

ОДЕСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ І.І. МЕЧНИКОВА

Факультет гідрометеорології і екології

Кафедра екології та охорони довкілля

## Кваліфікаційна робота

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

# ОСОБЛИВОСТІ РОЗПОДІЛУ МІКРОЕЛЕМЕНТІВ У РОСЛИННО-ГРУНТОВОМУ ПОКРИВІ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ PECULIARITIES OF MICROELEMENTS DISTRIBUTION IN THE PLANT AND SOIL COVER OF ZAPORIZHZHYA OBLAST

Виконав: студентка 2 курсу денної форми навчання  
спеціальності 101 «Екологія»

Освітньо-професійна програма Екологія та охорона  
навколишнього середовища

Стоянова Діана Василівна

(прізвище, ім'я, по-батькові здобувача)

Керівник PhD, викладач Ільїна А.О.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент к.геогр.н., доц. Прокоф'єв О.М.

(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

Рекомендовано до захисту:  
Протокол засідання кафедри  
екології та охорони довкілля  
№ 4 від 22.11. 2024 р.

Завідувачка кафедри  
Ангеліна ЧУГАЙ  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Захищено на засіданні ЕК № 1  
протокол №     від    .   .2024 р.

Оцінка     /     /      
(за національною шкалою/шкалою ECTS/ бали)

Голова ЕК

Микола СЕРБОВ  
(підпис) (прізвище, ім'я)

Одеса 2024

## АНОТАЦІЯ

**Стоянова Д.В. Особливості розподілу мікроелементів у рослинно-грунтовому покриві Запорізької області.**

Ґрунт є акумулюючим середовищем, здатним накопичувати високі концентрації елементів. На склад ґрунтів та їх здатність самовідновлення впливають природні (ґрунтоутворюючі процеси) та антропогенні (промислові та транспортні викиди) джерела. Сільськогосподарські ґрунти є найбільш схильними до забруднення з порушеними природними процесами самоочищення. У зв'язку з цим моніторинг стану ґрунтового покриву сільськогосподарських територій і виявлення джерел їх забруднення є найактуальнішим питанням сьогодення.

Метою кваліфікаційної роботи є оцінка розподілу мікроелементів у рослинно-грунтовому покриві Запорізької області.

Об'єктом дослідження є ґрунтово-рослинний покрив Запорізької області. Предметом дослідження – розподіл мікроелементів в рослинно-грунтовому покриві Запорізької області.

В якості вихідних даних нами була взята інформація з Регіональних доповідей про стан земельних ресурсів у Запорізькій області за 2016 – 2023 роки, Екологічних паспортів Запорізької області за 2016 – 2023 роки та Головного управління статистики Запорізької області. Також були враховані дані про внесення мінеральних та органічних добрив під основні сільськогосподарські рослини, які вирощуються на території Запорізької області.

За проаналізованими характеристиками сучасного стану агроєкосистем визначено вміст мікроелементів в ґрунтово-рослинному покриві Запорізької області.

Робота складається зі вступу, 4 основних розділів, висновку, переліку посилань. Обсяг роботи складає 69 с., в т.ч. 35 рис., 7 табл. та 29 літературних джерел.

**Ключові слова:** мікроелементи, ґрунтово-рослинний покрив, баланс біогенних елементів, адаптивні системи землеробства.

## ANNOTATION

### **Stoyanova D.V. Peculiarities of microelements distribution in the plant and soil cover of Zaporizhzhya oblast.**

Soil is an accumulating medium capable of accumulating high concentrations of elements. The composition of soils and their ability to self-renew are influenced by natural (soil-forming processes) and anthropogenic (industrial and transport emissions) sources. Agricultural soils are most susceptible to pollution with disrupted natural self-purification processes. In this regard, monitoring the state of soil cover in agricultural areas and identifying sources of their pollution is the most urgent issue of today.

The purpose of the qualification work is to assess the distribution of trace elements in the plant and soil cover of the Zaporizhzhya oblast.

The object of the study is the soil and vegetation cover of the Zaporizhzhya oblast. The subject of the study is the distribution of trace elements in the soil and vegetation cover of the Zaporizhzhya oblast.

As initial data, we took information from the Regional Reports on the State of Land Resources in Zaporizhzhya oblast for 2016–2023, the Ecological Passports of Zaporizhzhya oblast for 2016–2023, and the Main Department of Statistics of Zaporizhzhya oblast. We also took into account data on the application of mineral and organic fertilizers to the main agricultural plants grown in the Zaporizhzhya oblast.

Based on the analyzed characteristics of the current state of agroecosystems, the content of trace elements in the soil and vegetation cover of the Zaporizhzhya oblast was determined.

The work consists of an introduction, 4 main sections, a conclusion, a list of references. The volume of the work is 69 pages, including 31 figures, 7 tables and 29 literary sources.

**Keywords:** microelements, soil and plant cover, balance of biogenic elements, adaptive farming systems.

## ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ	8
1.1 Проблематика збереження та захисту земельних ресурсів	8
1.2 Аналіз сучасного стану використання та забруднення земельних ресурсів в Україні	16
1.3 Адаптивні системи землеробства в Україні	20
2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1 Фізико-географічна характеристика	25
2.2 Характеристика ґрунтового-рослинного покриву	28
3 СУЧАСНИЙ СТАН ҐРУНТОВО-РОСЛИННИЙ ПОКРИВУ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ	32
3.1 Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу	33
3.2 Характеристика ґрунтів за вмістом азоту	39
3.3 Характеристика ґрунтів за вмістом фосфору	44
3.4 Характеристика ґрунтів за вмістом калію	49
4 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ ҐРУНТОВО-РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ	56
4.1 Моделювання забезпеченості елементами мінерального живлення	56
4.2 Моделювання поглинання мікроелементів рослинним покривом	58
4.3 Оцінка поглинання мікроелементів ґрунтового-рослинним покривом Запорізької області за допомогою математичної моделі	60
ВИСНОВКИ	65
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	67

## ВСТУП

Ґрунти різняться за вмістом поживних мікроелементів і здатністю забезпечувати сільськогосподарські культури мікроелементами в кількостях, достатніх для їх оптимального росту та розвитку. Актуальність обраної тематики полягає у тому, що переважна більшість ґрунтів всього світу характеризуються дефіцитом здатності забезпечувати сільськогосподарські культури мікроелементами і ця проблема посилюється ще тим фактом, що багато сучасних сортів основних сільськогосподарських культур дуже чутливі до низьких рівнів мікроелементів. Як відомо загальні рівні мікроелементів у ґрунтах визначають склад ґрунту, геохімічні, педогенні та біогенні режими тощо. Однак загальні рівні мікроелементів в ґрунті не досить чітко вказують на доступність їх для рослин, оскільки доступність залежить від рН ґрунту, вмісту органічної речовини, адсорбційних поверхонь та інших фізичних, хімічних і біологічних умов у ризосфері. Доступність мікроелементів для рослин можна визначити в експериментах з прямим поглинанням або оцінити за допомогою методів, які співвідносять кількість мікроелементів, екстрагованих хімічним шляхом із ґрунту, з поглинанням рослинами та їх реакцією на внесення мікроелементів.

Вміст мікроелементів у ґрунті є одним з найважливіших екологічних факторів, який залежить від типу ґрунту та кліматичних умов території, безпосередньо пов'язаний з ростом і розвитком рослинності та відтворює забезпечення рослин мінеральним живленням з ґрунту. Дослідження ґрунту та рослинних тканин показали, що мікроелементи є важливим лімітуючим фактором росту сільськогосподарських культур. Як надлишок так і нестача будь-якого мікроелемента суттєво впливає на ріст та розвиток рослин. Відомо, що в усьому світі мільйони гектарів ґрунту сільськогосподарських угідь не мають достатньої кількості мікроелементів [1]. Тому дослідження розподілу та балансу мікроелементів в екосистемах є дуже актуальним питанням сьогодення, а оптимальне елементне живлення є ключем до отримання

високоякісних врожаїв сільськогосподарських культур, як в теперішніх, так і в майбутніх кліматичних умовах.

Дослідження показують, що ефективними компонентами поживних речовин є ті, які можуть бути засвоєні рослиною, і що біодоступність елемента пов'язана з його хімічним станом у ґрунті. Як зазначалося вище, а біодоступність мікроелементів впливає багато факторів, таких як значення рН ґрунту, окислювально-відновні процеси, органічна речовина, мінеральний склад ґрунту та температура тощо. Кахата-Пендіас підсумував доступність деяких елементів у різних ґрунтових умовах і зазначив, що в окислювальних кислих ґрунтах багато мікроелементів, особливо Cd і Zn, є дуже активними і мають високу біодоступність, тоді як у відновлювальних нейтральних або лужних ґрунтах біодоступність елементів значно нижча [2].

Сільськогосподарські ґрунти Запорізької області зазнають високого навантаження через інтенсивне землеробство, збільшення числа сільськогосподарських підприємств, а також збільшення обсягів зберігання заборонених і непридатних до використання пестицидів. Велика проблема українських ґрунтів — дефіцит елементів живлення. За даними Ukravit Institute, 40% ґрунтів в Україні мають середній і низький вміст фосфору — вміст P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> у них становить від 10 до 12 мг/кг (за Олсеном), іноді — до 17 мг/кг ґрунту. Отже, родючість українських ґрунтів потребує постійних діагностики та моніторингу.

Метою кваліфікаційної роботи магістра стала оцінка розподілу мікроелементів у рослинно-ґрунтовому покриві Запорізької області задля забезпечення довідкової інформації для рекультивації, використання та управління земельними ресурсами області.

Об'єктом дослідження є ґрунтово-рослинний покрив Запорізької області. В якості вихідних даних нами була взята інформація з Регіональних доповідей про стан земельних ресурсів у Запорізькій області за 2016 – 2023 роки, Екологічних паспортів Запорізької області за 2016 – 2023 роки та Головного управління статистики Запорізької області.

При виконанні роботи були поставлені такі завдання:

- надати характеристику сучасного стану ґрунтового-рослинного покриву Запорізької області;
- визначити вміст мікроелементів в ґрунтах області;
- дослідити вплив застосування добрив на накопичення мікроелементів;
- оцінити особливості розподілу мікроелементів у рослинно-ґрунтовому покриві Запорізької області.

В роботі також розглянуті норми внесення добрив, розрахунок дози під різні сільськогосподарські культури, а також надані рекомендації щодо зменшення біогенного навантаження на агроєкосистеми.

## 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТЕМАТИКИ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 1.1 Проблематика збереження та захисту земельних ресурсів

Земля є важливим природним ресурсом як для виживання і процвітання людства, так і для підтримки всіх земних екосистем. Протягом тисячоліть люди ставали все більш досвідченими у використанні земельних ресурсів у власних цілях. Обсяги цих ресурсів є обмеженими, тоді як людський попит на них з кожним роком зростає. Підвищений попит, або тиск на земельні ресурси, проявляється у зменшенні виробництва сільськогосподарських культур, погіршенні якості та кількості землі, а також у конкуренції за землю. На теперішній час увага має бути зосереджена на ролі людства як управителя, а не експлуататора, на якому лежить відповідальність за захист прав майбутніх поколінь і збереження землі як основи глобальної екосистеми.

Земля розглядається не лише з точки зору ґрунтів і рельєфу поверхні, але й охоплює такі характеристики, як поверхневі відкладення, клімат і водні ресурси, а також рослинні і тваринні угруповання, які сформувалися в результаті взаємодії цих фізичних умов. Конвенція ООН про боротьбу з опустелюванням визначає землю як «наземну біопродуктивну систему, що включає в себе ґрунт, рослинність, іншу біомасу, а також екологічні та гідрологічні процеси, що відбуваються усередині цієї системи» [3]. Альтернативне визначення землі звучить так: «позначена територія на поверхні суші планети, якій властиві всі атрибути біосфери безпосередньо над поверхнею землі або під нею, у тому числі навколомний клімат, ґрунт та рельєфи, гідрологія поверхневих вод (включаючи дрібні озера, річки, топи та болота), близькі до поверхні шари осадових порід та пов'язані з ними запаси ґрунтових вод, рослинні та тваринні популяції (біологічна різноманітність), структура населених пунктів та фізичні результати минулої та нинішньої

діяльності людини (такі як терасування, водосховища або дренажні споруди, дороги та будівлі)» [4].

Основні функції землі щодо підтримки людських та інших наземних екосистем можна представити таким чином:

- 1) виробництво їжі, клітковини, палива чи інших біотичних матеріалів для використання людиною;
- 2) забезпечення біологічного середовища проживання рослин, тварин і мікроорганізмів;
- 3) співдетермінант глобального енергетичного балансу та глобального гідрологічного циклу, який забезпечує як джерело, так і поглинач парникових газів;
- 4) регулювання зберігання та стоку поверхневих і підземних вод;
- 5) джерело корисних копалин і сировини для потреб людини;
- 6) буфер, фільтр або модифікатор для хімічних забруднювачів;
- 7) забезпечення фізичного простору для поселень, промисловості та відпочинку;
- 8) створення можливості або перешкоди переміщенню тварин, рослин і людей.

У термінології екологічної економіки землю можна розглядати як запас відновлюваних ресурсів. Земельні ресурси важко вписати в категорії відновлюваних і невідновлюваних. Загалом вони повільно відновлюються, а швидкість їх деградації значно перевищує природну швидкість регенерації. На практиці це означає, що земля, втрачена внаслідок деградації, природним чином не замінюється протягом тривалого часу, що призводить до втрати можливостей для наступного покоління.

