільш можливого азотного, фосфорного і калійного живлення визначаються по таких рівняннях:

$$K_N = (N/N_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - N/N_{opt})] \quad (3.17)$$

$$K_P = (P/P_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - P/P_{opt})] \quad (3.18)$$

$$K_K = (K/K_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - K/K_{opt})] \quad (3.19)$$

де  $N$  – сумарна кількість  $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  еквівалентне використаному мінеральному добриву, кг/га;

$N_{opt}$ ,  $P_{opt}$ ,  $K_{opt}$  – оптимальна кількість  $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$ , необхідне для отримання максимального урожаю, кг/га.

Сумарна кількість  $N$ ,  $P_2O_5$ ,  $K_2O$  розраховуватиметься по формулах:



$$N = m_N N_n + N_m + m_{NO} N_O \quad (3.20)$$

$$P = m_P P_n + P_m + m_{PO} P_O \quad (3.22)$$

$$K = m_K K_n + K_m + m_{KO} K_O \quad (3.22)$$

де  $m_N, m_P, m_K$  – коефіцієнти еквівалентності легко гідролізного азоту ( $m_N$ ), по Корнфілду, рухомому фосфору ( $m_P$ ) і калію ( $m_K$ ), по Кирсанову, в ґрунті, кг/мг100г;

$m_{NO}, m_{PO}, m_{KO}$  – коефіцієнти еквівалентності азоту ( $m_{NO}$ ), фосфору ( $m_{PO}$ ) і калія ( $m_{KO}$ ) органічного добрива, кг/кг;

$N_n, P_n, K_n$  – легко гідролізний азот ( $N_n$ ) рухомий фосфор ( $P_n$ ) і калій ( $K_n$ ) в рік проведення аналізу, мг/100г ґрунту;

$N_O, P_O, K_O$  – азот, фосфор і калій органічного добрива, яке вносилося в рік отримання урожаю, кг/га;

$N_m, P_m, K_m$  – азот, фосфор і калій мінерального добрива, яке вносилося в рік отримання урожаю, кг/га.

Розглядається також поглинання азоту активним і пасивним шляхом:

$$\Delta N / \Delta T = [ (N_{max} \cdot N_{сер} \cdot m_r) / N_0 \cdot N_n ] \cdot K \cdot E \cdot N_p \quad (3.23)$$

де  $\Delta N / \Delta T$  - швидкість поглинання азоту корінням рослин, мгNм<sup>2</sup>доб<sup>-1</sup>;

$N_{max}$  - максимально можлива швидкість поглинання азоту корінням, мгNкг<sup>-1</sup>;  $N_{сер}$  - середня кількість азоту у шарі ґрунту;  $N_n$  - концентрація доступного азоту біля поверхні кореня, гм<sup>-2</sup>;  $m_r$  - маса кореня, гм<sup>-2</sup>;  $N_0$  - початкова кількість азоту у шарі ґрунту;  $K$  - константа Михаеліса-Ментен, мгNкг<sup>-1</sup>;  $E$  - інтенсивність транспірації, кгм<sup>-2</sup>доб<sup>-1</sup>;  $N_p$  - концентрація доступного азоту в ґрунтовому розчині, мгNкг<sup>-1</sup> [23].

Екотоксикологічна оцінка небезпечності хімічних речовин передбачає вивчення їхньої поведінки у ґрунтовій, водній та наземній екосистемі. Для оцінки забруднення водних екосистем хімічними речовинами запропоновано використовувати критерії ГДК, персистентності, показники гострої та хронічної токсичності для риб, дафній, водоростей, коефіцієнти біокумуляції

тощо. Вплив хімічних речовин на біоту надземної екосистеми - птахів та корисних комах - визначають на основі показників ЛД<sub>50</sub> і ЛК<sub>50</sub>, які є критерієм екотоксикологічної оцінки ступеня небезпечності [24].

У таблиці 3.1 наведено класи небезпечності екзогенних хімічних речовин, які містяться у ґрунті, за якою у подальшому буде виконано оцінку.

Таблиця 3.1 - Класи небезпечності екзогенних хімічних речовин, які містяться у ґрунті (Марчук І. У.)

Показники	Класи небезпечності		
	I	II	III
Токсичність (ЛД <sub>50</sub> мг/кг маси тварини)	50-200	200-1000	> 1000
Стабільність у ґрунті, міс.	> 12	12-6	<6
Міграція : у ґрунті, см	60^0	40-21	20-0
у повітря	>ГДК	= ГДК	<гдк
У воду	>гдк	= гдк	<гдк
Перехід у рослини: наявність у рослинах протягом місяців	>3	3-1	< 1
Вплив на харчову цінність	впливає	Впливає	Не впливає
Вплив на санітарний стан ґрунту	те саме	те сааме	те сааме

Загальна екотоксикологічна оцінка мінеральних добрив має базуватися на оцінці окремих їхніх компонентів, які можуть становити небезпеку у процесі надходження у природне середовище.

Прогноз ризику застосування мінеральних добрив ґрунтується на визначенні часу досягнення критичної концентрації у ґрунті елементів, що підлягають контролю (Т<sub>к</sub>).

Час досягнення критичної концентрації токсикантів у ґрунті ( $T_k$ ) являє собою відношення можливого додаткового надходження токсичних елементів з добривом ( $A$ ) до фактичного ( $G$ ):

$$T_k = A/G \text{ (роки)} \quad (3.24)$$

Можливе додаткове внесення токсичних елементів у ґрунт з добривом можна розрахувати як щодо рівня ГДК, так і щодо фонового вмісту хімічних елементів у ґрунті:

$$A = (ГДК-F) \cdot 3\,000\,000 \cdot k_t, \quad (3.25)$$

$$A = 2F - 3\,000\,000 \cdot k_t, \quad (3.26)$$

де,  $A$  - можливе додаткове внесення токсичних елементів у ґрунт з добривом, мг/га; ГДК - гранично допустима концентрація, мг/кг;  $F$  - фоновий вміст токсичного елемента у ґрунті, мг/кг;  $3\,000\,000$  - маса орного шару ґрунту в перерахунку на суху речовину, кг/га;  $k_t$  - коефіцієнт стійкості, що враховує властивості ґрунту і відображує здатність ґрунту утримувати хімічні елементи у фіксованому стані, бал.

### 3.3 Моделювання накопичення важких металів

До складу мінеральних добрив та пестицидів входить велика кількість важких металів, тому моделювання забруднення агроценозів цими елементами важливе при оцінці впливу агрохімікатів на агроценози. Накопичення важких металів рослиною розглядається в залежності від утримання рухомих форм важких металів у ґрунті. Швидкість надходження важких металів у рослину описується формулою:

$$\frac{\Delta A_q^{\text{погл}(o)}}{\Delta t} = \frac{86,4 \alpha_q^{\text{погл}} \bar{A}_q^{\text{почв}} m_r^j}{a_r} \quad (3.27)$$

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,  $\text{мс}^{-1}$ ;  $\bar{A}_q^{\text{почв}}$  – концентрація рухомих форм  $q$ -го виду важких металів у ґрунті,  $\text{мгкг}^{-1}$ ;  $a_r$  – радіус кореню.,  $\text{см}$ ;  $q$  – вид важкого металу.

У зв'язку з можливим підвищенням рівню антропогенного забруднення ґрунту та рослин важкими металами врахуємо їх фітотоксичний вплив за допомогою коефіцієнту фітотоксичності  $K_{\text{ВМ}}$ , визначеного за принципом Лібіха з великої кількості коефіцієнтів фітотоксичності кожного виду важких металів

$$K_{\text{м.М}}^j = \min \{ K_q^j \}, q \in \text{Cd, Cu, Hg, Pb, Sr, Zn} \quad (3.28)$$

кожний з яких визначається з виразу:

$$K_q^{\text{кр}j} = 1 - \left( \frac{\mu A_q}{A_q^{\text{кр}2} - A_q^{\text{кр}1}} \right) \cdot A_q^{\text{рос}(j)} \quad (3.29)$$

де  $\mu A_q$  - зниження продуктивності рослин в інтервалі критичних величин концентрації важких металів у рослині  $A_q^{\text{лз}1}$  и  $A_q^{\text{лз}2}$  ( $\text{мг кг}^{-1}$ ).

У таблиці 3.2 наведені характеристики для розрахунку рівня забруднення врожаю кукурудзи різними видами важких металів

Види важких металів	Поглиняльна здібність коріння, м/с <sup>2</sup>	Концентрація у ґрунті, мг/кг	Радіус кореня
Мідь Cu	0,000028	0,74	0,0105
Цинк Zn	0,000025	3,30	0,01
Кадмій Cd	0,00003	0,13	0,023
Свинець Pb	0,000005	1,38	0,025
Ртуть Hg	0,00011	0,0037	0,025

Таблиця 3.2 – Характеристики для розрахунку рівня забруднення врожаю кукурудзи різними видами важких металів

З таблиці видно, що найбільші значення по показнику поглиняльної здібності кореню отримані для такого важкого металу, як ртуть. Це підтверджує факт найбільшої токсичності цього металу для рослин.

Найменші значення по показнику поглиняльної здібності кореню отримані для важкого металу свинець.

#### 3.4 Моделювання динаміки забруднення ґрунтів пестицидами

Відкриття хімічних засобів захисту рослин і тварин є одним із важливіших досягнень науки і економічний ефект від застосування пестицидів є надзвичайно великий. Так, в країнах як Африки та інших, які практично не використовують пестициди, врожайність рису, в середньому, складає 17 ц/га. Економічну ефективність використання пестицидів підтверджують такі факти: в США одна людина, що зайнята в сільському господарстві, у 1850 році могла, крім себе, забезпечити с/г продукцією 4 міських жителів, в 1940 році – 11 жителів, 1974 році – 55 жителів, 1990 році – 104 жителя, 2000 році – 130 жителів. Підрахунки, які проведені фахівцями у США показують, що без широкомасштабного використання пестицидів, врожайність с/г рослин знизилась би на 50%, а кількість продукції тваринництва (м'яса, молока, вовни) – на 25%. Все це говорить про те, що людство на сьогоднішньому етапі свого розвитку, не може відмовитись від

хімізації сільського господарства. Особливо це відчутно в період демографічного вибуху, коли проблема харчових ресурсів є надзвичайно гострою.

До пестицидів, похідних карбамінової кислоти, відносять севін ( таблиця 3.3). Для порівняння, в таблиці приведено деякі характеристики поширених пестицидів, по кілька представників з основних класів.

Таблиця 3.3 - Характеристики деяких поширених пестицидів

Назва пестициду	Призначення препарату	Дані по токсичності і нормуванню речовини
Хлорорганічні пестициди		
ДДТ – 4,4 - дихлордифенілтрихлоретан	Інсектицид контактної дії	ЛД <sub>50</sub> = 150 – 200 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,1 мг/дм <sup>3</sup> (сан.- токс); Харчові продукти – від 0,005 до 1,0 мг/кг.
Альдрин – 1,2,3,4,10,10 - гексахлор – 1,4, 4а, 5,8,8а- гексагідро- 1,4-ендоекзо – 5,8 -диметанафталін	Контактний інсектицид широкого спектру дії	ЛД <sub>50</sub> = 39 – 60 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,002 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – не допускається
Фосфорорганічні пестициди		
Метафос – 0,0 – дим етил -0- (нітрофеніл) тіофосфат	Контактний інсектицид широкого спектру дії	ЛД <sub>50</sub> = 24 – 100 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,002 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – не допускається
Фосфомід – 0,0 – диметил – s – (п - метилкарбамідометил) - дітіофосфат	Системний інсектицид	ЛД <sub>50</sub> = 250 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,03 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – не допускається
Трифлорметафос -3- 0-метил – 0-етил – 0 – (2,4,5 - трифлорфеніл) тіофосфат	Системний інсектицид	ЛД <sub>50</sub> = 50 - 670 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,4 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний);

		Харчові продукти – до 1,0 мг/кг
Сим – триазини		
Симазин – 2 – хлор – 4,6 – біс – сим – триазин	Гербицид системної дії	ЛД <sub>50</sub> = 330 - 850 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = не допуск. (органолептичний); Харчові продукти – до 0,5 мг/кг.
Прометрин – 2 – метилтіо- 4,6-біс-сим-триазин	Гербицид системної дії	ЛД <sub>50</sub> = 600 - 1050 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 3,0 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – до 0,3 мг/кг
Похідні карбамінової кислоти		
Севін – 1 – нафтіл – п – метилкарбамат	Інсектицид контактної дії	ЛД <sub>50</sub> = 540 - 5000 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,1 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – не допускається
Представники інших класів		
фталан – п – трихлорметилтіофталімід	Фунгіцид широкого спектру	ЛД <sub>50</sub> = 1000 мг/кг; ГДК <sub>в</sub> = 0,04 мг/дм <sup>3</sup> (органолептичний); Харчові продукти – не допускається

Безумовно, сполуками зазначених класів органічних речовин не обмежується число пестицидів, які використовуються, але це найбільш поширені класи пестицидів. Навіть порівнюючи дані видно, що пестициди володіють різною токсичністю. Механізм дії пестицидів достатньо складний і залежить від їх хімічної природи, їх фізико – хімічних властивостей та біологічних особливостей клітин організмів, з якими контактує препарат.