Результати людської діяльності, відображені у змінах рослинного покриву або у структурах, також розглядаються як характеристики землі. Зміна одного з факторів, наприклад, землекористування, має потенційний вплив на інші фактори, такі як флора і фауна, ґрунти, розподіл поверхневих вод і клімат. Зміни цих факторів можна легко пояснити динамікою екосистем,

і важливість їх взаємозв'язку при плануванні та управлінні земельними ресурсами стає все більш очевидною.

Охорона земель може включати, наприклад, захист території від забудови, надмірного використання або забруднення, захист водних об'єктів і середовищ існування, захист та збереження дикої природи на цій території, створення балансу між охороною і природокористуванням для людей, збереження відкритого простору, захист та відновлення лісів на деградованих територіях, захист стану ґрунтів, розробка стратегій сталого землекористування, запобігання ерозії та очищення від сміття та ін. Часто організації, що займаються охороною земель, перетинаються з організаціями, що займаються охороною лісів, дикої природи, річок, водно-болотних угідь тощо.

Проблема раціонального використання та захисту земельних ресурсів, в тому числі землі сільськогосподарського призначення, є актуальною та набуває глобального значення. На рівні окремих країн проблема збереження земель набуває державного характеру – переоцінка системи цінностей, що орієнтує суспільство в напрямі безконтрольної та необмеженої експлуатації природних ресурсів. Стан земельних ресурсів напряму впливає на стан екологічної безпеки країни, а відповідно і на продовольчу безпеку держави. Тому, земельні ресурси займають особливу роль в системі державних цінностей та підлягають належній охороні.

Землі сільськогосподарського призначення – це землі, надані для виробництва сільськогосподарської продукції, здійснення сільськогосподарської науково-дослідної та навчальної діяльності, розміщення відповідної виробничої інфраструктури. До земель сільськогосподарського призначення належать:

а) сільськогосподарські угіддя (рілля, багаторічні насадження, сіножаті, пасовища та поклади);

б) несільськогосподарські угіддя (господарські дороги та прогони, полезахисні лісові смуги та інші захисні насадження, крім віднесених до

земель лісогосподарського призначення, землі під господарськими спорудами та дворами, землі тимчасової консервації тощо).

Землі сільськогосподарського призначення передаються у власність та надаються у користування:

а) громадянам - для ведення особистого селянського господарства, садівництва, городництва, сінокошіння та випасу худоби, ведення товарного сільськогосподарського виробництва;

б) сільськогосподарським підприємствам – для ведення товарного сільськогосподарського виробництва;

в) сільськогосподарським науково-дослідним установам та навчальним закладам, сільським професійно-технічним училищам та загальноосвітнім школам - для дослідних та навчальних цілей, пропаганди передового досвіду ведення сільського господарства;

г) несільськогосподарським підприємствам, установам та організаціям, релігійним організаціям та об'єднанням громадян – для ведення підсобного сільського господарства.

Потенційне виробництво ріллі та її вразливість до деградації залежать від застосованих стратегій управління та властивих ґрунту і інших характеристик. У разі збільшення кількості населення на певній території, підвищується і попит на виробництво, що, як наслідок, може спричинити стрес і подальшу деградацію земельних ресурсів. Однак, якщо доступні вдосконалені стратегії управління земельними ресурсами, то це дає змогу використовувати земельні ресурси без значного погіршення останніх.

На сьогоднішній день земельні ресурси явно перебувають у стані стресу, оскільки до 40 відсотків земель у світі вже деградували, і цей відсоток зростає (FAO, 2024). Традиційні системи землеустрою або руйнуються, або більше не підходять, а управління та технології, необхідні для їх заміни, не завжди доступні. Основною причиною такої ситуації є зростаючі вимоги до землі через безпрецедентні темпи зростання населення та наслідки, які це спричиняє.

Нова карта від руху «Збережемо ґрунт», який підтримується UNEP, UNCCD, UNFAO, WFP та IUCN, ілюструє приголомшливий відсоток глобальної деградації ґрунтів, прогнозований до 2050 року. Деградований ґрунт, що здебільшого є результатом інтенсивного землеробства, має низький вміст «органічної речовини», що означає, що він не утримує воду настільки ефективно, що робить нас уразливими до кліматичних потрясінь, таких як посухи, лісові пожежі та нестача води.

Карти, створені Save Soil з використанням даних Конвенції ООН про боротьбу з опустелюванням (UNCCD, карта 2019) і оцінки Глобального екологічного фонду (GEF, карта 2050), ілюструють, скільки родючої землі могло залишитися у 2050 році, якщо нинішні темпи деградації триватимуть (рис. 1.1, 1.2) [5]. Наступну продовольчу кризу посилить той факт, що до 2050 року населення світу зросте до 9,8 мільярда.

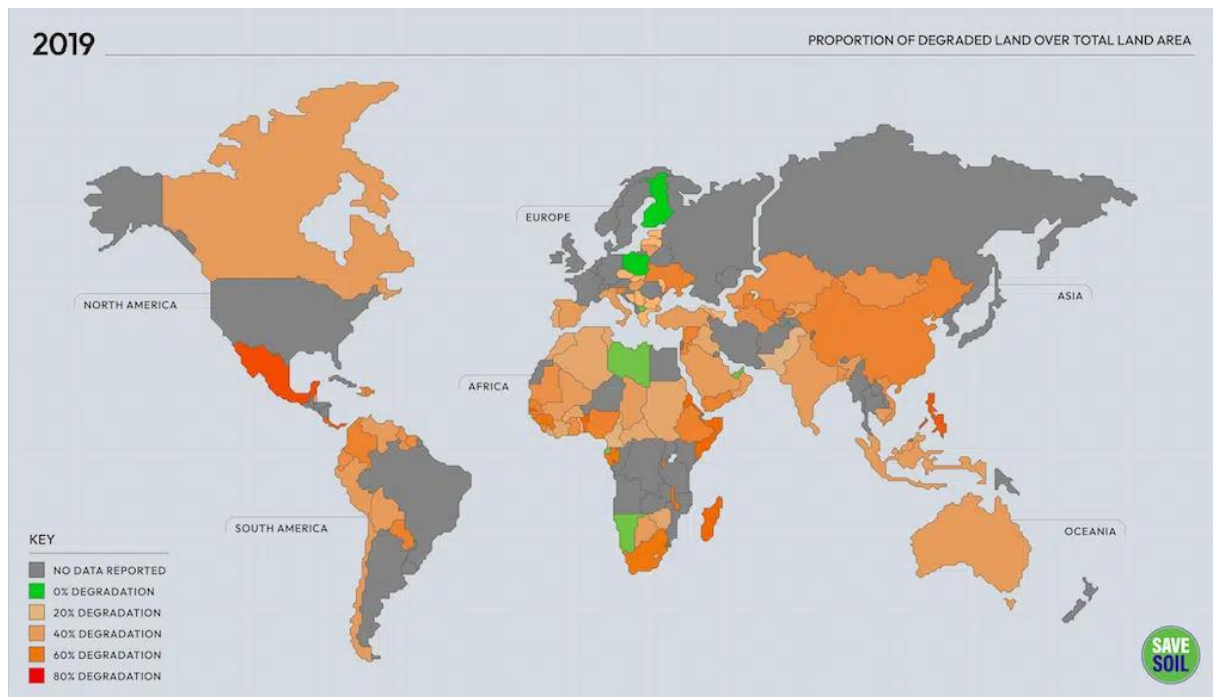


Рисунок 1.1 – Карта деградованих земель на загальну площу у 2019 році. Дані: UNCCD. Зображення: Save Soil.

Площа орних земель у всьому світі становить приблизно 14,2 млн км<sup>2</sup> або майже 10% площі суші Землі. У континентальному плані найбільше орних

земель розташовано в Азії (37,2 % орних площ світу), потім йдуть Африка (19,8 %), Північна та Центральна Америка (15,1 %), Європа (13,8 %), Південна Америка (10,5 %) та Австралія та Океанія (3,5%) (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Відсоток глобальної деградації ґрунту, прогнозований до 2050 року. Зображення: Save Soil.

Кожну секунду здоровий ґрунт, еквівалентний чотирьом футбольним полям, деградує і це становить 100 мільйонів гектарів щорічно. Для країн у всьому світі ця деградація спричиняє швидке зростання кліматичних потрясінь, таких як посухи, що загрожує сотням мільйонів життів та стає серйозною кризою для багатьох країн. Save Soil склав каталог методів сталого управління ґрунтами для 193 країн, які включають розвиток регенеративних сільськогосподарських практик, щоб утримувати органічну речовину ґрунту на рівні 3-6% (залежно від регіональних умов), зменшуючи деградацію та посухи.

Щоб подолати цю серйозну екологічну загрозу, дуже важливо глобально реалізувати Цілі сталого розвитку (завдання 15.3 щодо нейтральності деградації земель (LDN)), яка є ініціативою Конвенції ООН про боротьбу з

опустелюванням (UNCCD). Завдання 15.3 включає у себе як підтримку стабільності продуктивних земель, так і питання продовольчої безпеки (ЦСР 2) та зміни клімату (ЦСР 13) (ПРООН, 2017).

Деградація земель є глобальною екологічною проблемою, яка впливає на світові орні землі у великих масштабах, таким чином загрожуючи глобальним системам виробництва продуктів харчування. Виділяють п'ять процесів деградації (посушливість, зниження рослинності, ерозія ґрунту, засолення ґрунту та зменшення вмісту органічного вуглецю в ґрунті), які мають значний вплив на продуктивність землі [6].

Проблема земельних ресурсів має фізичні, соціальні та політичні причини. На національному рівні короткострокові політичні здобутки часто досягаються за рахунок довгострокової шкоди навколишньому середовищу. Головне завдання сьогодення – усунути тиск на землю таким чином, щоб не спричинити подальшого погіршення земельних ресурсів. Першочерговим завданням є вихід із низхідної спіралі, коли фермери з обмеженими ресурсами змушені через нестачу земельних ресурсів погіршувати ці обмежені ресурси ще більше через неадекватне землеробство, щоб задовольнити негайні потреби існування. Цей сценарій показано на рис. 1.3.

З огляду на те, що управління земельними ресурсами має виробничий та природоохоронний компоненти, очевидним завданням є забезпечення сталого зростання темпів виробництва. Можливо, менш очевидним, але не менш важливим аспектом управління земельними ресурсами є здатність землекористувачів та інших осіб, які приймають рішення, приймати обґрунтовані рішення щодо земельних ресурсів.

Як показано на малюнку 1.3, ключем до розриву нинішньої низхідної спіралі є підвищення здатності землекористувачів приймати обґрунтовані рішення. Одним із аспектів цього є покращення доступу до інформації та технологій та підвищення спроможності їх використання. У певному сенсі це механізм, який використовується разом із зеленою революцією, яка була надзвичайно успішною (особливо в азіатських країнах) у покращенні

врожайності та навіть створенні надлишків. Однак технології «зеленої революції» не виявилися стійкими ні щодо виробництва врожаю, ні щодо збереження природних ресурсів.

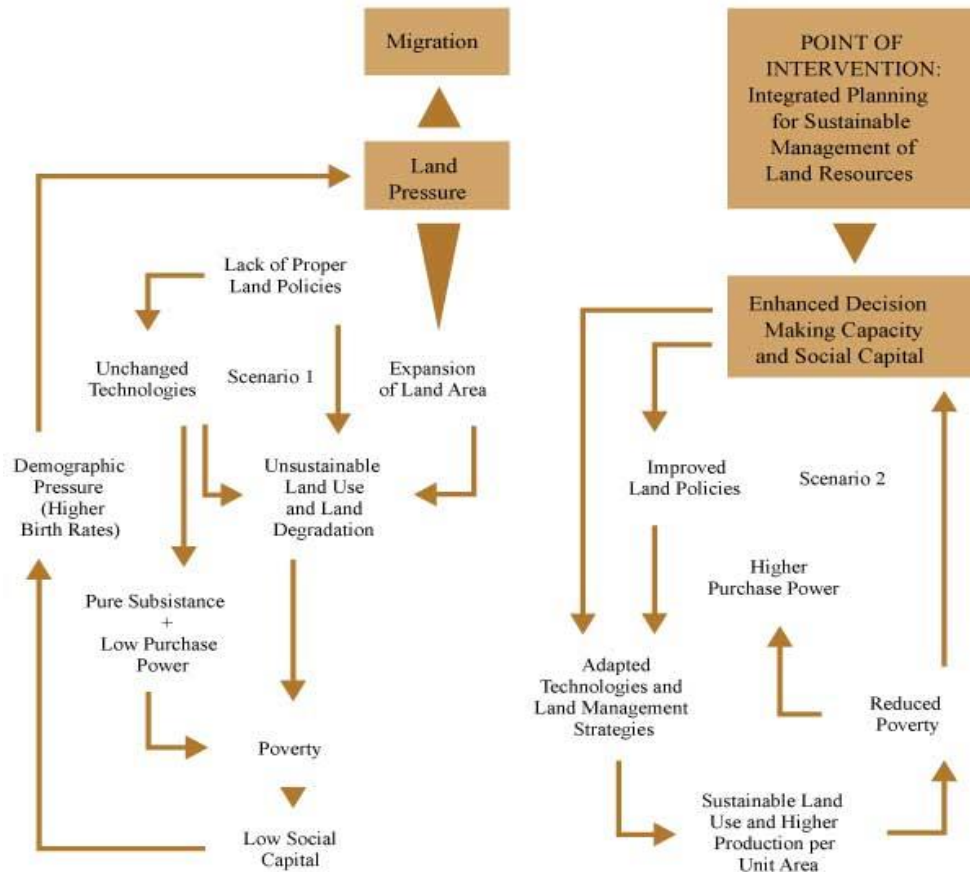


Рисунок 1.3 - Спіраль: земельні ресурси та діяльність людей [7].

Таким чином, створення політики землекористування, яка дозволяє приймати обґрунтовані рішення щодо земельних ресурсів, є критичним фактором, тому що політика, яка сприятиме, повинна базуватися на участі зацікавлених сторін або землекористувачів. Немає універсального технологічного вирішення проблеми задоволення потреб людини при одночасному захисті земної біосфери. Значні відмінності земельних ресурсів і соціально-економічних умов вимагають інтегрованого підходу до планування, та вирішення конкретних питань і пропозиції щодо захисту та збереження земельних ресурсів.

## 1.2 Аналіз сучасного стану використання та забруднення земельних ресурсів в Україні

Планування використання та охорони земель в Україні є найважливішою функцією державного управління у галузі земельних відносин, що визначає перспективи раціонального землекористування і являє собою діяльність уповноважених органів державної влади та місцевого самоврядування, яка полягає у створенні та впровадженні перспективних програм (схем) використання й охорони земельних ресурсів з урахуванням екологічних, економічних, історичних, географічних, демографічних та інших особливостей конкретних територій, а також у прийнятті на їх основі відповідних рішень.

Землі України за основним цільовим призначенням поділяються на такі категорії ст.19 Земельний кодекс України:

- землі сільськогосподарського призначення;
- землі житлової та громадської забудови;
- землі природно-заповідного та іншого природоохоронного призначення;
- землі оздоровчого призначення;
- землі рекреаційного призначення;
- землі історико-культурного призначення;
- землі лісгосподарського призначення;
- землі водного фонду;
- землі промисловості, транспорту, електронних комунікацій, енергетики, оборони та іншого призначення.

Україна є великою аграрною державою – з 58 млн. га суші 71 % використовується тим чи іншим видом господарської діяльності, із загальної їх кількості 40% відносяться до забруднених і 30 % до дуже забруднених земель, розораність їх становить 57,5 %, а частка ріллі сільськогосподарських

угідь досягає близько 80%, що є найбільш високою не тільки в Європі (рис. 1.4) [8].

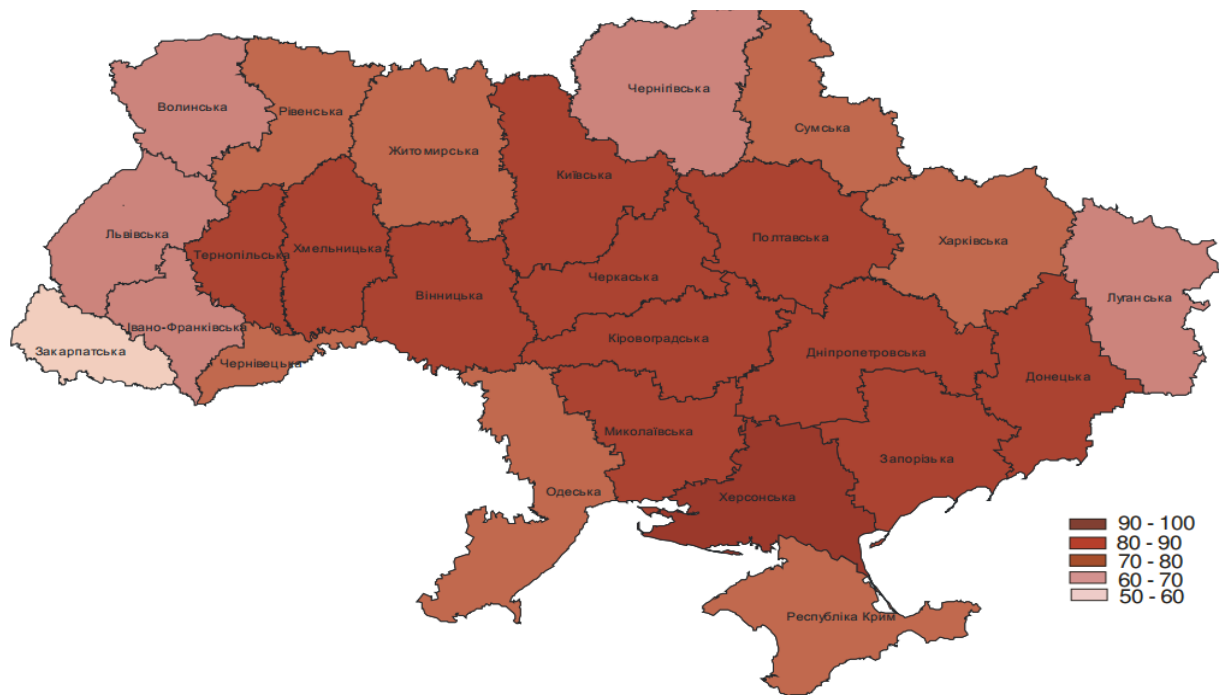


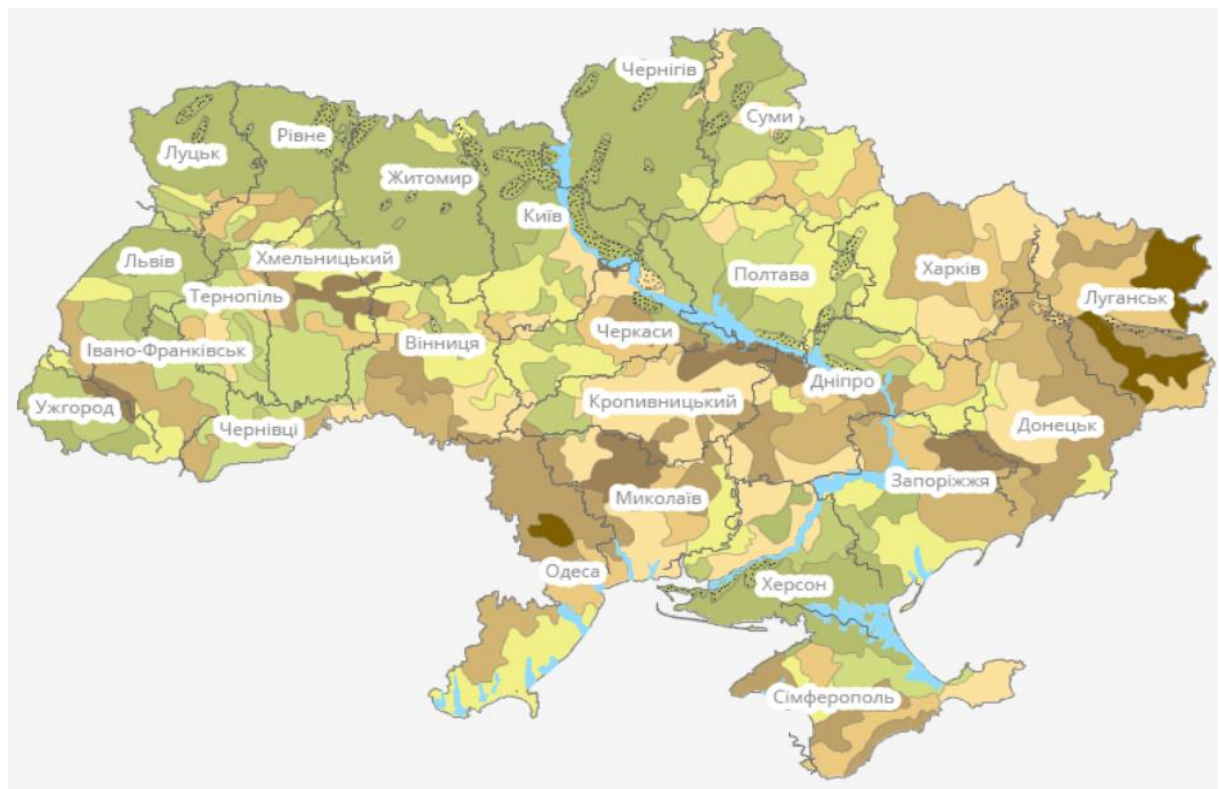
Рисунок 1.4 – Ступінь розораності сільськогосподарських угідь по областях України, %

Внаслідок цього деградація накрила майже всю площу природних угідь і земель в обробітку. Площа під луками майже втричі є меншою порівняно з середньоєвропейськими показниками, лісистість становить 14,3 %, тоді як півтора століття тому назад вона була удвічі більшою, на дні водосховищ тільки дніпровського каскаду поховано більше 700 тис. га земель басейну Дніпра, площа підтоплених земель сягає 1 млн. га, а затоплених 260 тис. га [9].

Деградаційні процеси інтенсивно зачепили земельний фонд України. В середині 90-х років XX століття площа еродованих земель становила 10,6 млн. га і вона щороку збільшується на 100-120 тис. га як розплата за безсистемне землекористування [10]. Надзвичайного поширення набули такі деградаційні процеси, як ерозія (її впливу зазнають 57,5 % земель країни), забруднення земель (близько 20 % території країни), підкислення ґрунтів (кислі ґрунти розповсюджені на 17,7 % території країни), засолення та осолонцювання

ґрунтів (землі із засоленими ґрунтами складають 2,8 %, солонцюватими ґрунтами – 3,7 % території країни), підтоплення земель (близько 12 % території України займають площі природного та техногенного підтоплення), зсуви (поширені на 0,3 % площі території країни), карстоутворення (карстом уражено близько 37,6 % території країни), порушення земель (0,3 % території країни) [11].

Невиправні збитки екологічного характеру наносяться за рахунок підтоплення. В Україні майже 16 млн га земель еродовані й ерозія продовжує поширюватися на кожний п'ятий гектар з тих, які поки що не зазнали її. Втрати гумусу на цих землях уже досягли 30-70%. На рисунку 1.5 представлена інтерактивна карта еродованості ґрунтів України [12].



#### Ступінь еродованості ґрунтів

до 1%	1 - 10%	11 - 20%	21 - 30%	31 - 40%
41 - 50%	51 - 60%	61 - 70%	71 - 80%	більше 80%

Рисунок 1.5 – Інтерактивна карта еродованості ґрунтів України [12]

На карті типи еродованих територій встановлені по відношенню загальної площі еродованих ґрунтів групи господарств, що мають однакову ступінь еродованості, до всієї площі господарств цієї групи. Як видно з рисунку 1, найвищий ступінь еродованості ґрунтів (більше 60-80%) має переважна територія таких областей як Луганська, Донецька, Харківська, Дніпропетровська, Кіровоградська, Одеська області. У Луганській, Донецькій та Одеській областях спостерігаються ділянки з показниками еродованості ґрунтів більше ніж 80%. Стосовно Запорізької області треба відмітити, що приблизно 50% території має високий ступінь еродованості.

На теперішній час вітровою ерозією охоплено більш ніж 90% площі сільськогосподарських угідь – в роки з пиловими бурями практично вся територія області піддається дії вітрової ерозії.

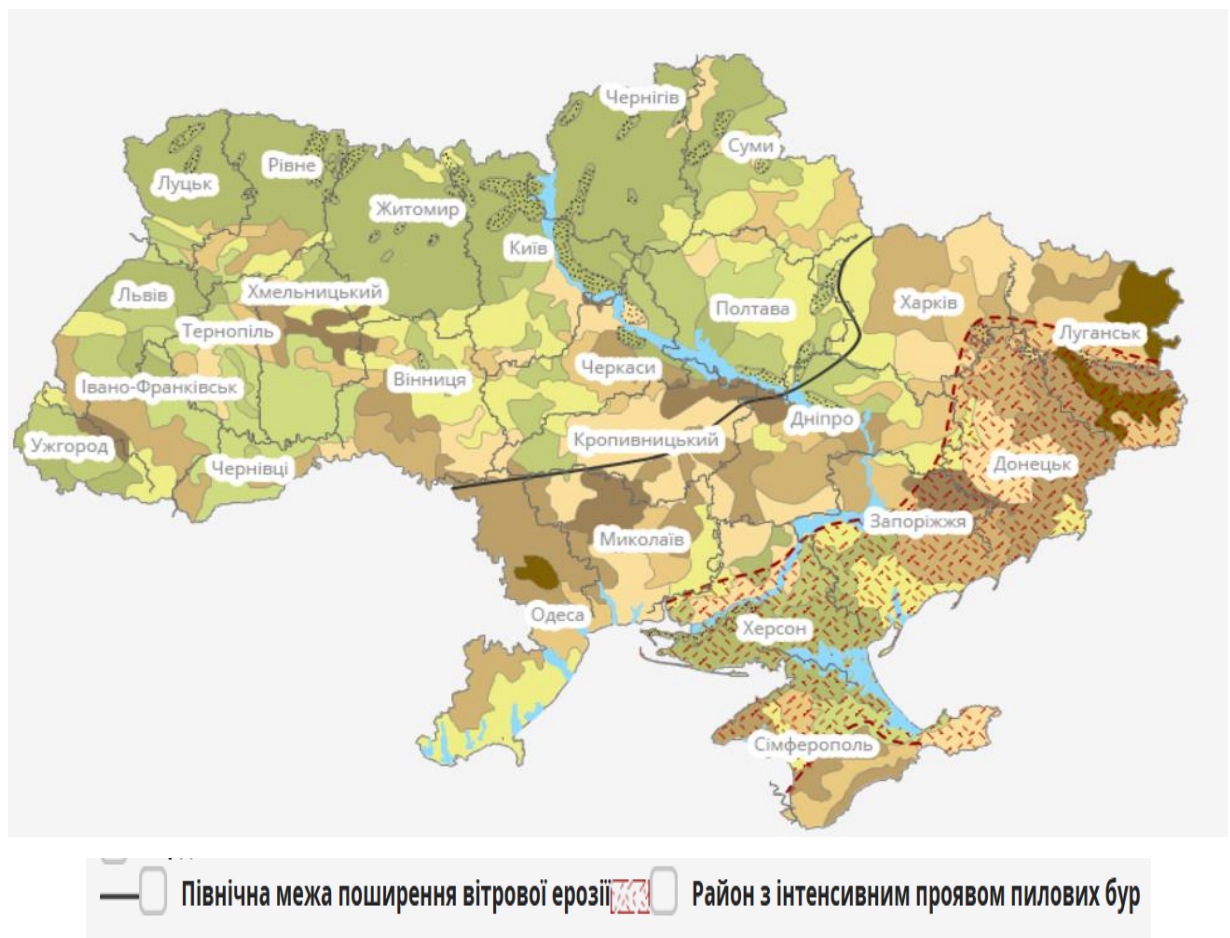


Рисунок 1.6 – Інтерактивна карта еродованості ґрунтів України з урахуванням проявів пилових бур [12]

Причинами зниження стійкості ґрунтів до вітрової ерозії є руйнування структури ґрунтів і їх дегуміфікація, недостатня кількість внесених органічних добрив, застосування високих доз мінеральних добрив, а також інтенсивний обробіток ґрунту. Раніше пилові бурі були характерними для Півдня і Сходу України, проте нині вони підбираються вже й північніше. Як видно з рисунку 2, до районів з інтенсивним проявом пилових бур відносяться Луганська, Донецька, Запорізька та Херсонська області (рис. 1.6).