За хімічним складом розрізняють пестициди хлорорганічні (ХОП), фосфорорганічні (ФОП), що містять ртуть, свинець, миш'як та інші токсичні сполуки. Використання пестицидів регламентується законодавством. В

Україні встановлені такі ГДК для деяких хімічних речовин у ґрунті (мг/кг ґрунту з урахуванням фону): ДДТ і його метаболіти -0,1, карбофос-2, хлорофос – 0,5.

На рис. 3.1 наведено схему міграції пестицидів у навколишньому середовищі. Як видно, вони потрапляють у складові довкілля та по трофічним ланцюгам переходять у біоту.

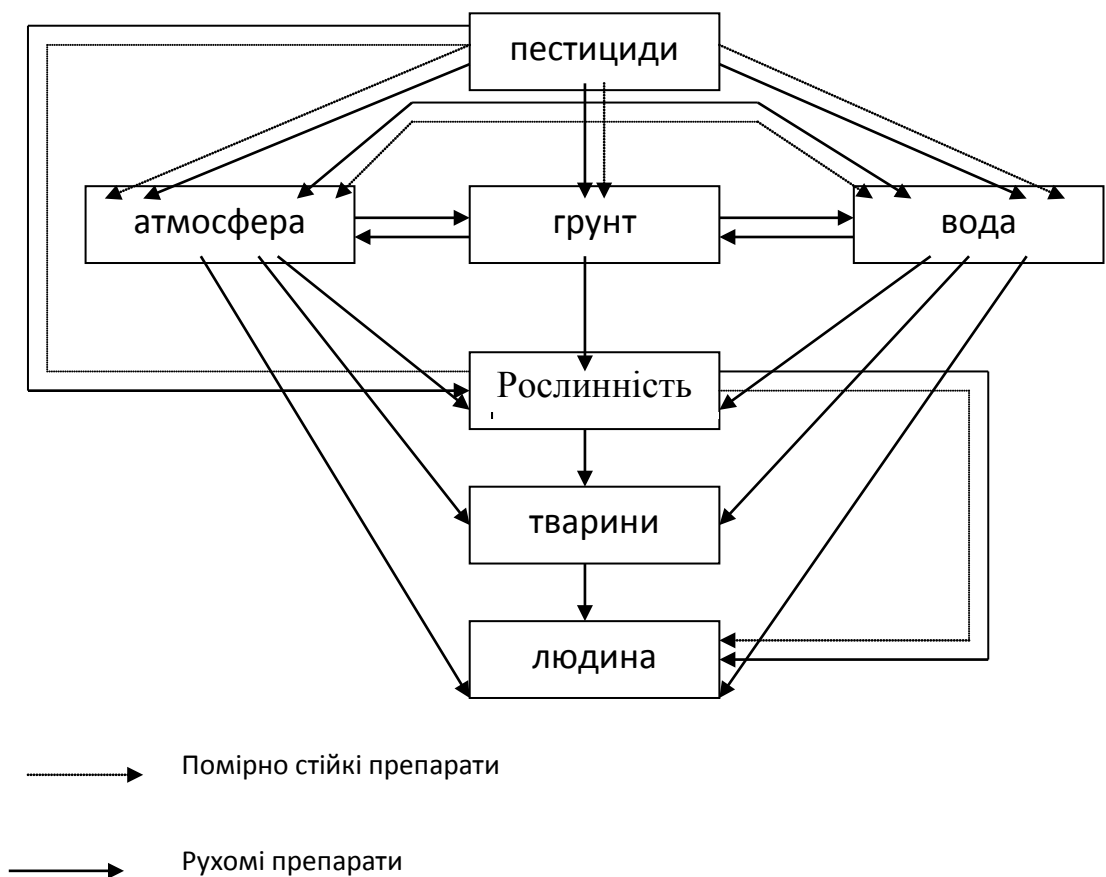


Рис. 3.1 Схема міграції пестицидів у навколишньому середовищі

Нераціональне застосування пестицидів в сільському господарстві призводить до акумуляції їх в ґрунтах, сільськогосподарській продукції і водах.[16]

Пестициди можна класифікувати за їх накопиченням в організмах з використанням коефіцієнту акумуляції (таблиця 3.4).



Таблиця 3.4 - Характерні особливості різних груп пестицидів

Назва пестициду	Загальні відомості	Основні симптоми отруєння
Фосфорорганічні сполуки	Ці сполуки є найвикористовуванішими. Характеризуються високою активністю. Механізм дії полягає в інгібуванні. Поширення активності холінестерази головного мозку на 20% спричинює смерть.	Посилення секреції залоз, скорочення гладких м'язів, сповільнення серцевих скорочень, розширення кровоносних судин, пониження артеріального тиску. Залежно від інтоксикації з'являються головний біль, біль у животі, стан депресії, страху, галюцинації.
Хлорорганічні сполуки	Ці пестициди є високостійкими сполуками. В молоці, м'ясі, овочах зберігаються до 1 року.	Спричинюють порушення вуглецево-фосфорного обміну, пошкоджують нервову систему, верхні дихальні шляхи. Інтоксикація характеризується ураженням нервової системи, появою головного болю, запамороченням, відчуттям повзання комах, пошкодженням печінки.
Ртутьорганічні сполуки	Характеризуються фунгіцидними і бактеріальними властивостями. Використовують для протруювання насіння. Накопичуються в головному мозку, печінці, нирках. Виводяться повільно – 2-3 роки. Найпоширенішими є грокозан, меркуран.	Інтоксикація зумовлює аборти, смерть новонароджених до 1 року. При гострих отруєннях спостерігається металічний присмак у роті, слабкість, головний біль, нудота, паралічі, психози; у важких випадках – смерть від гострої серцево-судинної нестачі.
Карбонати	Мають широкий спектр дії. Можуть спричиняти наркотичну дію.	Цинеб, цирам мають канцерогенну дію. Внаслідок гострої інтоксикації тіурамом виникають головний біль, запаморочення, подразнення слизових оболонок.
Ціаніди	До них належать сполуки з ціаністим натрієм, який міститься в тютюні, абрикосах, мигдалі. Використовують для боротьби з гризунами.	За гострого отруєння настають втрата свідомості, параліч дихання і серця, за хронічного – головний біль, схуднення, втрата сну, порушення ходьби

Одним із найважливіших підходів до визначення та інтегральної оцінки впливу пестицидів на здоров'я населення є вивчення динаміки їх поширення і трансформації в різних середовищах, у тому числі в ґрунтах. Теоретичною моделлю розчинення, перенесення, поглинання й розпаду пестицидів у ґрунтах у разі одновимірного руху розчину в пористому середовищі є рівняння дифузії:

$$m_0 \frac{\partial u}{\partial t} = D \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} - V \frac{\partial U}{\partial x} - \frac{\partial b}{\partial t} - \alpha U + f(x), \quad (1) \quad (3.30)$$

де  $D=DM + \lambda |V|$  - дифузійна складова;  $\alpha$  – коефіцієнт швидкості розпаду пестициду;  $U$  – концентрація пестициду в розчині;  $V$ - швидкість фільтрації;  $db/dt$  – швидкість розчинення пестициду у воді;  $f(x)$  – функція поглинання пестициду кореневою системою [17 ].

Для квазістаціонарного випадку, коли  $V$  не залежить від  $x$  і  $m_0=\text{const}$ , швидкість фільтрації розраховується за умови:

$$\frac{\partial V}{\partial x} = \mu \frac{\partial^2 h}{\partial x^2} \quad (3.31)$$

Кінетику процесу розчинення і розпаду можна описати рівнянням:

$$\frac{\partial b}{\partial t} = v(U_M - U) - k_1 b, \quad (3.32)$$

де  $k_1, v$  – константи розпаду в твердій фазі (в сухих ґрунтах);  $U_m$  – концентрація насичення;  $b$  - концентрація

## 4 ОЦІНКА СУЧАСНОГО АГРОЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ АГРОЦЕНОЗІВ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

### 4.1 Основні агроекологічні характеристики ґрунтового покриву

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 .

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 [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].

Основними агрохімічними показниками, які входять до складу еколого - агрохімічного паспорта 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- ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ) і метафосфорної ( $\text{HPO}_3$ ) кислот у ґрунті. Калій входить до ряду шести елементів (кисень, кремній, алюміній, залізо, кальцій, калій), які становлять 96 % усіх хімічних речовин ґрунту. У ґрунті, на відміну від ґрунтоутвірних порід, калій перебуває не тільки у складі мінеральних структур, а входить також до складного органо-мінерального колоїдного комплексу - решток рослинного, тваринного та мікробіологічного походження. Калій у ґрунтах розподіляється на такі форми: водорозчинний, обмінний, важко обмінний, або резервний, калій ґрунту, необмінний, зокрема, фіксований калій, калій нерозчинних алюмосилікатів, калій органічної частини ґрунту (мікроби, органічні 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 вміст 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].

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). Екологічний стан поля, згідно з методикою, визначається рівнем антропогенного забруднення радіонуклідами (цезій-137, стронцій-90), важкими металами (рухомі форми кадмію, цинку, міді, свинцю, ртуті), залишками ДДТ та іншими високотоксичними пестицидами. Еколого-агрохімічні паспорти розробляються окремо для сільськогосподарських угідь, таких як орні землі, багаторічні насадження, сіножаті та пасовища, зокрема й для зрошуваних та осушених земель.

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

Для аналізу сучасного стану агроценозів Черкаської області була використана інформація про вміст живильних елементів у ґрунтах сільськогосподарського призначення за даними моніторингу у 2014 -2019 роках. Гумус є основним показником якості ґрунту, яких визначає його родючість.

На рисунку 4.1 наведено вмісту гумусу у ґрунтах Черкаської області, за осередненими даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

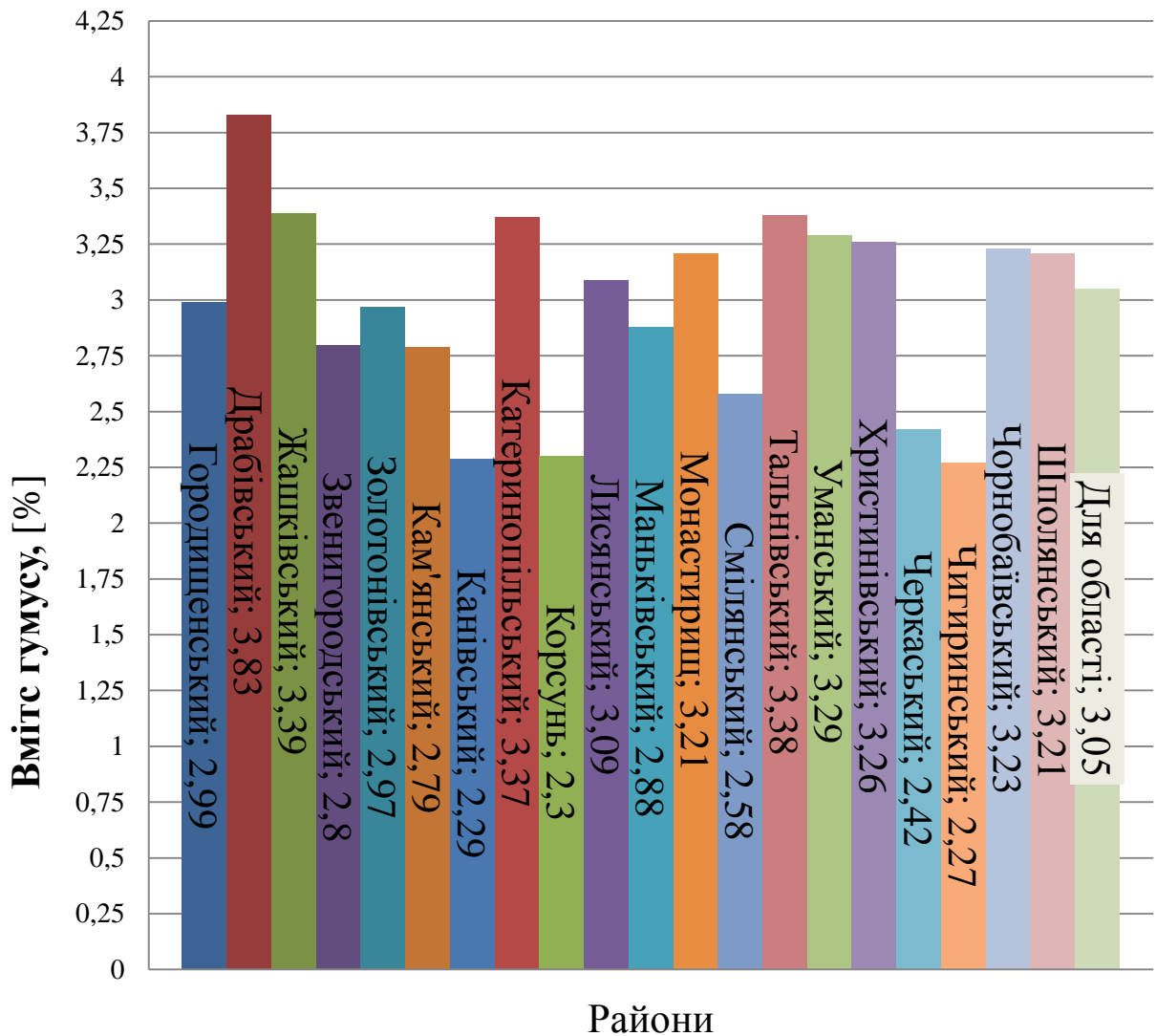


Рис. 4.1 - Вмісту гумусу у ґрунтах Черкаської області.