Саме високий ступінь розораності земель у цих областях є однією з основних причин появи пилових бур. Зупинити негативний процес можна лише шляхом зберігання рослинного шару, припинення вирубки лісів та створення нових насаджень. Це може вберегти землю від пересихання, збереже в ній вологу та не дасть перетворитися на безплідну пустелю.

### **1.3 Адаптивні системи землеробства в Україні**

Тривале сільськогосподарське використання земель часто призводить до різного роду деградації, що повною мірою відноситься до потенційно найбільш продуктивних ґрунтів України - чорноземів. Для них характерний прогресуючий розвиток ерозійні процеси, дегуміфікація, підкислення. Тому раціональне використання орних земель є одним із ключових завдань сучасного сільського господарства.

Адаптивні методи ведення сільського господарства відіграють важливу роль у стійких системах виробництва продуктів харчування, максимізуючи виробництво їжі та мінімізуючи негативний вплив на населення, яке швидко зростає. На жаль, глобальна система сільськогосподарського виробництва знаходиться під загрозою через деградацію ґрунтів, тим часом незбалансоване використання агрохімікатів у сільському господарстві негативно впливає на ґрунт, сільське господарство та екологічну стійкість. Зміна клімату також

негативно впливає на продуктивність сільськогосподарських культур. Таким чином, інтеграція відповідних адаптивних практик землеробства в мінливих кліматичних сценаріях разом із розумним використанням втручання має першорядне значення для прогонування швидкозростаюче населення світу. Фермерам потрібно вміти справлятися з непередбаченими ситуаціями та адаптуватися до інноваційних розумних рішень для вирішення проблем [13].

Існує кілька стратегій, які зміцнюють адаптивну компетентність сільського господарства, сприяючи покращенню продовольчої безпеки та розвитку сільського господарства. Це, наприклад, управління природними ресурсами, управління важливими для сільського господарства мікроорганізмами та використання добрив для покращення росту рослин, а також моніторингу результатів. Інші стратегії включають інтеграцію та розумне управління сільськогосподарськими культурами та худобою, забезпечення гнучкої організації для збільшення варіантів диверсифікації діяльності фермерів, а також диверсифікацію для розподілу ризику та створення буферів [14].

Адаптивне землеробство – один із напрямків раціонального землекористування, який дотримується принципів диференційованого підходу до обробітку ґрунту, оптимального використання агрохімікатів та органічних добрив та своєчасного проведення агротехнічних операцій.

Дійсно, швидкі темпи змін і їх непередбачуваний напрямок вимагають від аграріїв підтримувати адаптацію своїх сільськогосподарських угідь, щоб мати можливість реагувати на нові виклики. Ключовим рішенням є підвищення адаптаційної здатності шляхом зміцнення здатності адекватно реагувати на зміни, а не реагувати на несприятливий вплив цих змін. Це вимагає постійного розвитку портфолію альтернативних видів діяльності та моделей використання ресурсів, які можна швидко впровадити, якщо це необхідно. Таким чином, адаптивне управління пов'язане зі встановленням безперервного процесу навчання, який налаштовується на нову інформацію шляхом

переформулювання гіпотез і моделей і розуміння виконання діяльності як експерименту [15].

Формування адаптивних систем землеробства включає такі етапи: 1) аналіз агроландшафтних, кліматичних та організаційно-економічних умов господарства; 2) визначення спеціалізації господарства; 3) розробка природоохоронної організації території землекористування (виділення сінокосів, пасовищ, ріллі, екологічних рекреацій, розподіл ріллі за агроекологічними групами для організації адаптованих до агроландшафту сівозмін); 4) обґрунтування структури посівних площ та організація системи сівозмін; 5) проектування системи добрив, хімічної меліорації та відтворення органічної речовини ґрунту; 6) розробка системи ґрунтозахисної ресурсозберігаючої обробки ґрунту; 7) обґрунтування та складання системи захисту рослин від шкідливих організмів; 8) визначення основних параметрів системи насінництва; 9) обґрунтування екологічно безпечних технологій виробництва продукції рослинництва; 10) упорядкування плану освоєння системи землеробства.

Адаптивні системи землекористування орієнтовані на максимальну біологізацію виробництва продукції рослинництва на основі формування специфічної видової та сортової структури посівів, освоєння адекватних сівозмін, застосування біологічних методів та засобів захисту рослин, раціональних прийомів агротехніки, що в сукупності, на відміну від традиційних технологій, запобігає забрудненню навколишнього середовища та руйнування родючості ґрунту, забезпечує підтримку в агроекосистемах процесів саморегуляції та економічної рівноваги.

Дослідження праць вітчизняних та зарубіжних вчених показують тісний зв'язок сталого розвитку економіки та адаптивних технологій ведення сільського господарства. Адаптивні технології сільськогосподарського виробництва за своєю суттю спрямовані на ресурсозбереження, стійкість та природоохоронність в той час як техногенний підхід передбачає широке

використання хімічних та мінеральних добрив та інших антропогенних факторів.

Агропромислове виробництво України законодавчо зорієнтоване на впровадження основних ланок ґрунтозахисної системи землеробства, що відображено і прийнято до впровадження в основних законодавчих та нормативних актах Верховної Ради України та Кабінету Міністрів України (Земельний кодекс України, Закон України «Про охорону земель», Закон України «Про екологічну мережу України», Закон України «Про землеустрій») [16–18]. Тому виникла необхідність у розробленні принципово нової доктрини раціонального природокористування, а саме адаптивної системи землеробства, що передбачає системне використання організаційно-економічних, агротехнічних, землевпорядних, гідротехнічних, лісомеліоративних ґрунтоводоохоронних заходів, що сприяють уповільненню деградаційних процесів.

Адаптивне землеробство передбачає розміщення, посів, захист та збирання сільськогосподарських культур у найбільш сприятливих для їх вирощування умовах. В агроландшафтних системах за урахування інтенсивності розвитку ерозійних процесів проводиться:

- 1) диференційний розподіл орних земель агроландшафту здійснюється шляхом організації території земельних масивів. На кресленні землекористування з горизонталями та межами агровиробничих груп ґрунтів залежно від крутизни схилів, ґрунтового покриву, еродованості ґрунтів та умов зволоження, рілля розподіляється на еколого-технологічні типи;
- 2) визначається система заходів з адаптивної організації території землекористування виробників товарної сільськогосподарської продукції;
- 3) запроваджуються культуртехнічні меліоративні заходи на еродованих землях (залуження);
- 4) проєктується агролісотехнічна меліорація земель на схилах;

- 5) за необхідності передбачається гідротехнічна меліорація на еродованих землях;
- 6) за наявності засолених, солонцюватих і кислих ґрунтів передбачається хімічна меліорація земель (гіпсування, вапнування та фосфоритування ґрунтів);
- 7) розраховується оптимальна структура посівних площ;
- 8) складаються схеми чергування культур у сівозміні;
- 9) розробляються обов'язкові ґрунтозахисні адаптивні технології вирощування сільськогосподарських культур;
- 10) розраховується потреба та внесення мінеральних добрив під запланований урожай сільськогосподарських культур;
- 11) визначаються способи і засоби досягнення позитивного балансу гумусу в ґрунті;
- 12) передбачаються заходи щодо боротьби з бур'янами, хворобами та шкідниками сільськогосподарських культур [19].

Україна входить до топ-25 країн світу з найбільшою площею органічних угідь та має великий потенціал для розширення цих позицій. Згідно з національною стратегією, до 2030 року площі родючих ґрунтів мають становити не менше 3% від загальної площі земель сільськогосподарського призначення. Незважаючи на традиційні культури, що займають понад 90% сільськогосподарських площ, нішеві культури, такі як овес, просо, жито тощо, можуть стати перспективними за рахунок балансування сівозміни та високої маржинальності. Впровадження цих трендів відкриває українському агробізнесу шлях до більш стійкого, ефективного та конкурентоспроможного сільськогосподарства в майбутньому. А це дає змогу утримувати позиції вже на світовому агроринку.

## 2 ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНИХ УМОВ ТЕРИТОРІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Фізико-географічна характеристика

«Запорізька область розташована на південному сході України. Територія області – 27,2 тисяч квадратних кілометрів, що становить 4,5 відсотка від площі України. За розмірами область посідає 9 місце серед інших областей України. Загальну площу області можна порівняти з такими європейськими державами як Бельгія та Албанія. На північному заході та півночі Запорізька область межує з Дніпропетровською, на сході з Донецькою, на заході з Херсонською областями. На Півдні область омивається водами Азовського моря, берегова лінія якого складає близько 300 км. Протяжність сухопутного кордону області понад 700 кілометрів, річковий (річкою Дніпро) – понад 90 кілометрів» [20].

«Відповідно до схеми природно-сільськогосподарського районування Запорізька область розташована в межах трьох природно-сільськогосподарських зон — Степу, Степової посушливої та Сухостепової (таблиця 2.1). На території області природно-сільськогосподарські зони розміщуються із півночі на південь у вищезазначеному переліку».

Таблиця 2.1 – Ієрархія природно-сільськогосподарських таксонів Запорізької області

Зона	Провінція	Округ	Район
Степу	Степова Лівобережна	Донецько- Дніпровський	Куйбишевський Запорізький
Степова посушлива	Степова посушлива Лівобережна	Дніпровсько- Приазовський	Веселівський Приморський Михайлівський
Сухостепова	Сухостепова Присивайська	Присиваський	Мелітопольський

В цьому ж напрямку наростає ксероморфність клімату, змінюються структура ґрунтового покриву, а також ландшафтний устрій, що зумовлює й обов'язкову диференціацію ґрунтозахисних заходів [21].

На рисунку 2.1 приведена карта Запорізької області. «Відповідно до Постанови Верховної Ради України проект № 3650 «Про утворення та ліквідацію районів», у Запорізькій області замість 20 районів створено 5: Запорізький, Бердянський, Василівський, Мелітопольський та Пологівський з відповідними адміністративними центрами. Також відповідно до розпорядження Кабінету Міністрів України №713-р «Про визначення адміністративних центрів та затвердження територій територіальних громад Запорізької області» в області створено 67 територіальних громад».



Рисунок 2.1 – Об'єкти субрегіонального рівня Запорізької області [20]

«Щодо основних кліматичних показників треба відмітити, що середньорічна температура повітря в області коливається від 7,9 °С до 9,6 °С

(рис. 2.2). Тривалість безморозного періоду становить 175—185 днів. Основна маса вологи надходить на територію області з повітрям з Середземного моря і Атлантичного океану. Хід відносної вологості характеризується тим, що найбільш високі її значення спостерігаються в зимові місяці (86 %), потім із квітня її значення знижуються до мінімальних величин у червні (50 % і нижче). Кількість відносно вологих днів зменшуються з північного заходу і півночі області на південний схід і південь області».

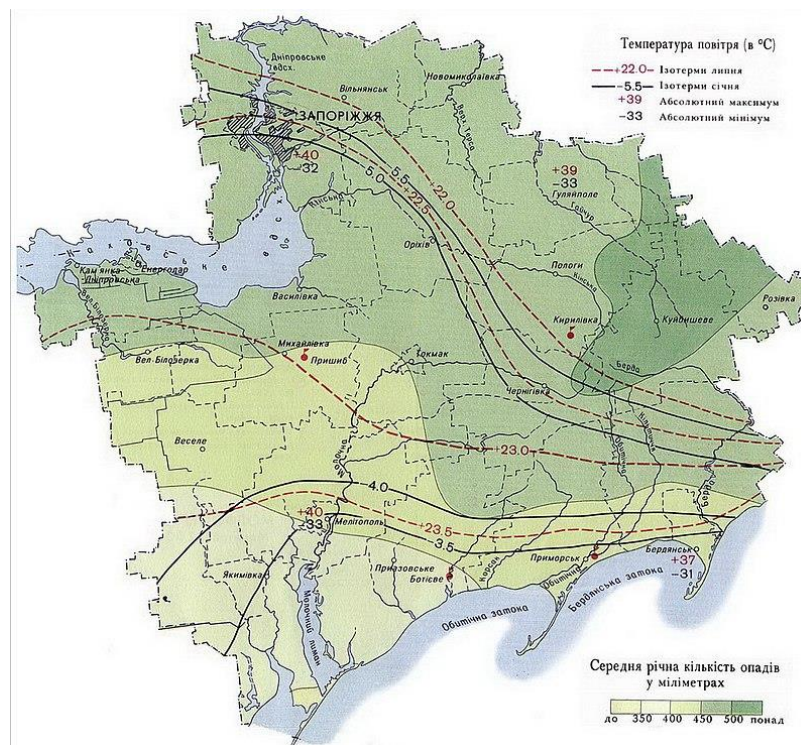


Рисунок 2.2 – Основні кліматичні показники Запорізької області [21]

«Для області характерний континентальний тип річного ходу атмосферних опадів з максимумом навесні й улітку та мінімумом узимку. Річні кількості опадів коливаються в широких межах: від 472 мм на півночі області до 349 мм на півдні. Основна кількість опадів (70—80 % річної суми) випадає протягом теплого періоду (з квітня до жовтня). Випаровуваність по території області перевищує величину опадів, коефіцієнт зволоження менше 1, у зв'язку із чим область відноситься до районів недостатнього зволоження.

Стосовно вітрового режиму, то на території області найбільшу повторюваність мають північно-східні і східні вітри. Для області характерні відносно високі швидкості вітру через майже позбавленої лісової рослинності рівнинної території. Останні 60 років в області кожні 3—4 роки відбуваються посухи, які часто супроводжуються суховіями. З березня по жовтень сильні вітри зумовлюють пилові (чорні) бурі, що також виникають при посушливій погоді, коли швидкості вітру збільшуються (більше 25 м/с), і переносять висушені пилюваті і піщані частки ґрунту».

## **2.2 Характеристика ґрунтово-рослинного покриву**

«Запорізькій області притаманний рівнинний ландшафт. Ґрунти переважно чорноземні. Вивчення рельєфу Запорізької області має особливо важливе значення через проблему меліорації степу та його інтенсивніше використання. У Запорізькій області поширені наступні основні типи ґрунтів: чорноземи, каштанові, солоді, солонці, солончаки, дернові, лучні та болотні (рис. 2.3).

Переважаючим типом ґрунтів на території області є чорнозем. Його утворення обумовлене багатою степовою рослинністю в минулому. З трьох підтипів чорноземів в області розповсюджені звичайні і південні чорноземи. Вміст гумусу коливається звичайно від 4 до 6 %. Вони насичені основами, багаті калієм, мають нейтральну реакцію ґрунтового розчину, високу природну родючість. Лучно-чорноземні подібні до чорноземів, але відрізняються від них близьким до поверхні заляганням ґрунтових вод та оглеєнням підгумусового горизонту і верхньої частини ґрунтоутворюючої породи з глибини 120—150 см. Вони мають значну кількість гумусу (до 5 %) і нейтральну реакцію ґрунтового розчину, завдяки цьому вони мають високу родючість».

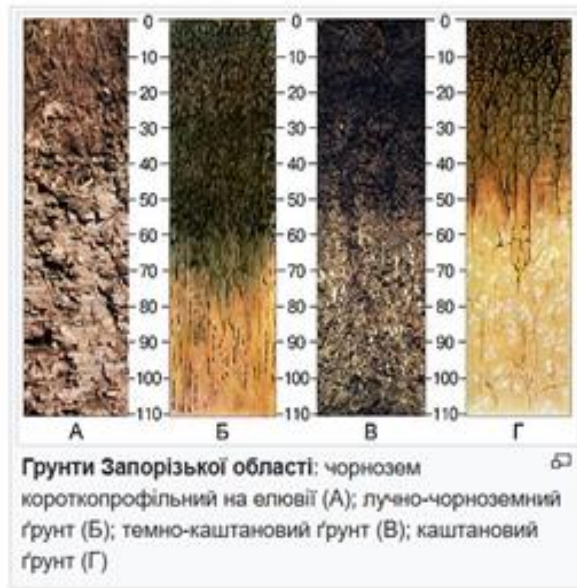


Рисунок 2.3 – Ґрунти Запорізької області [21]

«Темно-каштанові ґрунти мають явні ознаки різної солонцюватості. На глибині 1,7 м від поверхні з'являється гіпс. Гумусний горизонт (20—25 см) темно-сірий із каштановим відтінком. Кількість гумусу коливається від 2,5 до 3,5 %. Каштанові ґрунти також солонцюваті. Перегнійний горизонт порівняно з чорноземами менш потужний і має меншу кількість гумусу (3—5 %). Лучно-каштанові ґрунти поширені уздовж узбережжя Азовського моря і його лиманів. Вміст гумусу в них становить до 2,3 %. У районах розташування

каштанових ґрунтів поширені солоді, солончакові і солонцюваті ґрунти. Вони залягають невеликими плямами серед каштанових ґрунтів.

Досить значну площу в нашій області займають близькі до дерново-лучних ґрунтів піски, на яких поширені дерново-черноземні різного ступеня сформованості ґрунти. Крім лучних і болотних ґрунтів, поширені також дерново-глеєві ґрунти, які займають вузькі смуги між ними. Гумусовий горизонт складає 20—40 см, вміст гумусу 2,5—4 %, реакція ґрунтового розчину нейтральна. Болотні ґрунти утворилися в основному в умовах надмірного зволоження внаслідок високого рівня підземних вод. Характерною особливістю болотних ґрунтів є заторфованість і висока задернованість верхнього горизонту, яка виникає унаслідок неповного розкладання відмерлих залишків вищої водно-болотної рослинності. За механічним складом болотні ґрунти глинисті, оглеєні по всьому профілю, вміст гумусу складає до 4,5 % [22].

Для Запорізької області характерні верба біла, біла тополя, в'язи, дуби, ясені, осокорі. Штучні ліси сьогодні займають 108 000 га. У них ростуть: сосна звичайна і кримська, біла акація, берест, ялівець, береза, платан, гледичія, клени та ялини, а також екзоти, що прижилися в нашому кліматі: каркас (залізне дерево), лжелімон, ялиця, сибірська туя та інші види.

У зоні лісосмуг відновлюється різноманітність трав, знаходять притулок комахи, рептилії, птахи та звірі, мікроклімат тут м'якший. Для північно-східної частини краю характерні замкнутість травостою, достаток бобових і різнотрав'я, дернистих та кореневищних злаків, відсутність ефемерів.

Південний захід області – смуга типчаково-ковилових степів, що вигорають спекотним літом, з розрідженим травостоєм. Крайній південний захід – полиново-злаковий степ. Усі населені пункти Запоріжжя тішать багатством зелені».

Природно-кліматичні умови дозволяють вирощувати в області майже всі сільськогосподарські культури, отримуючи високі врожаї. Центральне місце в рослинництві в даний час і на перспективу займає зерновий

підкомплекс, як основа для розвитку інших видів сільгоспвиробництва, насамперед, збільшення обсягів виробництва продукції тваринництва. Основна технічна культура Запорізької області — соняшник. Частка регіону в загальному обсязі виробництва соняшнику в Україні складає 10-15 %. У всіх агрокліматичних зонах наявні сприятливі умови для вирощування овочів і баштанних культур. Це при тому, що поза антропогенним впливом залишилися хіба що 4% території області.

### 3 СУЧАСНИЙ СТАН ГРУНТОВО-РОСЛИННИЙ ПОКРИВУ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ

«Ґрунти є одним з основних джерел поживних речовин для живих організмів, а рослинний покрив – найважливіша проміжна ланка в кругообігу хімічних елементів. Рослини є біогеохімічним бар'єром, здатні накопичувати надлишкові маси елементів та виводити їх із міграційного потоку. Тому виявлення рівня вмісту хімічних елементів у рослинах – один із параметрів оцінки стану природного середовища» [23].

Вміст та особливості розподілу хімічних елементів у компонентах навколишнього середовища є важливими параметрами, які характеризують еколого-геохімічний стан територій. Вивчення особливостей хімічного складу рослин важливо при дослідженні процесів біологічного круговороту елементів мінерального живлення у природних екосистемах.

З метою здійснення державного контролю за зміною показників родючості та забруднення ґрунтів токсичними речовинами і радіонуклідами, проводиться агрохімічне обстеження ґрунтів. Результати агрохімічного обстеження використовуються при розробці рекомендацій щодо економічно-обґрунтованого внесення мінеральних добрив, ефективного застосування агрохімікатів, сидератів, рослинних решток, ґрунтозахисних та екологічнобезпечних технологій вирощування сільськогосподарських культур, тощо.

На підставі даних Екологічних паспортів Запорізької області у 2016-2023 рр., визначено сучасний еколого-агрохімічний стан сільськогосподарських земель області. Еколого-агрохімічна оцінка є зведеним показником агроекологічного стану ґрунтів. Орні землі у 2015 році по області склали 70% від всієї території. На жаль, з 2016 року інформація стосовно структури земельного фонду регіону, в тому числі відсоток рілля, відсутня з наступних причин: з 01.01.2016 наказом Державної служби статистики України від 19.08.2015 № 190 скасовано ведення форм державної статистичної

звітності. На сьогоднішній день по Україні функція з ведення форм адмінзвітності технічно не реалізована.

### 3.1 Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу

Вирішальне значення для родючості ґрунтів має вміст гумусу - важливий фактор буферності ґрунту і джерело елементів живлення. Збереження гумусу в ґрунті в оптимальному режимі є першочерговим завданням землеробства, оскільки його кількість і якість визначають багато позитивних властивостей ґрунтів і продуктивність культур, що вирощуються

Для порівняння динаміки вмісту гумусу у ґрунтах Запорізької області були обрані найбільш показові роки, а саме 2016, 2018, 2020 та 2023 рр. Розподіл площ ґрунтів за вмістом гумусу представлено на рисунку 10-14. Групування ґрунтів за вмістом гумусу здійснювалося за груповим складом (за І.В. Тюрніним) – це набір і кількісний вміст у ньому специфічних і неспецифічних сполук, а група – сукупність споріднених за будовою і властивостями речовин, передусім гумінові кислоти, фульвокислоти, гумін, неспецифічні сполуки (таблиця 3.1) .

Таблиця 3.1 – Групування ґрунтів за вмістом гумусу (за І.В. Тюрніним)

Група	Вміст гумусу	Показник, %
1	Дуже низький	< 1,1
2	Низький	1,1-2,0
3	Середній	2,1-3,0
4	Підвищений	3,1-4,0
5	Високий	4,1-5,0
6	Дуже високий	> 5,0

Як видно з рисунку 3.1, у 2016 році середньозважений уміст гумусу у ґрунтах Запорізької області становив 3,79 %. Ґрунти з підвищеним показником умісту гумусу у цьому році склали майже 44%. На другому по площі місці йдуть ґрунти з високим умістом гумусу – 33%. Ґрунти з дуже високим вмістом ґрунту займають лише 6,8%. Ґрунти з середнім вмістом гумусу, що відповідає діапазону 2,1-3,0%, займають майже 16%. Низький вміст гумусу відповідає діапазону 1,1-2,0% і у 2016 році відсоток земель з таким вмістом гумусу дорівнював 0,7%.



Рисунок 3.1 – Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу у 2016 р., %

На рисунку 3.2 представлена характеристика ґрунтів за вмістом гумусу у 2018 р. Середньозважений вміст гумусу у ґрунтах Запорізької області у цьому році становив 3,66 %, що на 0,13% менше ніж у 2016 році. Ґрунти з підвищеним показником умісту гумусу у цьому році склали 46%, тобто відбулося незначне збільшення на 2,4% у порівнянні з 2016 році. Чого не можна сказати про ґрунти з високим умістом гумусу – цей показник 2018 році знизився на 7,4% та склав 25,5% площі. Ґрунти з дуже високим вмістом ґрунту

займають 5,2%, що на 1,6% менше ніж у 2016 році. Ґрунти з високим вмістом гумусу знизились до показника 25,5%, тобто на 7,4%.