Навантаження на агроecosystemу надмірне й характеризується зменшенням вмісту органічної речовини, забрудненням оброблених ґрунтів засобами хімізації, які порушують процеси саморегуляції й самоочищення ґрунтів, зменшують біологічну активність ґрунтів, погіршують стійкість мікробного ценозу та загалом зменшують родючість і продуктивність цих ґрунтів [12].

З рисунку видно, що найбільші значення цього показника отримані у Драбівському районі і складають 3.83, а найменші показники цієї речовини у

Чигиринському районі і складають 2.27. Середній вміст цього елемента за досліджуваний період отримано в межах 2.7-2.8.

На рисунку 4.2 наведено вмісту азоту у ґрунтах Черкаської області, за осередненими даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

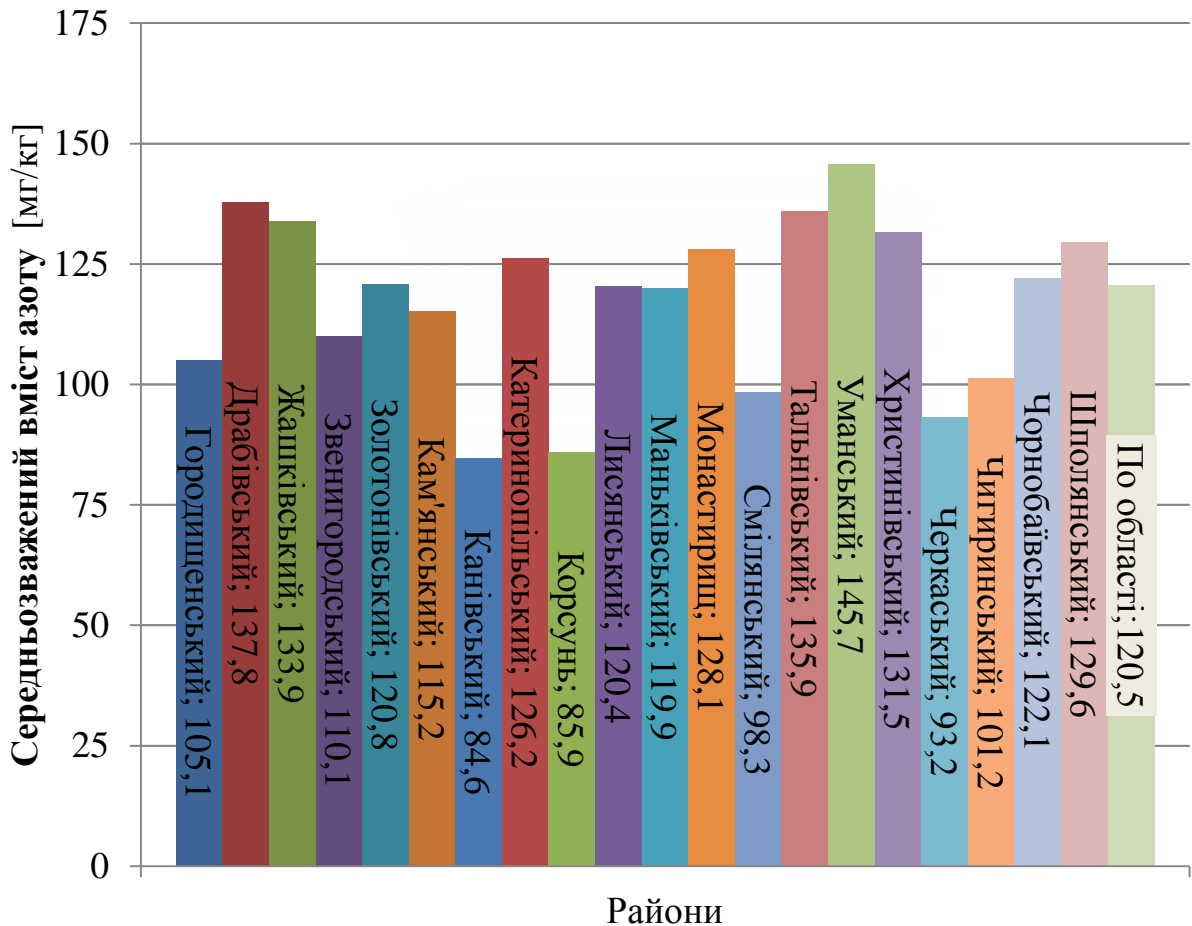


Рис. 4.2 - Вмісту азоту у ґрунтах Черкаської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показника отримані у Уманському районі і складають 145,7 мг/кг ґрунту, а найменші показники цієї речовини у Канівському районі, які складають 84,6 мг/кг ґрунту. Для цієї характеристика можна відзначити досить велику розбіжність у значеннях, яка складає два рази. Це говорить про досить високу нестійкість цього показника, яка викликає певне занепокоєння, що до стабільності цієї характеристики. Азот дуже важливий показник якості ґрунту, який в значній мірі впливає рівень забезпеченості рослин елементами мінерального



живлення і в значній мірі впливає на якісні та кількісні характеристики рівня врожаю сільськогосподарських культур.

На рисунку 4.3 наведено вмісту фосфору у ґрунтах Черкаської області, за осередненими даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

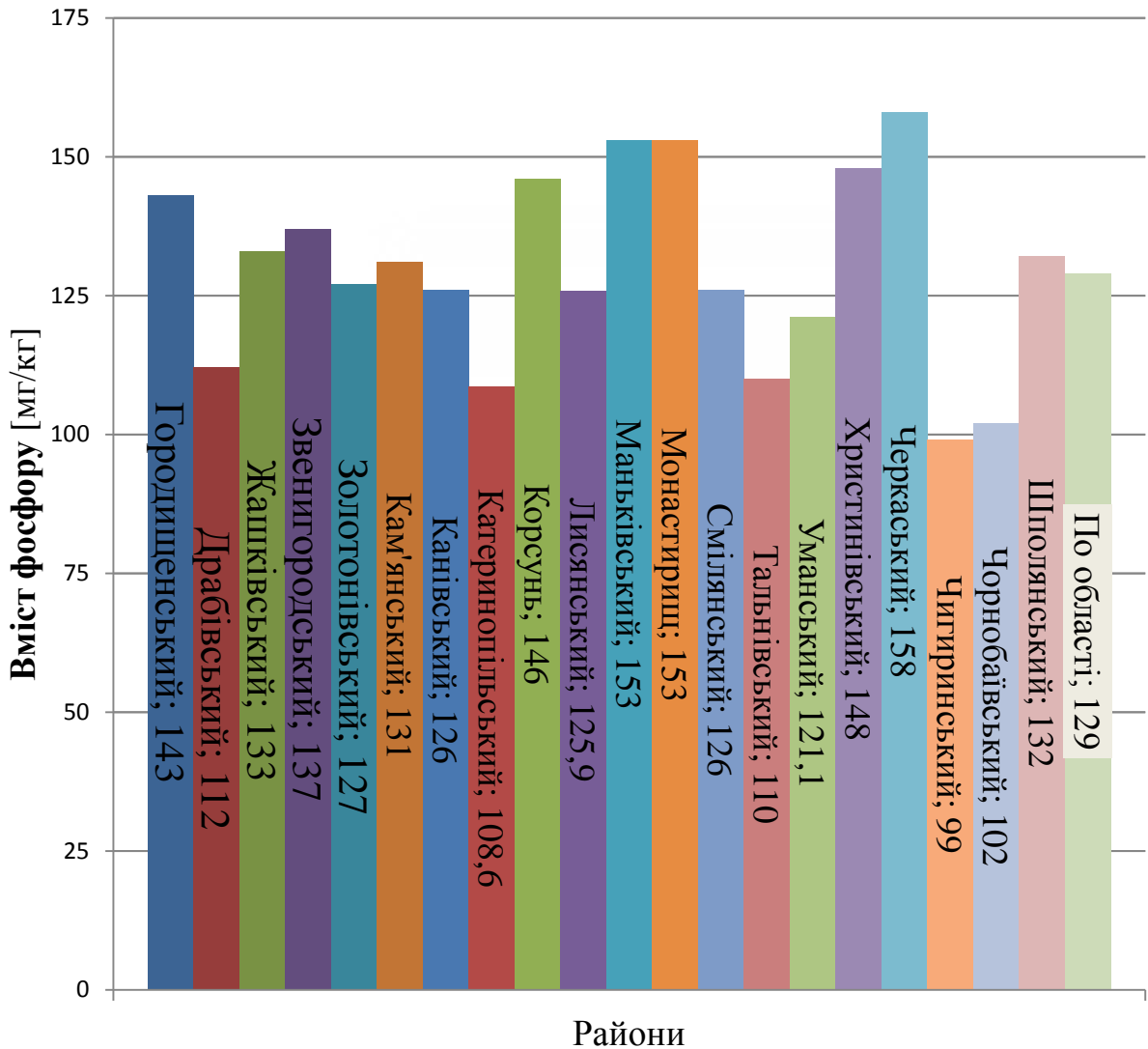


Рис 4.3 - Вмісту фосфору у ґрунтах Черкаської області.

З рисунку видно, що найбільші значення цього показника отримані у Черкаському районі і складають 158 мг/кг ґрунту, а найменші показники цієї речовини у Чигиринському районі, які складають 99 мг/кг ґрунт. Для цієї характеристика можна відзначити також досить велику розбіжність у значеннях, яка складає півтора рази. Це говорить про досить високу

нестійкість цього показника, яка викликає певне занепокоєння, що до стабільності цієї характеристики.

На рисунку 4.5 наведено процент кислих ґрунтів у ґрунтах Черкаської області, який отриманий шляхом осереднення даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

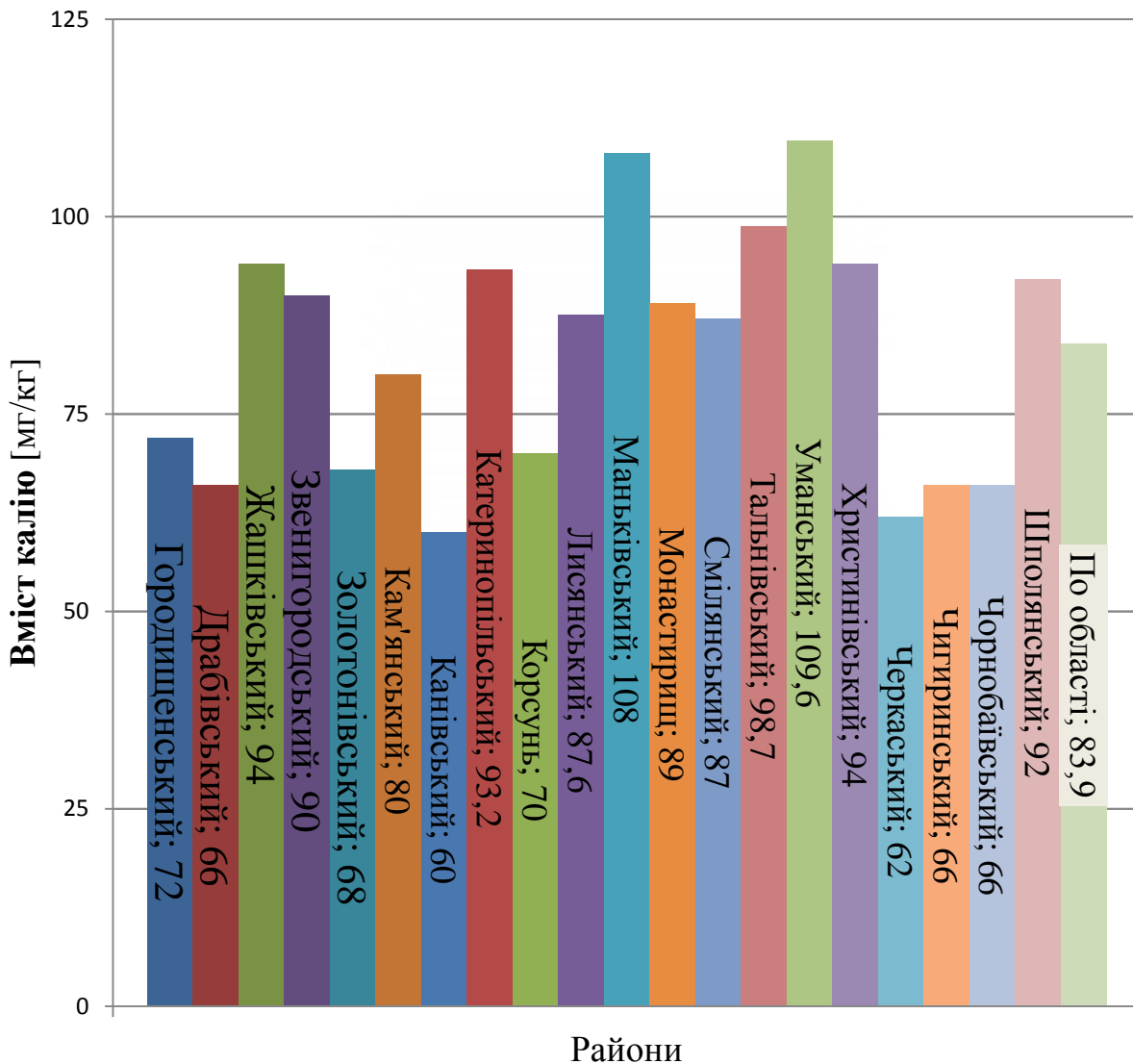


Рис 4.4 - Вмісту калію у ґрунтах Черкаської області.

Фосфор також дуже важливий показник якості ґрунту, який в значній мірі впливає рівень забезпеченості рослин елементами мінерального живлення і в значній мірі впливає на якісні та кількісні характеристики рівня врожаю сільськогосподарських культур.

На рисунку 4.5 наведено процент кислих ґрунтів у ґрунтах Черкаської області, який отриманий шляхом осереднення даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

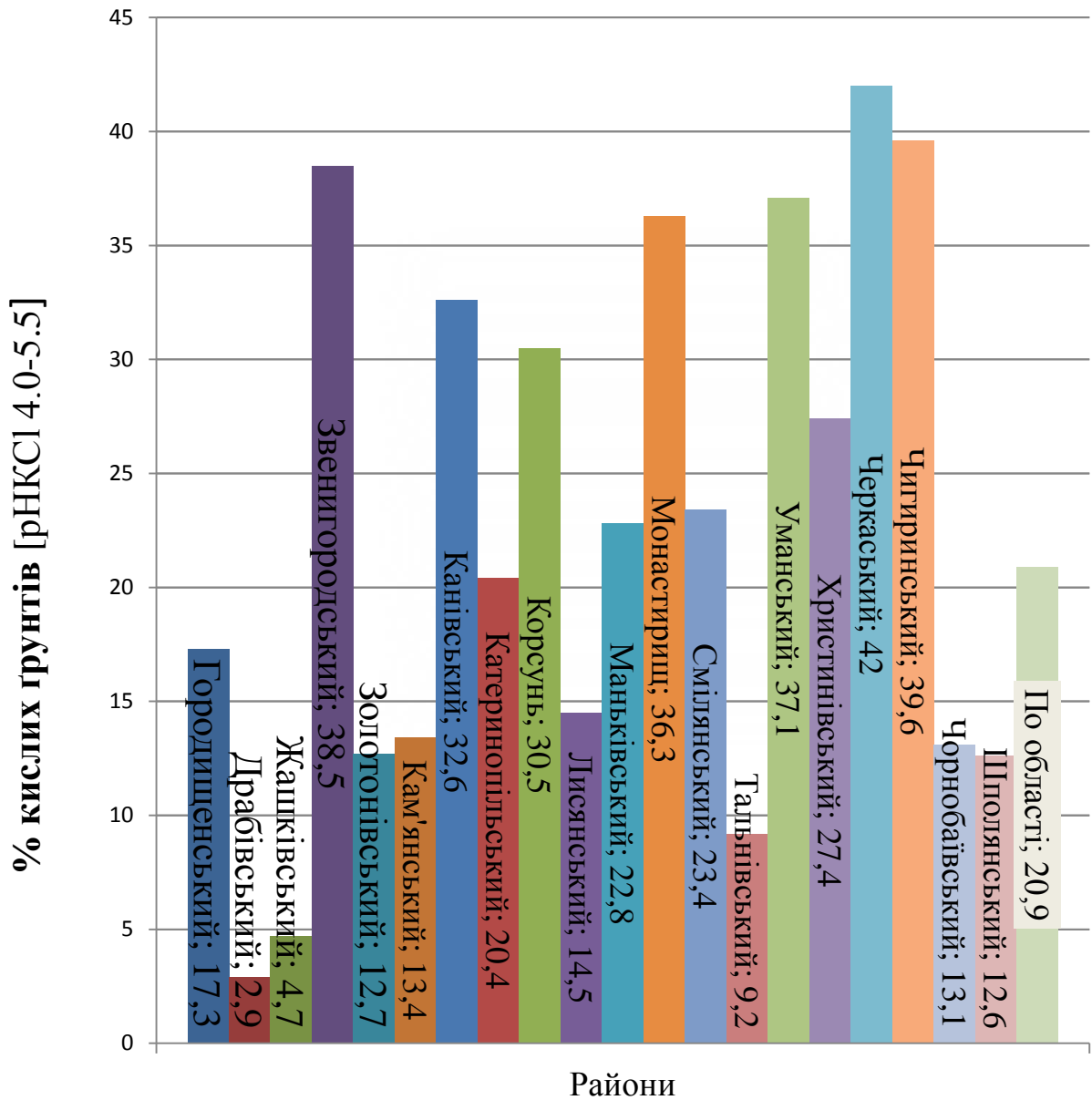


Рис 4.5 - Процент кислих ґрунтів у ґрунтах Черкаської області.

З рисунку видно, що найбільша площа, зайнята під кислі ґрунти приходить на Звенигородський, Монастирицький, Уманський, Черкаський та Чигиринський райони і складає біля 40 відсотків. Найменші значення площі, які приходяться на кислі ґрунти отримані у Драбівському,

жашківському районах і складають біля 5 відсотків. Кислотність ґрунту відіграє важливу роль у процесі поглинання рослинами забруднювальних елементів.

На рисунку 4.6 наведено процент кислих ґрунтів у ґрунтах Черкаської області, який отриманий шляхом осереднення даними про його вміст за період з 2014 по 2019 роки.

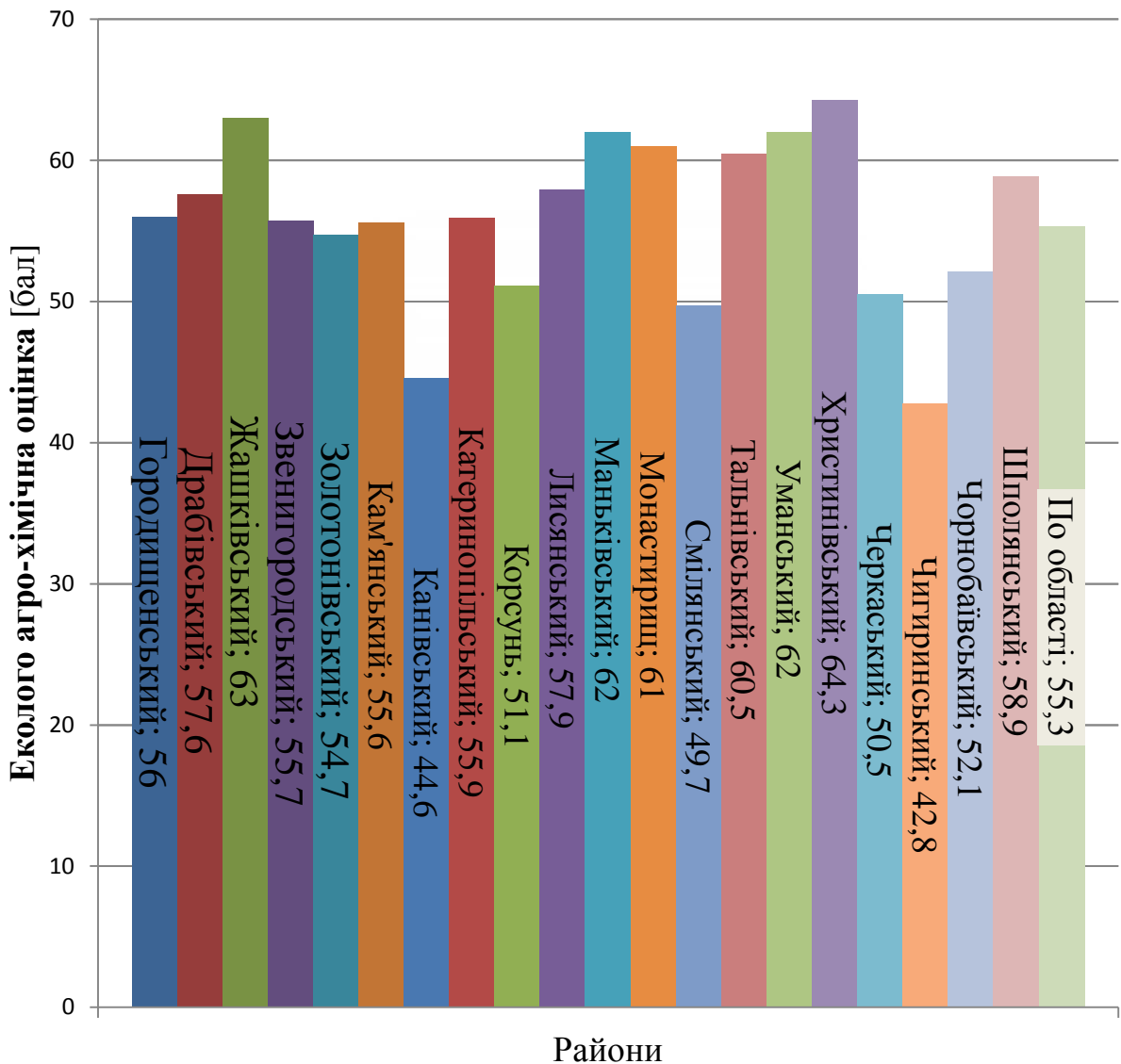


Рис 4.6 - Еколого - агрохімічна оцінка ґрунтів Черкаської області.

З рисунку видно, що найбільші значення еколого-агрохімічної оцінки отримані у Жашківському та Христинівському районі і складають біля 65 балів. Це досить велике значення цього показника, що дозволяє широко використовувати землі Черкаської області для сільськогосподарського

виробництва. Найменші показники оцінки отримані у Чигиринському та Канівському районах і складають біля 45 балів. Це показник менш ніж в середньому по Україні, але спостерігається тільки у двох районах області.

На основі виконаної еколого-агрохімічна оцінки ґрунти Черкаської області відносяться до ґрунтів із середнім показником у порівнянні до ґрунтів території України. Це дозволяє зробити висновок про досить високі можливості використання цих ґрунтів у сільськогосподарському виробництві. Детальний аналіз складових еколого-агрохімічної оцінки дозволяє розробити рекомендації, щодо оптимального застосування елементів живлення рослин з урахуванням потреби сільськогосподарських культур у факторах навколишнього середовища, з дотриманням сівозмін.

Найбільш високі та стійкі врожаї в умовах Черкаської області можна отримати при вирощуванні таких сільськогосподарських культур, як зернові, технічні та кормові культури. Менш сприятливими для вирощування овочевих культур.

За допомогою наведеної вище методики була проведена класифікація ґрунтів Черкаської області за основними еколого – агрохімічними характеристиками, які приведені у вигляді діаграм.

На рисунку 4.7 приведена діаграма рівня забезпеченості ґрунтів гумусом.

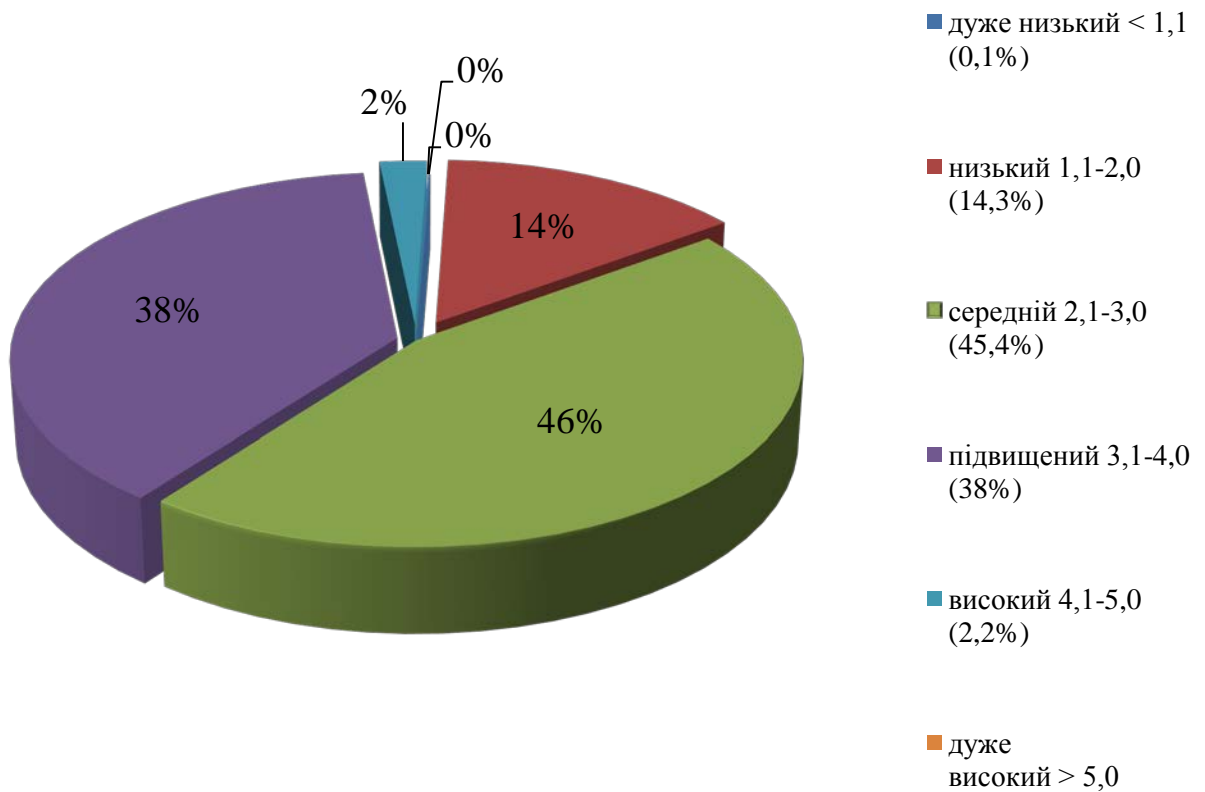


Рис. 4.7 - Діаграма класифікації ґрунтів Черкаської області за вмістом гумусу.