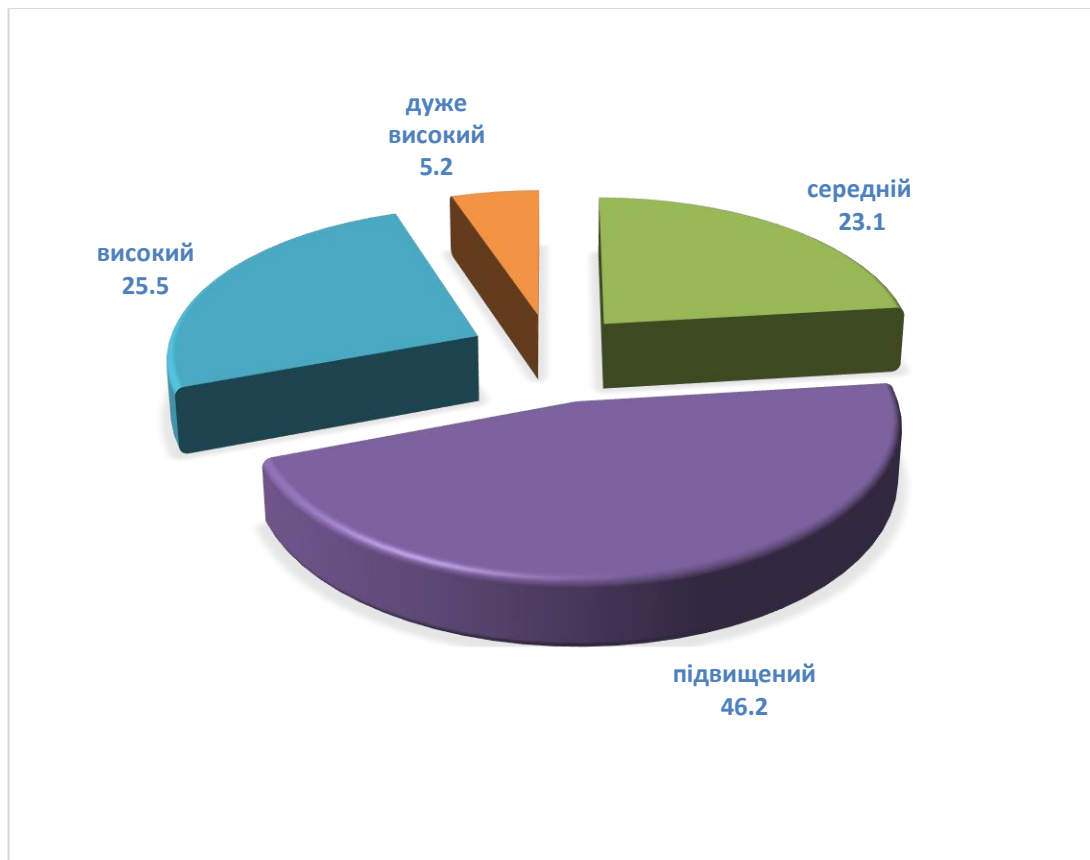


Рисунок 3.2 – Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу у 2018 р., %

Як видно з рисунку 3.3, у 2022 році стан ґрунтів Запорізької області за вмістом гумусу був на досить високому рівні. Хоч і ґрунти з підвищеним вмістом гумусу суттєво скоритися до 26%, але значно зросла площа ґрунтів з високим вмістом ґрунту - 74%. Також слід відмітити, що в цьому році взагалі відсутні ґрунти з середнім, низьким і дуже низьким вмістом гумусу. А середньозважений уміст гумусу у ґрунтах склав 4,27%. Середньозважений вміст гумусу у ґрунтах Запорізької області у цьому році становив 4,27 %, що на 0,61% більше ніж у 2018 році.

Як видно з рисунку 3.4, у 2023 році стан ґрунтів Запорізької області за вмістом гумусу погіршився в порівнянні з попередніми роками. Ґрунти з

підвищеним вмістом гумусу значно скоритися до 8% у порівнянні з показником у 2022 році – 74%.

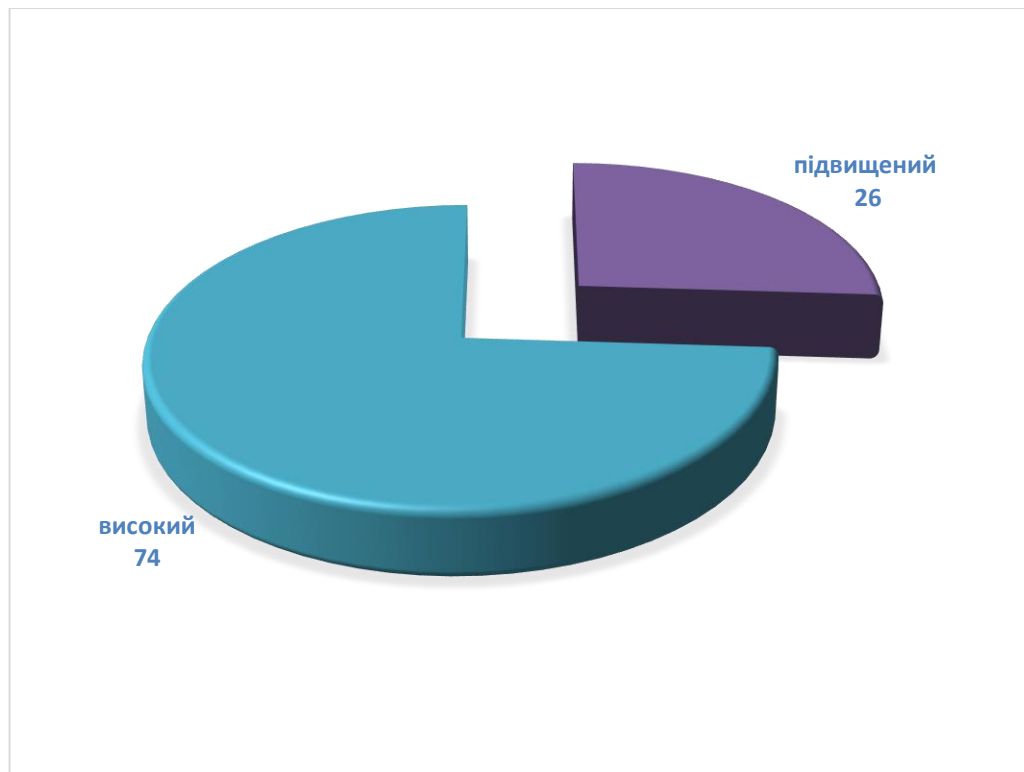


Рисунок 3.3 – Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу у 2022 р., %

Площа ґрунтів з підвищеним вмістом ґрунту також знизилась з 26% до 18,5%. Також слід відмітити, що в цьому році значно зросли ґрунти з середнім вмістом ґрунту, а саме зросли на 17,3% і цей показник дорівнював 40,4%. Відсоток ґрунтів з низьким і дуже низьким вмістом гумусу в цьому році дорівнював 28,1% і 1% відповідно. Середньозважений вміст гумусу у ґрунтах Запорізької області у цьому році становив 2,73 %, що на 0,61% більше ніж у 2022 році.

У ґрунті постійно відбуваються два протилежні, але взаємозалежні процеси: розкладання та синтез органічних речовин. Цей процес має бути в рівновазі, і саме від нього залежить баланс гумусу. Але сільськогосподарська діяльність розриває кругообіг речовин у ґрунті, найчастіше виснажуючи запаси гумусу.

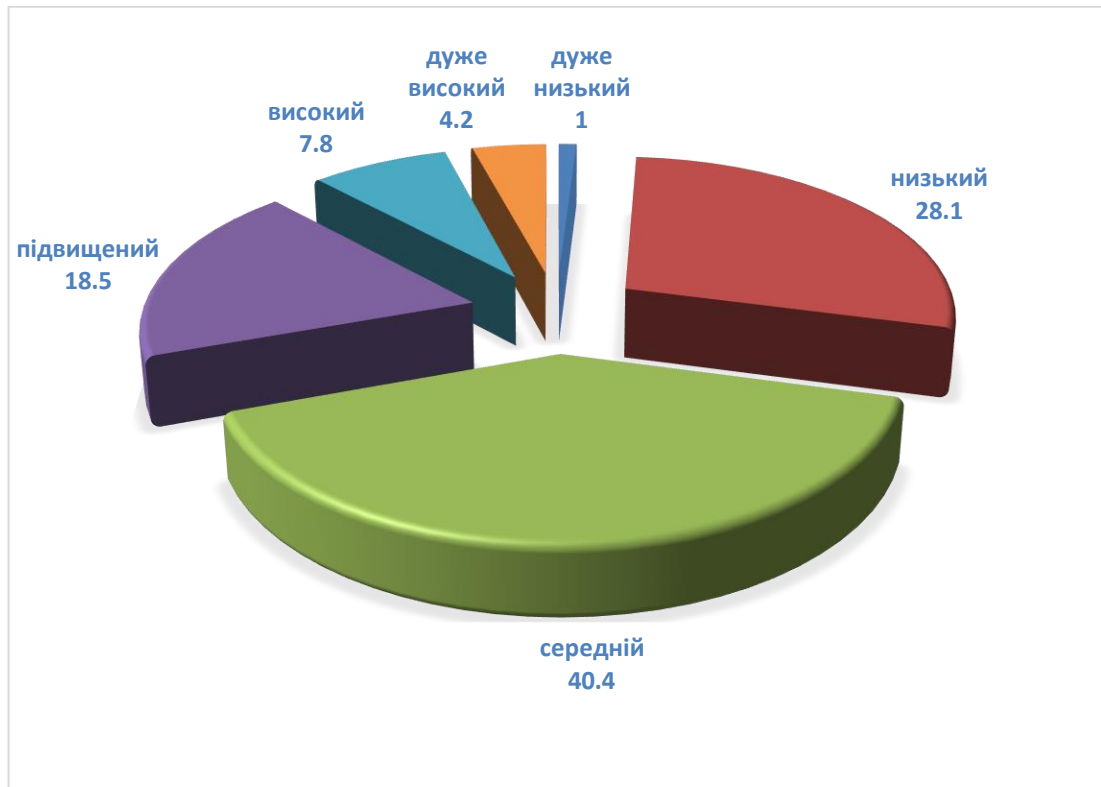


Рисунок 3.4 – Характеристика ґрунтів за вмістом гумусу у 2023 р., %

На рисунку 3.4 представлена динаміка вмісту гумусу в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр. З рисунку видно, що на території області домінують ґрунти з середнім та підвищеним вмістом гумусу. Також треба зазначити, що з 2016 року йде поступове скорочення площ за вмістом гумусу у ґрунтах Запорізької області. Так, площі з підвищеним вмістом гумусу зменшилися з 44% у 2016 році до 18,5% у 2023 році; площі з високим вмістом гумусу зменшилися з 33% до 8% відповідно. Площі з середнім вмістом гумусу залишаються стабільними з 2020 року на рівні близько 40%. Теж саме можна сказати і про площі з низьким вмістом гумусу (28%). Причини дегуміфікації ґрунтів носять як природний, так і антропогенний характер. Це втрати через водну і вітрову ерозію, зумовлені дуже високим ступенем розораності території [24].

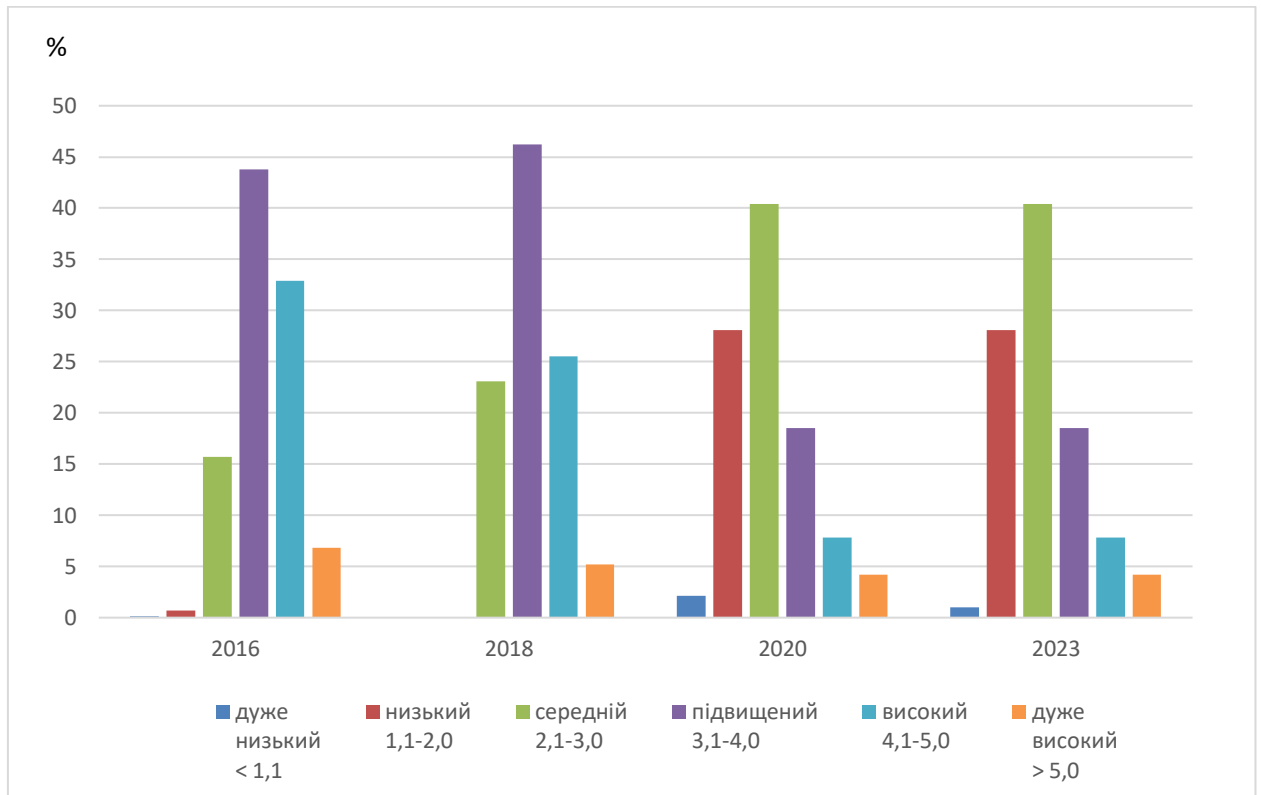


Рисунок 3.5 – Динаміка вмісту гумусу в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр., %

Щоб зменшити руйнівну дію ґрунтової обробки на гумусовий шар, потрібно по можливості скоротити її глибину та частоту, а також використовувати полегшену техніку. Утворення гумусу можливе лише за достатньої зволоженості, тому для його прискорення корисно проводити вологозберігаючі заходи.

Для швидкої компенсації втрат гумусу застосовують органічні добрива: гній у твердому та рідкому вигляді, перегній, компост, готовий біогумус. Наприклад, підприємці почали освоювати бізнес із виробництва гумусу дощовими хробаками. Це «біологічно активна маса», де вже пройшла переробка органічних залишків. Також для заповнення гумусу використовують оранку сидератів та поживних залишків. Внесення органічних добрив не менш важливе, ніж мінеральних: лише разом вони дають повноцінний набір поживних речовин для добрих урожаїв.