З рисунку видно, що найбільший відсоток гумусу мають ґрунти з середнім вмістом цієї характеристики, які знаходяться в межах 2,1 – 3,0 %. На другому місці знаходяться ґрунти, які мають підвищений вміст гумусу. Вони становлять 38 % від загальної кількості і знаходяться в межах 3,1 – 4,0%. В цілому, ґрунти Черкаської області достатньо забезпечені гумусом, але для отримання високих та стійких врожаїв необхідно збагачувати їх органічною речовиною, за рахунок внесення органічних добрив.

На рисунку 4.8 приведена діаграма рівня забезпеченості ґрунтів азотом, що легко гідролізується.

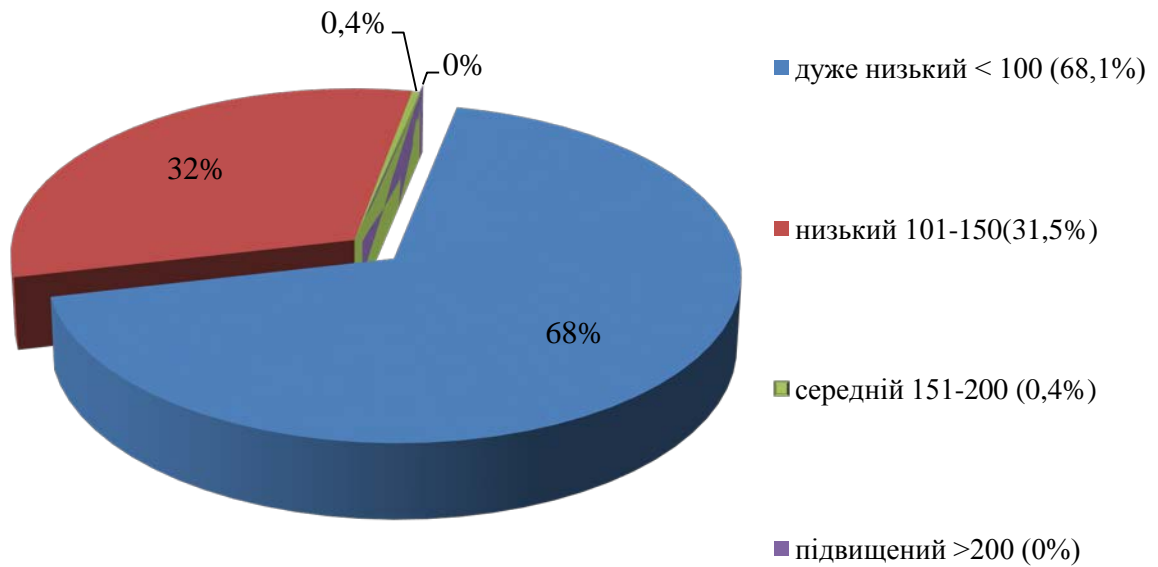


Рис. 4.8 - Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується

З рисунку видно, що найбільший відсоток забезпеченості азотом мають ґрунти з дуже низьким вмістом цієї характеристики, які знаходяться в межах менше 100 одиниць. На другому місці знаходяться ґрунти, які мають низький вміст азоту. Вони становлять 32 % від загальної кількості і знаходяться в межах 101 – 150 одиниць. В цілому, ґрунти Черкаської області недостатньо забезпечені азотом, тому для отримання високих та стійких врожаїв необхідно збагачувати їх мінеральними речовинами, за рахунок внесення азотних добрив.

На рисунку 4.9 приведена діаграма рівня забезпеченості ґрунтів фосфором.

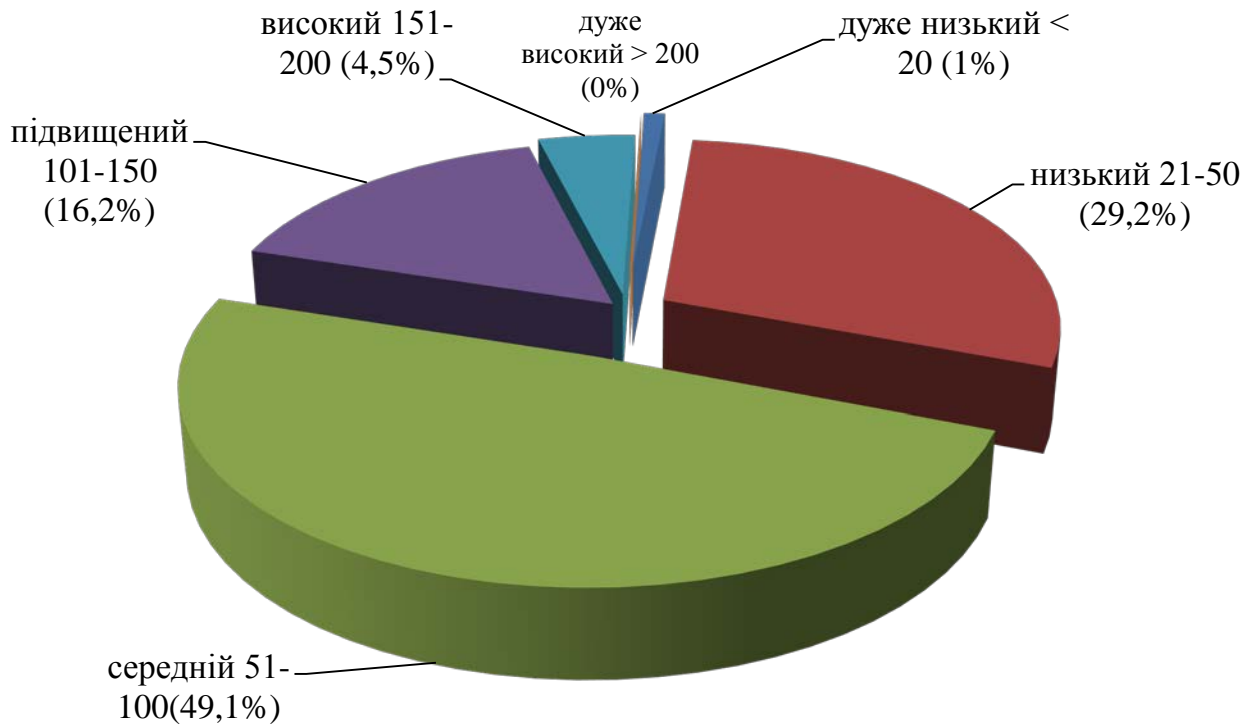


Рис. 4.9 - Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору.

З рисунку видно, що найбільший відсоток забезпеченості фосфором мають ґрунти з середнім вмістом цієї характеристики, які знаходяться в межах менше 100 одиниць. На другому місці знаходяться ґрунти, які мають низький вміст фосфору. Вони становлять 29 % від загальної кількості і знаходяться в межах 21 – 50 одиниць. В цілому, ґрунти Черкаської області недостатньо забезпечені фосфором, тому для отримання високих та стійких врожаїв необхідно збагачувати їх мінеральними речовинами, за рахунок внесення фосфорних добрив.

На рисунку 4.10 приведена діаграма рівня забезпеченості ґрунтів калієм.



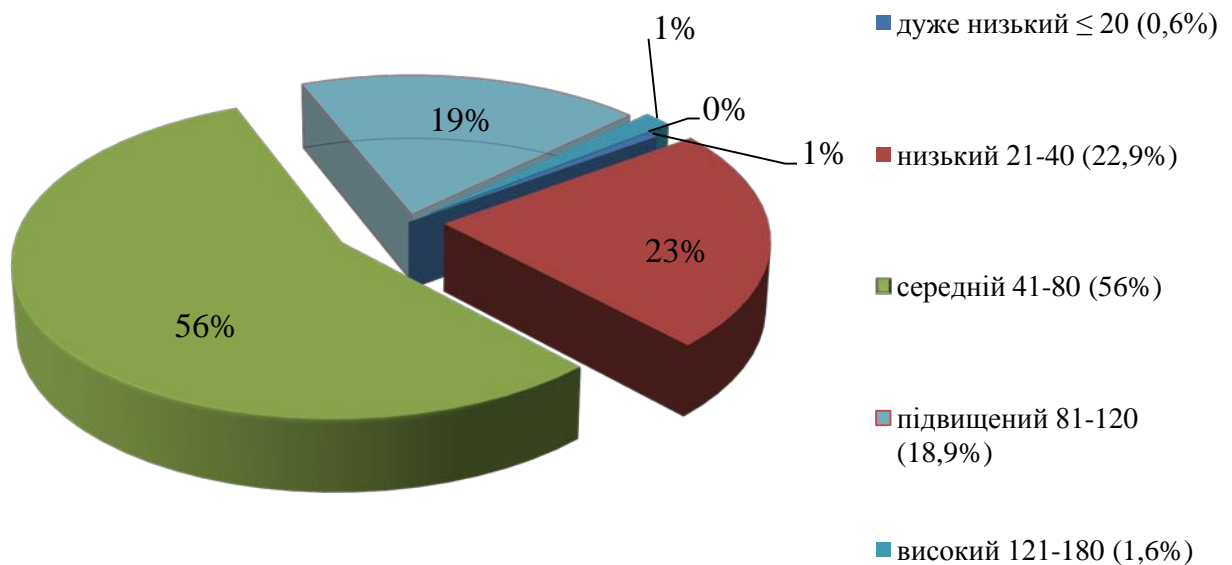


Рис. 4.10 - Діаграма характеристики ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію.

З рисунку видно, що найбільший відсоток забезпеченості калієм мають ґрунти з середнім вмістом цієї характеристики, які знаходяться в межах 40 - 80 одиниць. На другому місці знаходяться ґрунти, які мають низький вміст калію. Вони становлять 23 % від загальної кількості і знаходяться в межах 21 – 40 одиниць. В цілому, ґрунти Черкаської області недостатньо забезпечені калієм, тому для отримання високих та стійких врожаїв необхідно збагачувати їх мінеральними речовинами, за рахунок внесення калійних добрив.

Однією з основних задач роботи є оптимізація посівних площ, зайнятих під сільськогосподарські культури на даній території. Для цього, необхідно було проаналізувати існуючу структуру посівних площ. Для цього на рисунку 4.11 виконано аналіз структури посівів сільськогосподарських культур в області.

Виходячи з даного рисунку, найбільші площі зайняті під картоплю та технічні культури. Найменші площі відведені під зернові культури.

На рисунку 4.10 приведена діаграма структури посівів сільськогосподарських культур в області

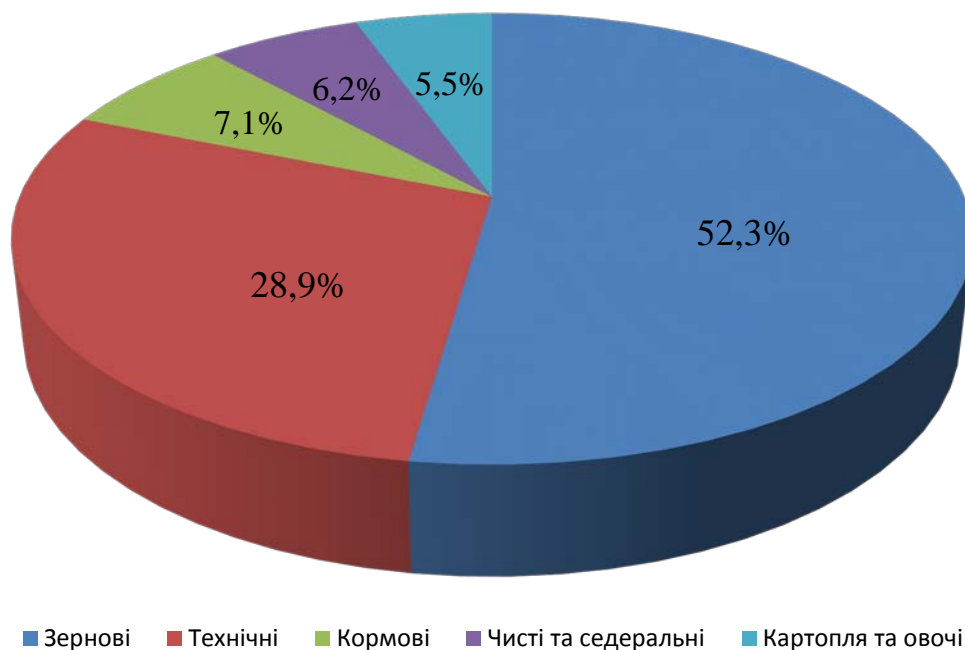


Рис. 4.11 - Структура посівів сільськогосподарських культур в області, %

В цілому, виконана оцінка агроекологічного стану агроценозів Черкаської області дозволяє зробити висновок про досить великий потенціал цієї території для сільськогосподарського виробництва, отримання високих та стійких врожаїв сільськогосподарських культур. При цьому залишається проблема раціонального використання агрохімікатів під врожай, з урахуванням видів мінеральних та органічних добрив, часу їх внесення та кількісних характеристик.

## 5 АГРОЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАСТОСУВАННЯ АГРОХІМІКАТІВ В УМОВАХ ЧЕРКАСЬКОЇ ОБЛАСТІ

За результатами агрохімічного обстеження у ґрунтах Черкаського району спостерігається зменшення вмісту середньозважених показників гумусу та зростання кислотності ґрунтового розчину різних типів ґрунту

Для порівняння зазначимо, що середньозважений показник вмісту гумусу в ґрунтах Черкаської області становить 3,07 %, для Черкаського району – 2,42 %. Це дорівнює втраті від 400 до 600 кг гумусу на гектар. Низький вміст органічної речовини позначається на доступності елементів живлення мінеральних добрив. Дефіцит джерела живлення впливає на розвиток ґрунтових мікроорганізмів, які забезпечують мобілізацію елементів живлення важкодоступних для рослин форм. Також погіршуються фізико-хімічні властивості ґрунтів, їх токсикологічний, агрегатний, водний і тепловий режим, знижується в цілому біологічна активність ґрунту.

Так, Черкаський район займає третє місце за збільшенням площ кислих ґрунтів серед 20 районів області (рис. 2). Як показав аналіз [5, 8], застосування на середньо обласному гектарі 180 кг елементів живлення з мінеральних добрив (а це в основному солі сильних кислот) зумовило зростання кислотності ґрунтів та виносу кальцію врожайми сільськогосподарських культур

Сучасна система ведення землеробства базується на принципі отримання максимально чистого прибутку рослинництва з його мінімальними матеріально-грошовими затратами. Проте такий економічний підхід суперечить сучасному розумінню ведення землеробства, яке в процесі експлуатації природного

ресурсу не допускає зниження його родючості. Лише науковий агроекологічний підхід, а саме – розрахунок балансу поживних речовин та гумусу залежно від вирощуваної сільськогосподарської культури, а також фізичних, хімічних і біологічних характеристик ґрунту, вчасне вапнування забезпечать підтримку рівня поживних речовин у ґрунтах Черкаського району.

### 5.1 Моделювання впливу агрохімікатів

В основу поділу агрохімікатів на класи небезпечності покладено нормативи оцінки екологічного стану ґрунтів щодо кислотно-основних властивостей. Визначення класів небезпечності агрохімікатів за впливом на актуальну (рНшоХ обмінну (рШкст), гідролітичну кислотність наведено у працях В. П. Патики, Н. А. Макаренко (2005 р.)

Рівні впливу агрохімікатів на величину вертикальної міграції хімічних речовин визначаються за величиною коефіцієнта концентрації ( $K_c$ ), який характеризує ступінь накопичення елементів (речовин) компонентів системи стосовно обраного еталона:

$$K_c = k_i / K_i \quad (5.1)$$

де,  $k_i$  - уміст (кількість) і-хімічного елемента (речовини) в п-компоненті,

$K_i$  - уміст (кількість) і-хімічного елемента (речовини) в еталоні (контролі).

За  $K_c$  пропонується така градація:  $K_c < 1,0$  — малонебезпечний;  $K_c 1,1-2,9$  - помірно небезпечний;  $K_c 3,0-5,0$  - небезпечний;  $K_c > 5,0$  - особливо небезпечний рівень міграції.

У таблиці 5.1 наведено комплексну класифікацію агрохімікатів за показниками впливу на ґрунтову систему, яка була використана при моделюванні впливу агрохімікатів на агроценози Черкаської області.

Критерій	Клас небезпечності			
	I Особливо небезпечні	II Небезпечні	III Помірно Небезпечні	IV Мало небезпечні
Перевищення фонового вмісту , кратність	>6	5-6	3-4	<2
Перевищення ГДК , кратність	> 10,0	2,1-10,0	1,1-2,0	< 1,0
Час досягнення критичної концентрації - Тк. Роки	<10	10-30	31-100	> 100
Зміна кислотно-основних показників ґрунту;	>2,5			<0,5
рН н <sub>2</sub> О				
підвищення кислотності на 1 рН	>1,3	1. 1,0 1,3-0,8	0,9-0,5	<0,3
підвищення лужності на 1 рН	>1,5		0,7-0,3 0,9-0,5	<0,5
рН <sub>ксл</sub> (од.рН)	>4,0	1. 1,0 4,0-2,0	0,5 1,9-1,0	<1,0
гідролітична кислотність				
Активність радіальної міграції:	>5,0			<1,0
1) К <sub>сч</sub> кратність			1,1-2,9 20-	
2) швидкість, см/3 місяці	>50	3,0-5,0 50-21	10	<10
Вплив на біологічну активність ґрунту:	51-100	26-50	10-25	<10
зниження чисельності / активності, %	>6	3-6	1-2	<1

Таблиця 5.1 - Класифікація агрохімікатів за показниками впливу на ґрунтову систему

Агрохімікати поділяються на певні класи небезпечності, які представлені у таблиці 5.2. Дані таблиці містять комплексну класифікацію агрохімікатів за впливом на міграцію у ґрунтах хімічних речовин.

Клас	К <sub>с</sub> (умовні)	Швидкість
Особливо	>5,0	>50
Небезпечні	3,0-5,0	50-21
Помірно	1,1-2,9	20-10
Мало небезпечні	<1,0	<10

Таблиця 5.2 - Класифікація агрохімікатів за впливом на міграцію ґрунтовому профілі хімічних речовин

Прогноз ризику застосування агрохімікатів ґрунтується на визначенні часу досягнення критичної концентрації у ґрунті елементів, що підлягають контролю ( $T_k$ ).

Час досягнення критичної концентрації токсикантів у ґрунті ( $T_k$ ) являє собою відношення можливого додаткового надходження токсичних елементів з добривом ( $A$ ) до фактичного ( $G$ ):

$$T_k = A/G \text{ (роки)}, \quad (5.2)$$

Можливе додаткове внесення токсичних елементів у ґрунт з добривом можна розрахувати як щодо рівня ГДК, так і щодо фонового вмісту хімічних елементів у ґрунті:

$$A = (ГДК - F) \cdot 3\,000\,000 \cdot k_t, \quad (5.3)$$

$$A = 2F - 3\,000\,000 \cdot k_t, \quad (5.4)$$

де,  $A$  - можливе додаткове внесення токсичних елементів у ґрунт з добривом, мг/га; ГДК - гранично допустима концентрація, мг/кг;  $F$  - фоновий вміст токсичного елемента у ґрунті, мг/кг; 3 000 000 - маса орного шару ґрунту в перерахунку на суху речовину, кг/га;  $k_t$  - коефіцієнт стійкості, що враховує властивості ґрунту і відображує здатність ґрунту утримувати хімічні елементи у фіксованому стані, бал.

Фактичне надходження токсичних елементів у ґрунт з добривом розраховується таким чином:

$$G = d \cdot g_2 \cdot 100 / g_1 \quad (4.8)$$

де,  $G$  - фактичне надходження токсичних елементів у ґрунт з добривом, мг/га;  $d$  - доза добрива за діючою речовиною, кг/га;  $g_1$  - вміст діючої речовини в добриві, %;  $g_2$  - вміст токсичного елемента в добриві, мг/кг.

За величиною часу досягнення критичної концентрації біохімічно активних елементів у ґрунті ( $T_k$ ) оцінку необхідно проводити за такою градацією ризику застосування мінеральних добрив: < 10 років - високо небезпечний; 10-30 - небезпечний; 31-100 - помірно небезпечний і > 100 років - мало небезпечний рівень. На основі наведеної градації визначають класи агрохімікатів з метою виявлення потенційного рівня їхньої небезпечності (таблиця 5.3).

У таблиця 5.3 наведено класи безпеки мінеральних добрив

Клас небезпечності	$T_k$ , роки
Високонебезпечний	<10
Небезпечний	10-30
Помірно небезпечний	31-100
Малонебезпечний	>100

Таблиця 5.3 - Класи безпеки мінеральних добрив

Проведення розрахунків  $T_k$  дає можливість оцінити потенційну небезпеку нового виду мінерального добрива ще на стадії розробки і якщо буде потреба, провести необхідні заходи щодо поліпшення якісного гь паду або обмеження його використання в умовах нестійких екосистем.

У таблиці 5.4 наведено оцінку мінеральних добрив за впливом на перевищення фонового місту токсичних елементів у ґрунті (орний шар).

Клас небезпечності	Перевищення фону,
Високонебезпечний	>6
Небезпечний	5-6
Помірно небезпечний	3-4
Малонебезпечний	<2

Таблиця 5.4 - Оцінка агрохімікатів за впливом на перевищення фонового місту токсичних елементів у ґрунті (орний шар).

Н. А. Макаренко пропонує під час поділу мінеральних добрив на класи небезпечності за впливом на нагромадження токсичних елементів у ґрунті щодо ГДК керуватися нормативами екологічної оцінки ґрунтів за їхніми рухомими формами (таблиця 5.5).

У таблиця 5.5 наведено поділ мінеральних добрив на класи небезпечності за впливом на нагромадження токсичних елементів у ґрунті стосовно ГДК

Клас небезпечності	Перевищення ГДК (рухомі форми),
Високо небезпечний	> 10,0
Небезпечний	2,1-10,0
Помірно небезпечний	1,1-2,0
Мало небезпечний	<1,0

Таблиця 5.5 - Поділ мінеральних добрив на класи небезпечності за впливом на нагромадження токсичних елементів у ґрунті стосовно ГДК

За допомогою наведеної математичної моделі виконано оцінку впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.

У таблиці 5.6 приведена ефективність внесення добрив, у зв'язку з умовами зволоження за період розвитку рослин, який приходить на травень - серпень місяці.



Зволоження	$\Sigma r$ , мм		D, мб		Середній приріст врожаю від NPK, ц/га					
	Вологі умови	Сухі умови	Вологі умови	Сухі умови	оз. пшениця		Кукурудза		Соняшни к	
					Чорноз еми підзол	Чорноз еми звич	Чорнозе ми підзол	Чорноз еми звич	Чорноз ем підзол	Чорно земи звич
Нормальне	80	60	5,2	6,3	9,3	9,6	7,9	7,6	7,9	6,8
Недостатнє	70	40	6,8	8,7	6,4	6,5	4,2	4,8	4,5	4,6
Середнє	120	80	5,6	6,5	7,2	8,7	5,0	5,2	6,3	7,1

Таблиця 5.6 - Середня ефективність NPK для ґрунтів Черкаської області у зв'язку з умовами вирощування

В цілому, за даний період на території Черкаської області випадає значна кількість опадів. Але, за розглянутий 5 річний період спостерігалось у 20% випадках посушливі умови. Тому, за допомогою математичної моделі, яка представлена раніше, були виконані розрахунки ефективності внесення агрохімікатів у роки з недостатніми умовами зволоження.

Визначені норми внесення сприяють отриманню високих врожаїв з мінімальними кількостями забруднюючих речовин, до яких в першу чергу належать важкі метали.

## 5.2 Моделювання радіонуклідного забруднення

Ще одним показником стану агроценозів є рівень радіонуклідного забруднення. До складу агрохімікатів входить певна кількість радіонуклідів. Тому в рамках роботи було проведено аналіз сучасного рівня забруднення

ґрунтів Черкаської області основними радіонуклідами, до яких відносяться цезій та стронцій.

Рівень радіонуклідного забруднення ґрунтово-рослинного покриву досить не високий, тому можна казати про отримання екологічно чистої сільськогосподарської продукції на даній території.

Важливою особливістю моделей міграції радіонуклідів в агросфері є наявність сполучених з ними інформаційних систем, у яких містяться дані про особливості районів можливого забруднення.

У найбільш повних моделях, призначених для оцінки наслідків викиду радіонуклідів у навколишнє середовище поряд з міграцією радіонуклідів в атмосфері розглядаються питання, зв'язані з оцінкою наслідків вживання населенням забрудненої продукції і прийняттям оптимальної стратегії, що дозволяє звести ці наслідки до прийнятних меж. Рішення цих питань викликано необхідністю оцінок дозових навантажень на населення районів, що підлягли забрудненню, у яких звичайно враховуються дози зовнішнього опромінення від радіонуклідів, що знаходяться на поверхні ґрунту й у приземному шарі атмосфери, і дози внутрішнього опромінення від радіонуклідів, що надходять в організм людей по харчовому й інгаляційному шляхах.

Моделювання переносу радіонуклідів у сільськогосподарських екосистемах виконувалося на основі модифікованої математичної моделі, розробленої для оцінки забруднення сільськогосподарських продуктів в умовах використання радіоактивно забруднених джерел води для поливного землеробства.

На рисунку 5.1 наведено щільність забруднення сільськогосподарських угідь області Черкаської області цезієм – 137.