### 3.2 Характеристика ґрунтів за вмістом азоту

«Актуальна класифікація виділяє три форми азоту: мінеральний, легко- та лужногідролізований. Важливо, що кожна з перерахованих форм азоту повинна визначатися на конкретному етапі вегетації рослини. Мінеральний ґрунтовий характеризується нерухомістю у ґрунті; динамічність, що легко промивається вертикально, горизонтально в ґрунті; не промивається у ґрунтовому профілі. Лужногідролізований азот вказує на вміст елемента, потенційно доступного для рослин, а з метою оцінки забезпеченості рослин азотом, використовують поняття про легкогідролізовані сполуки азоту – мінеральні сполуки азоту, частина азоту найпростіших органічних речовин у складі амідів, амінокислот» [25].

Таблиця 3.2 – Групування ґрунтів за умістом азоту, що легко гідролізується (за Корнфілдом)

Група	Ступінь забезпеченості	Показник, мг/кг ґрунту
1	Дуже низька	< 100
2	Низька	101-150
3	Середня	151-200
4	Підвищена	> 200

На рисунку 3.6 представлена характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, у 2016 р. Середньозважений показник у цьому році становив 84,5 мг/кг ґрунту. Як видно з рисунку, у 2016 році відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом азоту, що легко гідролізується, становив 81%, а з низьким вмістом – 18,3%. Ґрунти з середнім та підвищеним вмістом азоту, що легко гідролізується, взагалі відсутні у цьому році.

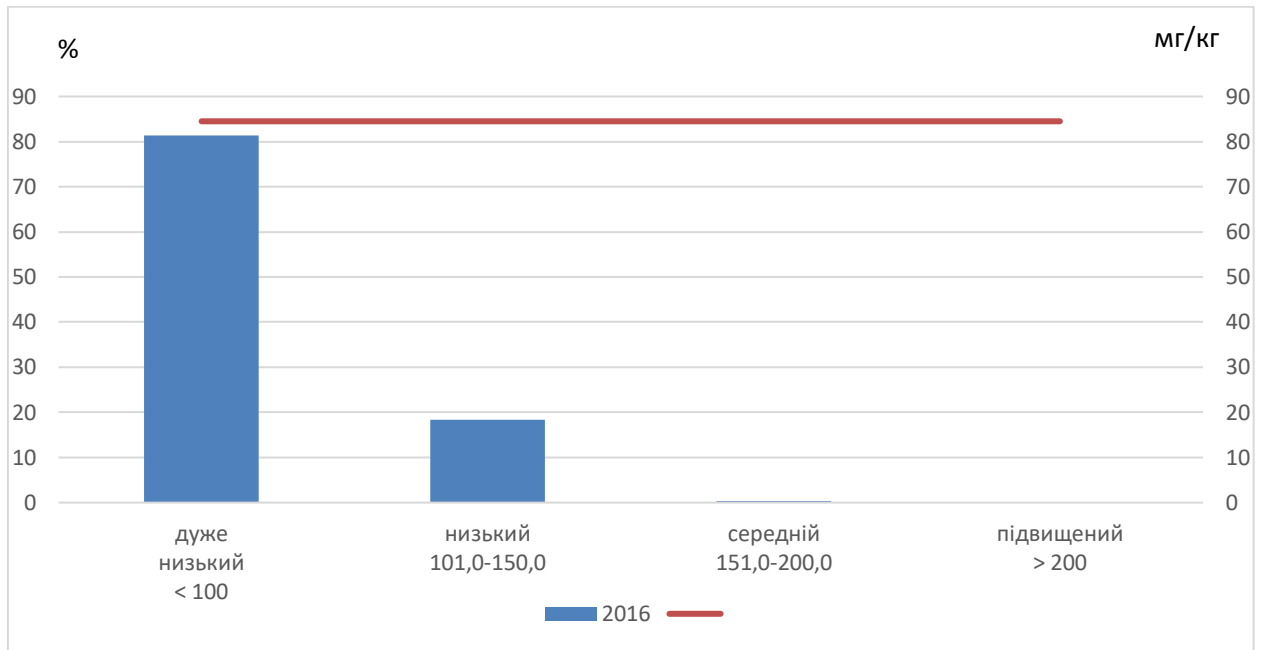


Рисунок 3.6 – Характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, у 2016 р., %

Вченими було встановлено, що нестача азоту знижує синтез білка, що веде до розщеплення власних білків рослини (стебла набувають фіолетового відтінку). Зрештою починається розщеплення хлорофілу (зеленої речовини листя), що призведе до в'янення та опадання листя.

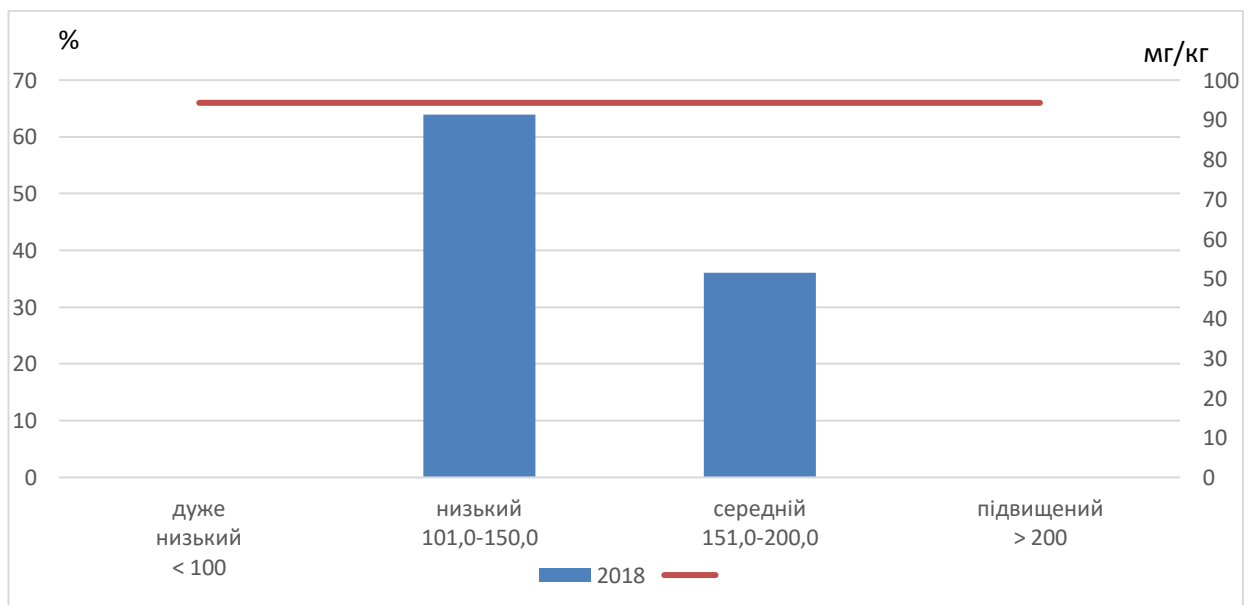


Рисунок 3.7 – Характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, у 2018 р., %

У 2018 році, характеристика якого представлена на рисунку 3.7, відсоток ґрунтів з низьким вмістом азоту, що легко гідролізується, становив 64% та з середнім вмістом – 36%. Ґрунти з дуже низьким та підвищеним вмістом азоту, що легко гідролізується, відсутні. Можна сказати, що в цьому році відбулося покращення стану ґрунтів за вмістом азоту у порівнянні з попереднім роком. Середньозважений показник у цьому році становив 94,3 мг/кг ґрунту.

На рисунку 3.8 представлена характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується у 2022 р. Середньозважений показник у цьому році становив 98 мг/кг ґрунту. Як видно з рисунку, у 2022 році відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом азоту, що легко гідролізується, становив 71%, а з низьким вмістом – 29%. Ґрунти з середнім та підвищеним вмістом азоту, що легко гідролізується знов як і в 2016 році не спостерігалися.

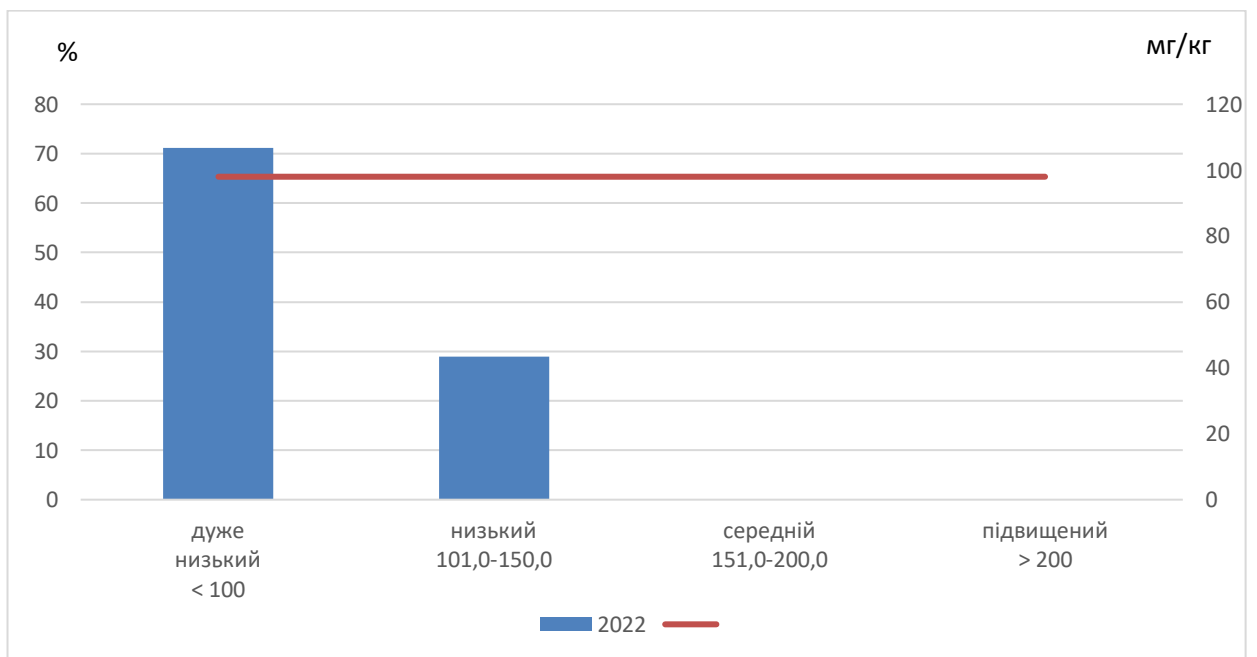


Рисунок 3.8 – Характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, у 2022 р., %

Причинами дефіциту вмісту азоту у ґрунті можуть бути: дефіцит вологи, що перешкоджає перенесенню азоту в рослини, вимивання азоту у формі

нітратів від коренів через інтенсивні дощі, а також висока конкуренція за елементи живлення з боку бур'янів.

Виникнення сучасної проблеми азоту у мінеральному живленні рослин у землеробстві різних країн світу можна пояснити трьома головними причинами. Ці причини насамперед пов'язані з наявністю трьох міцних ковалентних зв'язків між атомами в молекулі азоту, на розрив яких потрібно витратити велику кількість енергії, низьким вмістом у ґрунті мінеральних форм азоту та недостатнім використанням можливостей бобових культур у поповненні ґрунтових запасів біологічним азотом.

Як свідчать результати досліджень, найбільша частка втрат азоту відбувається за рахунок процесів денітрифікації та надходження різних газоподібних форм азотних сполук в атмосферу. В результаті збіднюються і так невеликі запаси мінерального азоту у ґрунті.

У 2023 році відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом азоту, що легко гідролізується, становив 47,5%, з низьким вмістом – 41% та з середнім вмістом – 10% (рис. 3.9).

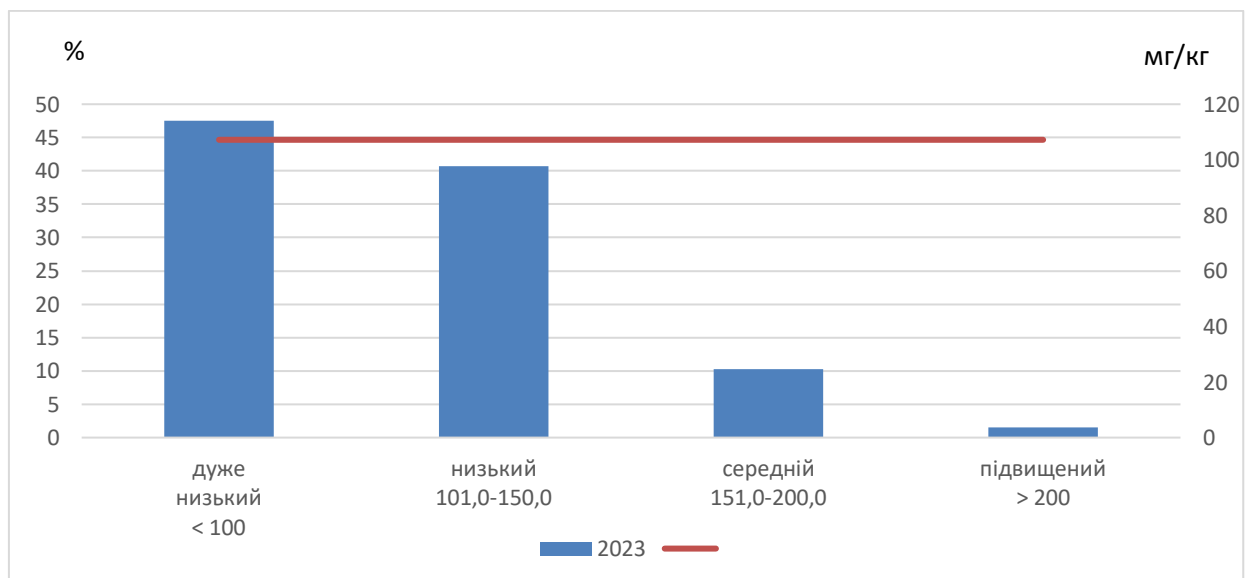


Рисунок 3.9 – Характеристика ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, у 2023 р., %

Також у 2023 році спостерігався невеликий відсоток ґрунтів з підвищеним вмістом азоту, що легко гідролізується, – 1,5%. Середньозважений показник у цьому році становив 107 мг/кг ґрунту.