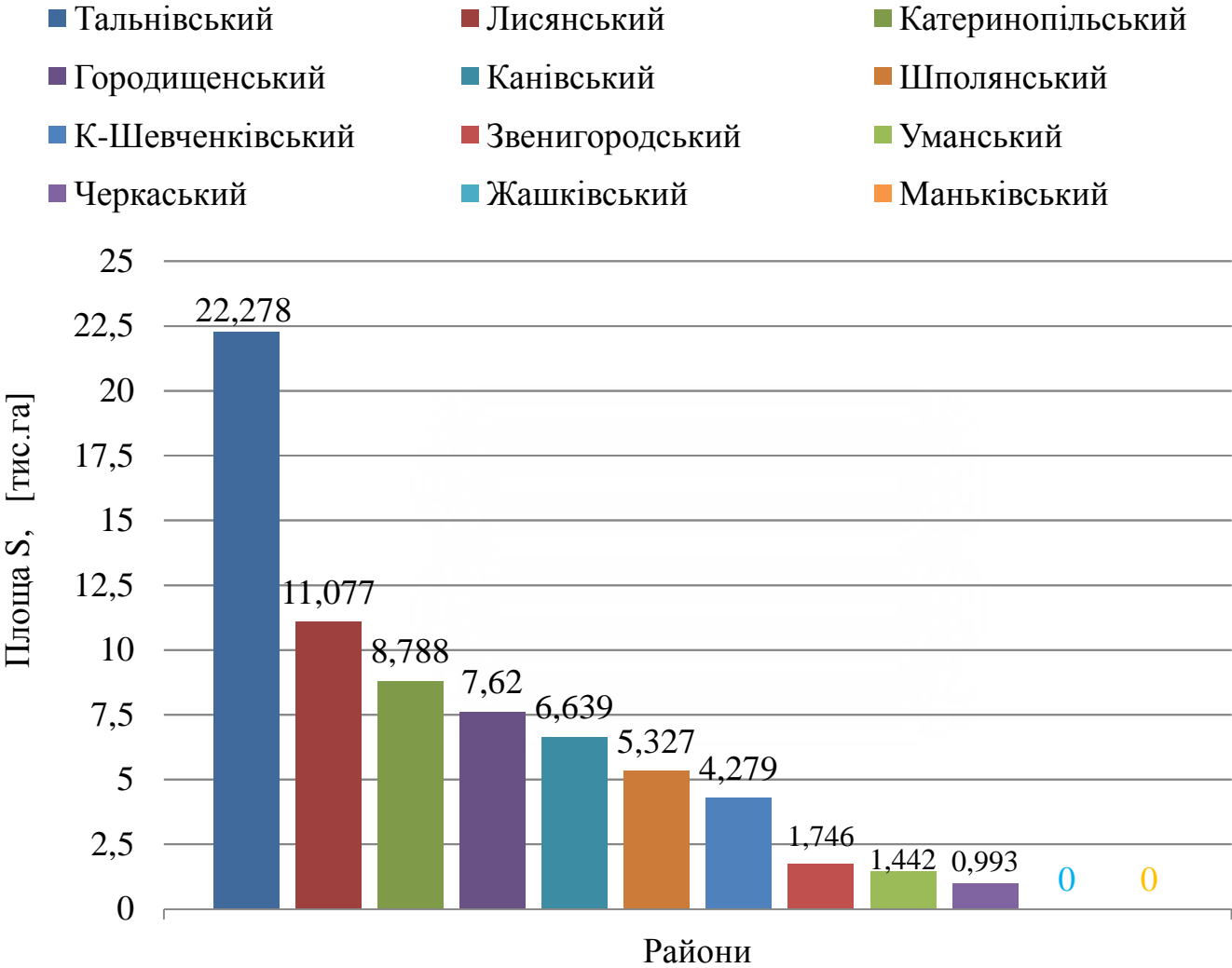


Рис.5.1 Щільність забруднення сільськогосподарських угідь області цезієм – 137.

Аналізуючи графік можна сказати, що найбільшій щільності забруднення цезієм – 137 виявлена в Тальнівському районі і становить 22,2 тис.га, а найменша забруднюваність цезієм – 137 в Черкаському районі – 0,9 тис.га.

На рисунку 5.2 наведено щільність забруднення сільськогосподарських угідь області Черкаської області стронцієм – 90.

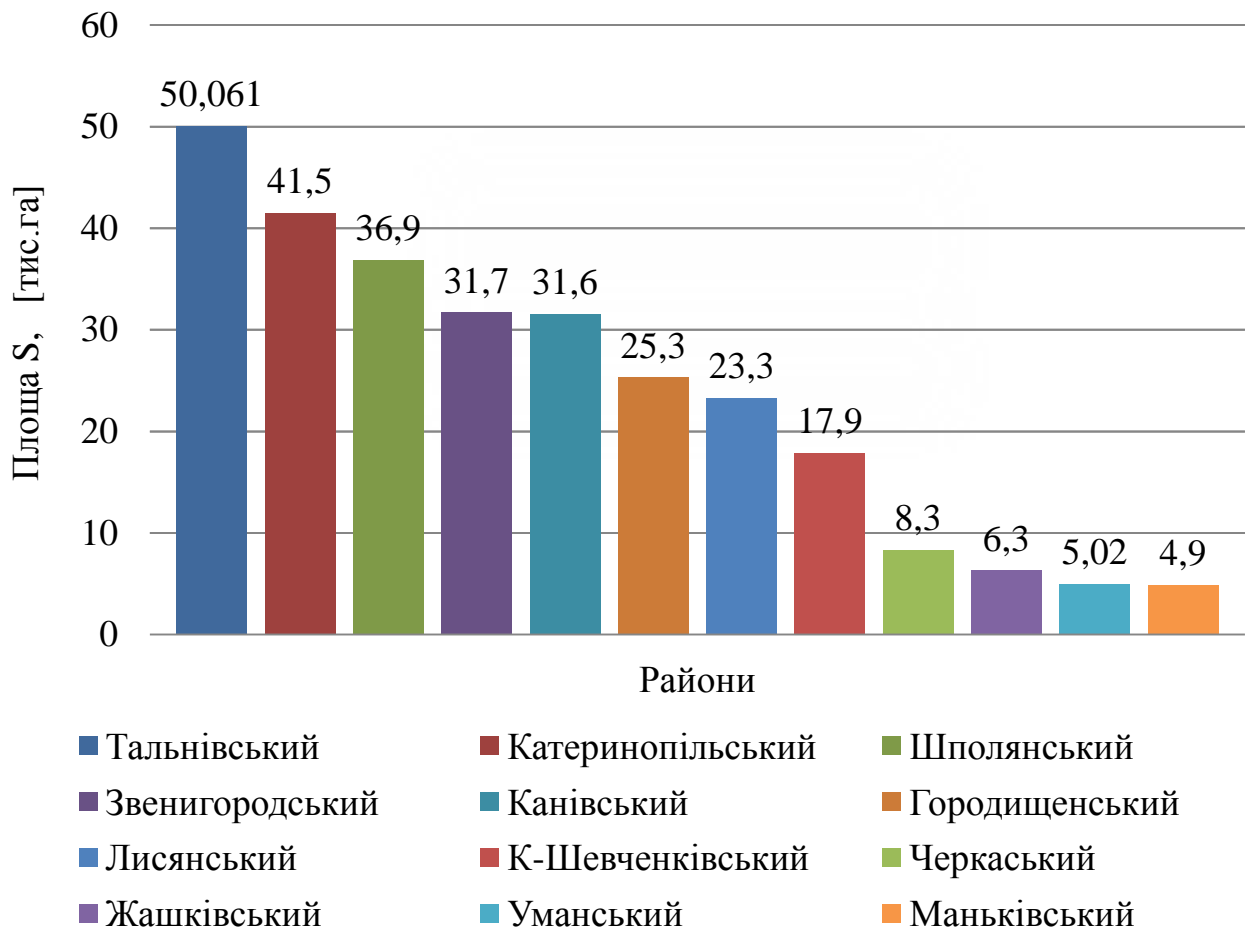


Рис. 5.2 Щільність забруднення сільськогосподарських угідь області стронцієм – 90.

З графіку видно, що в Тальнівському районі спостерігається найбільше забруднення стронцієм – 90 і становить 50,061 тис.га. Найменше ж забруднення стронцієм – 90 в Маньківському районі – 4,9 тис.га.

### 5.3 Ідентифікація параметрів моделі

Була проведена ідентифікація параметрів моделі відносно Черкаської області. Отримані параметри дозволяють оцінити стан ґрунтового покриву, атмосферного повітря, рослинного покриву, а також врахувати фактори, які визначають рівень забруднення радіонуклідами, вміст мікроелементів, агроекологічні характеристики та внесення хімічних засобів захисту рослин від захворювань та шкідників. З'ясовані значення параметрів представлені в таблиці 5.7. Найбільші відхилення були отримані для тих із них, які характеризують стан атмосферного повітря і потреби різних рослин в факторах навколишнього середовища.

Перевірка адекватності (верифікація) моделі здійснюється шляхом аналізу результатів чисельних експериментів і порівняння розрахункових характеристик з фактичними.

У таблиці 5.7 наведена ідентифікація параметрів моделі (за автором)

Параметр	Фізичний зміст	Границі вимірів	Одиниці вимірів
$W_{\text{НВ}}$	найменша вологосмість ґрунту в шарі 0-50 см	95	мм
$t_{\text{опт}}^1$	оптимальна сумарна температура для дихання	210	°C
$t_{\text{опт}}^2$	оптимальна сумарна температура для фотосинтезу	210	°C
$t_{\text{Лопт}}$	оптимальна сумарна температура для росту листків	260	°C
$t_{\text{Сопт}}$	оптимальна сумарна температура для росту стебла	300	°C
$t_{\text{Ропт}}$	оптимальна сумарна температура для росту коріння	400	°C
$t_{\text{Ропт}}$	оптимальна сумарна температура для росту репродуктивних органів	750	°C
L	питома поверхнева щільність листків	35	м <sup>2</sup> /м <sup>2</sup>
K	інтенсивність фотосинтезу при світловому насиченні	40	мгСО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>
B	початковий нахил світлової кривої фотосинтезу	525	мгСО <sub>2</sub> /дм <sup>3</sup>

$\alpha_q$ погл	поглинаюча швидкість кореня	$1,65 \cdot 10^{-5}$	м/с
$A_q$ почв	концентрація рухомих форм q-го виду важкого металу в ґрунті	20,05	мг/кг ґрунту
$a_r$	радіус кореня	0,5	см
M	зниження інтенсивності росту рослини під впливом важкого металу	0,45	відносні од.

Таблиця 5.7 – Ідентифікація параметрів моделі (за автором)

У роботі перевірка моделі проводилась двома способами. Перший полягає в порівнянні розрахункових по моделі і емпіричних характеристик. Порівняння проводились в динаміці від формування прорості до зрілості соняшника (основної сільськогосподарської культури, яка культивується в умовах Черкаської області).

Було проведено порівняння розрахункових і емпіричних значень приростів біомаси вегетативних і репродуктивних органів соняшника, який вирощується практично в усіх районах області.

У таблиці 5.8 наведено вплив похибки визначення параметрів на точність розрахунку біомаси репродуктивних органів соняшника (за автором)

Параметри	Збільшення параметрів, %					
	0	1	5	10	15	20
$\alpha_\Phi$	625,5	651,6	739,8	841,5	895,5	899,1
$\alpha_R$	625,5	624,6	619,2	612	604,8	596,7
K	625,5	635,4	668,7	710,1	752,4	792
B	625,5	630,9	649,8	672,3	694,8	715,5
L	625,5	619,2	593,1	563,4	536,4	512,1
$T_{op}$	625,5	632,7	661,5	692,1	715,5	722,7

Таблиця 5.8 – Вплив похибки визначення параметрів на точність розрахунку біомаси репродуктивних органів соняшника (за автором)

Зроблено висновок про достатню чутливість всієї моделі, що розглядається в цілому до змін стану навколишнього середовища і впливу факторів, які визначають антропогенну складову.

На рис 5.4 наведена апробація моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.



Рис 5.4 Апробація моделювання впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.

З рисунку видно, що найбільші значення внесення агрохімікатів отримані для Канівського району. Найменші для Черкаського.

На рисунку 5.5 наведена урожайність зернових культур у 2018 році.



Рис 5.5 Урожайність зернових культур у 2018 році.

З рисунку видно, що найбільші значення урожайності зернових культур отримані також для Канівського району. Найменші для Черкаського.



На рис 5.6 наведена урожайність пшениці в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році



Рис 5.6 Урожайність пшениці в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році

З рисунку видно, що найбільші значення урожайності пшениці отримані також для Звенигородського району. Найменші для Чигиринського.

На рис 5.7 наведена урожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році

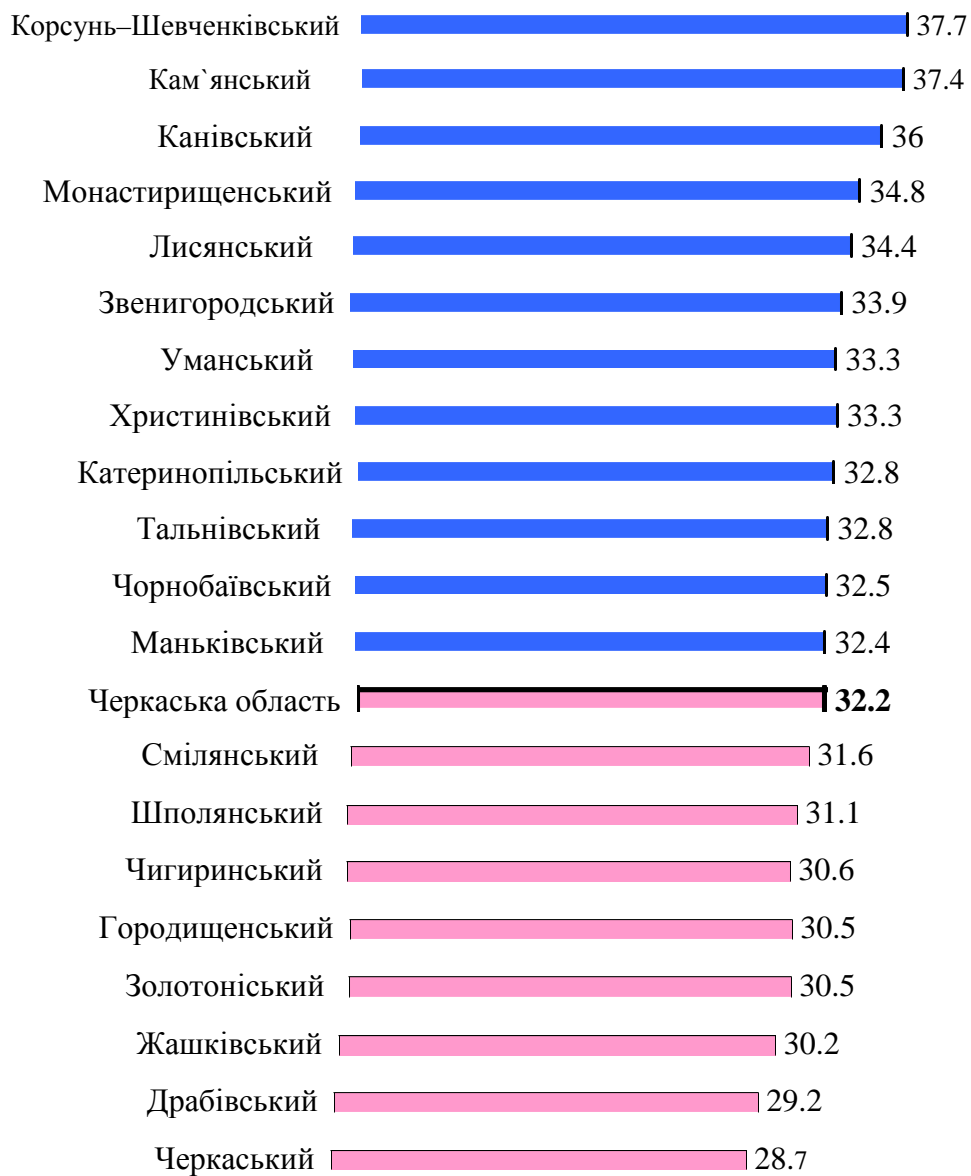


Рис 5.7 Урожайність соняшнику в сільськогосподарських підприємствах у 2018 році

З рисунку видно, що найбільші значення урожайності пшениці отримані також для Корсунь–Шевченківського району. Найменші для Черкаського.

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було виконання оцінки впливу агрохімікатів на агроценози Черкаської області із застосуванням математичної моделі. Для оцінки були використані матеріали моніторингових спостережень за показниками стану ґрунтів у 2015 – 2019 рр. В результаті виконання роботи були зроблені наступні висновки:

1. Ґрунти Черкаської області є недостатньо забезпеченими гумусом. За допомогою математичної моделі виконано оцінку впливу агрохімікатів на стан агроценозів Черкаської області.

2. Розрахунок сучасного агроекологічного стану агроценозів Черкаської області з урахуванням рівня внесення агрохімікатів проводився за допомогою математичної моделі.

3. Середній віст гумусу містять близько 38 % ґрунтів. Середній вмісту гумусу по області складає в межах 2,1 – 3,0 %.

5. Майже 68 % ґрунтів містять дуже низький вміст азоту, приблизно 49% ґрунтів містять середній вміст фосфору, 18,9% ґрунтів містять підвищений вміст калію. За вмістом фосфору відзначається позитивна динаміка.

6. Виконана еколого-агрохімічна оцінка ґрунтів по всім районам Черкаської області. Найбільші значення еколого-агрохімічної оцінки отримані у Жашківському та Христинівському районі і складають біля 65 балів. Це досить велике значення цього показника, що дозволяє широко використовувати землі Черкаської області для сільськогосподарського виробництва. Найменші показники оцінки отримані у Чигиринському та Канівському районах і складають біля 45 балів. Це показник менш ніж в середньому по Україні, але спостерігається тільки у двох районах області.

На основі виконаної еколого-агрохімічна оцінки ґрунти Черкаської області відносяться до ґрунтів із середнім показником у порівнянні до ґрунтів території України.

7. В цілому, виконана оцінка агроекологічного стану агроценозів Черкаської області дозволяє зробити висновок про досить великий потенціал цієї території для сільськогосподарського виробництва, отримання високих та стійких врожаїв сільськогосподарських культур. При цьому залишається проблема раціонального використання агрохімікатів під врожай, з урахуванням видів мінеральних та органічних добрив, часу їх внесення та кількісних характеристик.

8. Найбільш високі та стійкі врожаї в умовах Черкаської області можна отримати при вирощуванні таких сільськогосподарських культур, як зернові, технічні та кормові культури. Менш сприятливими для вирощування овочевих культур.

9. На території Черкаської області випадає значна кількість опадів. Але, за розглянутий 5 річний період спостерігалось у 20% випадках посушливі умови. Тому, за допомогою математичної моделі, яка представлена раніше, були виконані розрахунки ефективності внесення агрохімікатів у роки з недостатніми умовами зволоження.

10. Ще одним показником стану агроценозів є рівень радіонуклідного забруднення. До складу агрохімікатів входить певна кількість радіонуклідів. Тому в рамках роботи було проведено аналіз сучасного рівня забруднення ґрунтів Черкаської області основними радіонуклідами, до яких відносяться цезій та стронцій. Рівень радіонуклідного забруднення ґрунтово-рослинного покриву досить не високий, тому можна казати про отримання екологічно чистої сільськогосподарської продукції на даній території.

11. Виконано перевірку моделі на фактичному матеріалі про урожайність сільськогосподарських культур, які вирощуються на території Черкаської області. Похибка розрахунків не перевищує 20 %, що дозволяє

зробити висновок про можливість використання цієї моделі для оцінки стану агроценозів з урахуванням впливу агрохімікатів.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за 2009 рік// Довкілля Вінничини URL: [http://vineco.ucoz.org/load/st\\_d/r\\_d/dopovid\\_za\\_2009\\_rik/1-1-0-113](http://vineco.ucoz.org/load/st_d/r_d/dopovid_za_2009_rik/1-1-0-113)
2. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за період 2010 рік// Довкілля Вінничини URL: [http://vineco.ucoz.org/load/st\\_d/r\\_d/regionalna\\_dopovid\\_pro\\_stan\\_dovkillja\\_za\\_2010\\_rik/1-1-0-196](http://vineco.ucoz.org/load/st_d/r_d/regionalna_dopovid_pro_stan_dovkillja_za_2010_rik/1-1-0-196)
3. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за період 2011 рік// Довкілля Вінничини URL: [http://vineco.ucoz.org/load/st\\_d/r\\_d/regionalna\\_dopovid\\_pro\\_stan\\_dovkillja\\_oblasti\\_u\\_2011\\_roci/1-1-0-316](http://vineco.ucoz.org/load/st_d/r_d/regionalna_dopovid_pro_stan_dovkillja_oblasti_u_2011_roci/1-1-0-316)
4. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за період 2012 рік// Довкілля Вінничини URL: [http://vineco.ucoz.org/load/st\\_d/r\\_d/regionalna\\_dopovid\\_pro\\_stan\\_dovkillja\\_oblasti\\_u\\_2012\\_roci/1-1-0-415](http://vineco.ucoz.org/load/st_d/r_d/regionalna_dopovid_pro_stan_dovkillja_oblasti_u_2012_roci/1-1-0-415)
5. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Вінницькій області за період 2013 рік// Довкілля Вінничини URL: [http://vineco.ucoz.org/load/st\\_d/r\\_d/regionalna\\_dopovid\\_za\\_2013\\_rik/1-1-0-524](http://vineco.ucoz.org/load/st_d/r_d/regionalna_dopovid_za_2013_rik/1-1-0-524)
6. Городній М. М. та ін. Агрохімія: підручник/ Київ: ТОВ “Алефа”, 2003. 778 с.
7. Агроекологія/ В. А. Черников, Р. М. Алексахин, А. В. Голубев и др.; под ред. В. А. Черникова, А. И. Чекереса ; Москва, 2000. 536 с.
8. Основи ведення сільського господарства та охорона земель / Грабак Н. Х., Тоніха І., Давиденко В. М., Шевель І. В.; Київ, 2006. 496 с.
9. ДСТУ 4362: 2004 Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. К.: Держспоживстандарт України, 2006. 19 с.

10. Агроэкологія / В. Н. Писаренко, П. В. Писаренко, В. В. Писаренко; Полтава, 2008, 408 с.
11. Кирюшин В.И. Экологические основы земледелия. Москва: Колос, 1996. 223с.
12. Корнеева Г.В. Растениеводство. Москва: "Колос" 1999. 368 с.
13. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів / Патица В. П, Макаренко Н. А., Моклячук Л. І. та ін.; за ред. В. П. Патица. Київ, 2005. 300 с.
14. Екологічні основи використання добрив / Є. Г. Дегодюк, В.Т. Мамонтов, В. І. Гамалей; Київ, 1988. 232 с.
15. Экологические проблемы применения удобрений / Кудеяров В.Н. и др.; Москва, 1984. 213 с.
16. Минеев В.Г. Экологические функции агрохимии в современном земледелии // Агрохимия, 2000. №5. С.5-13.
17. Носка .Б.С, Прістера Б. С., Лободи М.В. Довідник з агрохімічного та агроекологічного стану ґрунтів України / Київ: Урожай, 1994. 336 с
23. Карнаухов А.И., Безнис А.П. Бионеорганическая химия: учебное пособие / Київ: Вища школа, 1992. 232 с.
18. Глазовская М.А. Методические основы эколого-геохимической устойчивости почв к техногенным воздействиям / Москва: Издательство МГУ, 1997. 102 с.
19. Потатуева Ю.А., Касицкий Ю.И., Сидоренкова Н.К. и др. Распределение подвижных форм тяжелых металлов, токсичных элементов и микроэлементов по профилю дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном систематическом применении удобрений // Агрохимия, 2001. С.61-66.
20. Агроекологія / Смаглій О.Ф., Кардашов А.Т., Литвак П.В. та ін.; Київ, 2006. 671с.

21. Пристер Б. Количественная комплексная оценка свойств почвы при прогнозировании поведения радионуклидов в системе почва-растение // Вісник аграрної науки. 2002. №1. С.61-68.
22. Лактіонов М.І. Агрогрунтознавство. навч. посібн. /ХДАУ ім.В. В. Докучаева. Харків: Видавець Шуст А.І., 2001. 156 с.
23. Трахтенберг И.М. Книга о ядах и отравлениях. Київ: Наукова думка, 2000. 366 с.
24. Носко Б., Христенко А., Максимова В. та ін. Використання фосфоритів родовищ України на чорноземних ґрунтах // Вісник аграрної науки. 2001. №1. С.3/4-36.
25. Ладонін В. Влияние комплексного применения средств химизации на содержание тяжелых металлов в почве и растениях // Химия в сельском хозяйстве. 1994. №4. С.32-35.
26. Минеев В.Г. Экологические проблемы агрохимии / Москва: Изд-во МГУ, 1988. 251 с.
27. Патика В. П., Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель / Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
28. Полевой А.Н. Моделирование процесса формирования продуктивности зерновых культур в условиях радиоактивного загрязнения агроэкосистем / Метеорология и гидрология, 1983. п.12. с.97-105.
29. Полевой А.Н. Прикладное моделирование и прогнозирование продуктивности посевов / Ленинград: Гидрометеоиздат, 1988. 319 с.
30. Добрива та їх використання / Марчук І. У., Макаренко В. М., Розстапний В. Є., Савчук А. В. Київ: 2002. 243 с.
31. Ракоїд О.О. Методичні рекомендації з комплексної агроекологічної оцінки земель сільськогосподарського призначення / Київ: Логос, 2008. 51 с.
32. Куценко А.М., Писаренко В.Н. Охрана окружающей среды в сельском хозяйстве / Киев: Урожай, 1991. 387 с.



33. Полетаєва Л.М., Юрасов С.М., Ільїна В.Г.. Моделювання та прогнозування стану довкілля: конспект лекцій / Одеса: «ВМВ», 2006. 181с.
34. Екологічна токсикологія / Овруцький О. В., Шумейко В. М., та ін. / Київ: Столиця, 1998. 204.
35. В.Н. Ефимов, И.Н. Донских, В.П. Царенко. Система применения удобрений / Москва: Колос, 2002. 320с.
36. Крикунов В. Г. Ґрунти та їх родючість: підручник / Київ: Вища школа, 1993.287 с.

## ДОДАТКИ

## ДОДАТОК А

## ПЕРЕЛІК ПУБЛІКАЦІЇ ЗА ТЕМОЮ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

1. Ільїна В.Г., Дзюник С.В. Аналіз вмісту фосфору у ґрунтах сільськогосподарського призначення Черкаської області / Матеріали VII міжнародної наукової конференції молодих вчених « Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування» . Україна, Харків, 2019 .