На рисунку 3.10 представлена динаміка вмісту азоту, що легко гідролізується, в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр. З рисунку видно, що на території області домінують ґрунти з дуже низьким та низьким вмістом азоту.

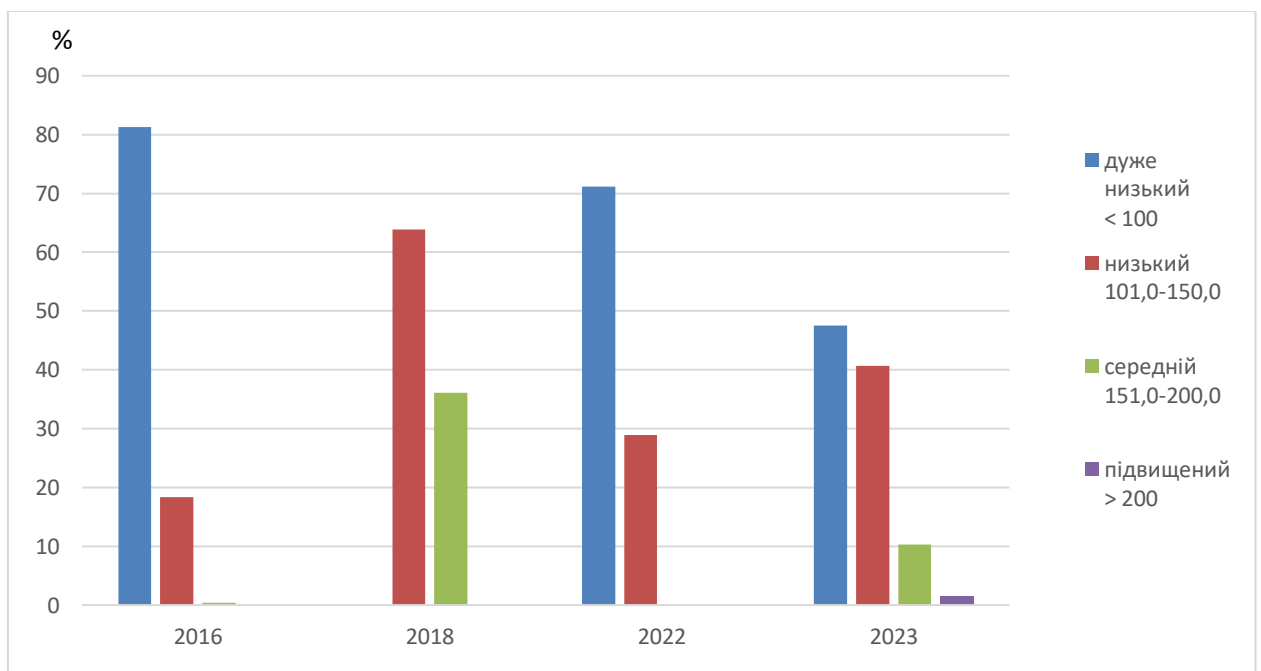


Рисунок 3.10 – Динаміка вмісту азоту, що легко гідролізується, в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр., %

Як видно з рисунку, відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом азоту знизився з 81,1% у 2016 році до 47,5% у 2023 році. Також відмічається і зменшення відсотку ґрунтів з середнім вмістом азоту на 25,8% – у 2018 році цей показник складав 36,1%, а у 2023 році – 10,3%. Найгірші показники ґрунтів за вмістом азоту спостерігалися у 2022 році.

Система живлення культур – важлива частина сільгоспвиробництва, тому її необхідно регулярно коригувати відповідно до вмісту у ґрунті найбільш важливої у конкретний період вегетації форми азоту. Показники

азотного голодування: забарвлення листя змінюється із зеленого на блідо-зелене, потім жовте і буре через слабке утворення хлорофілу; листя стає вузьким, дрібним, розташування – під гострим кутом до гілки або стебла; у злаків – ослаблене кушіння, в інших рослин – розгалуження; число плодів, насіння та зерен різко зменшується.

### **3.3 Характеристика ґрунтів за вмістом фосфору**

Фосфор міститься в мінеральних та органічних сполуках. Переважно, 90% цього елемента в рослинах складають органічні сполуки. У формі мінералів у рослинах фосфор знаходиться у вигляді солей ортофосфорної кислоти з амонієм, калієм, магнієм, кальцієм тощо. Фосфор у вигляді мінералу в рослині відповідає за синтез фосфоровмісних сполук, покращує буферність соку клітин та інші важливі процеси [26].

Оскільки фосфат нелегко переміщається у ґрунті, найчастіше причиною його повної втрати з ґрунту є вітрова чи водна ерозія. Таким чином, фосфор у ґрунті знаходиться переважно у зв'язаному стані, тому концентрація рухомих форм у ньому невелика. Основним способом доставки фосфору до кореневої системи є лише дифузія, швидкість якої визначається температурою ґрунту. При температурі ґрунту менше 14°C дифузія практично припиняється і, як наслідок, рослини страждатимуть недоліком фосфору навіть за високої забезпеченості ґрунту даним елементом.

Фосфор бере першорядну участь у процесах, які забезпечують ріст і розвиток рослин. Оптимальний вміст рухомого фосфору (160–180 мг/кг) є однією з ознак високої родючості і окультуреності ґрунту.

Фосфор прискорює дозрівання рослин, сприяє покращенню водного режиму рослин. Так само фосфор послаблює шкідливу дію рухомих форм алюмінію. На кислих ґрунтах, які негативно впливають на обмін речовин у рослин, затримується утворення білків. Зовнішні симптоми фосфорного

голодування рослин проявляються у синювато-зеленому забарвленні листя (свідчення – затримки синтезу білка та накопичення цукрів), нерідко з пурпуровим або бронзовим відтінком. Часто листя дрібніше і розвивається вужчим, краї їх загинаються до верху.

Добре фосфорне живлення не тільки підвищує врожай сільськогосподарських культур, а й його якість. У хлібів зерно стає більш багатим на крохмаль, на білки.

Таблиця 3.3 – Групування ґрунтів за умістом рухомих сполук фосфору (за Чириковим)

Група	Ступінь забезпеченості	Показник, мг/кг ґрунту
1	Дуже низька	< 20
2	Низька	21-50
3	Середня	51-100
4	Підвищена	101-150
5	Висока	151-200
6	Дуже висока	> 200

Розподіл площ ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору у 2016 році представлено на рисунку 3.11. У цьому році відсоток ґрунтів з дуже високим вмістом сполук фосфору становив 65,2%, з високим – 28,2% і з підвищеним – 6,3%. В цілому можна сказати, що у цьому році вміст рухомого фосфору в ґрунтах Запорізької області наближаються до оптимальних показників.

У 2018 році відсоток ґрунтів з дуже високим вмістом сполук фосфору відсутні (рис. 3.12). Середньозважений показник дорівнює 113,6 мг/кг. Відсоток ґрунтів з високим вмістом сполук фосфору становив лише 6%, що відповідає вмісту фосфору у ґрунті 151-200 мг/кг ґрунту.

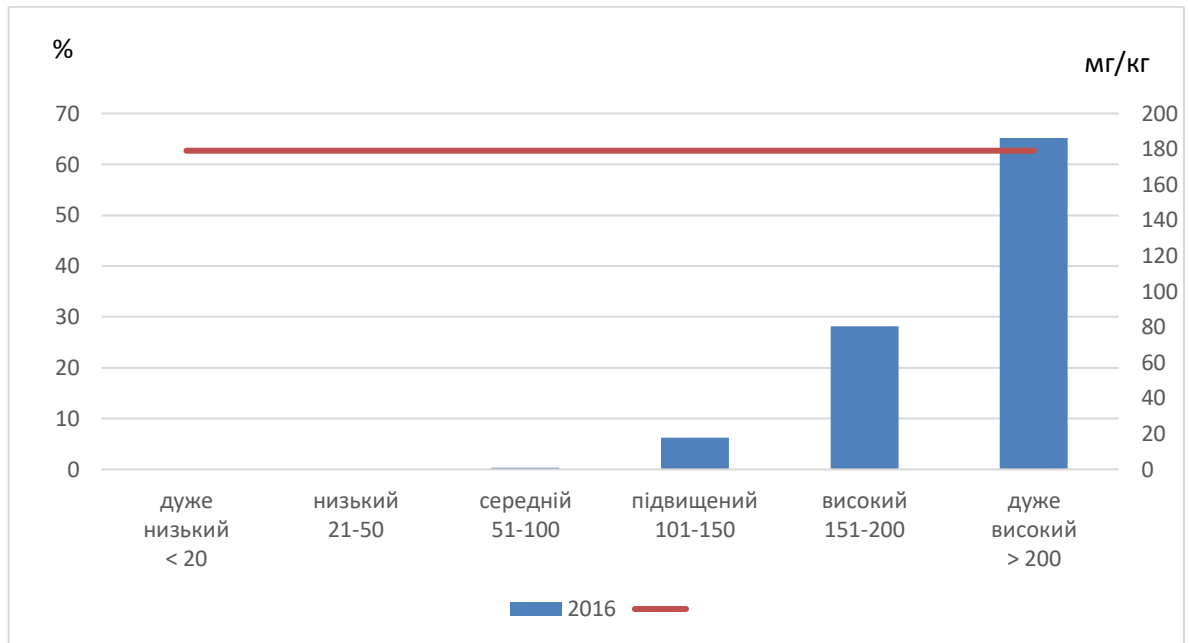


Рисунок 3.11 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору у 2016 р., %

Відсоток ґрунтів з підвищеним вмістом фосфору у 2018 році становив 64,%, що на 58,1% більше ніж у 2016 році. Разом з тим зріс відсоток ґрунтів з середнім вмістом фосфору з 1% до 29,6%. Відсоток ґрунтів з дуже низьким, низьким та дуже високим вмістом фосфору в ґрунті у 2018 році відсутній.

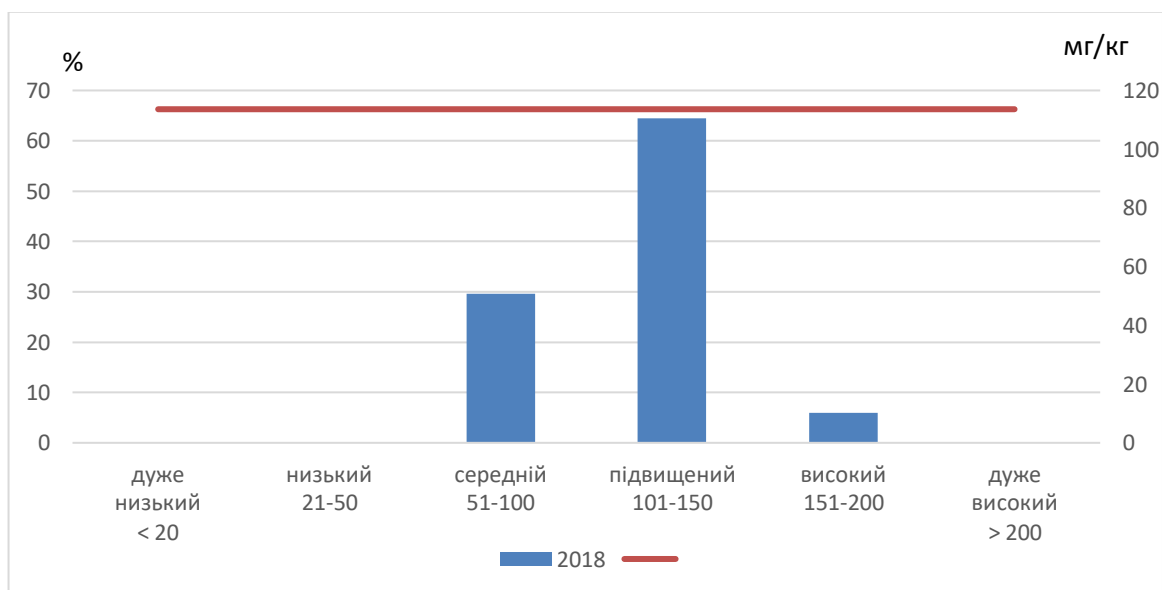


Рисунок 3.12 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору у 2018 р., %

На рисунку 3.13 представлена характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору у 2022 році. Середньозважений показник у цьому році становив 125%. Відсоток ґрунтів з підвищеним вмістом сполук фосфору становив 100%. Однією з причин високого рівню фосфору у ґрунті може послужити внесенню гною або досить масштабне внесення фосфорних добрив.



Рисунок 3.13 – Характеристика ґрунтів за вмістом за вмістом рухомих сполук фосфору у 2022 р., %

У 2023 році спостерігався рівномірний розподіл площ за ступеню забезпеченості ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору. Так, відсоток площ з дуже низьким, низьким та середнім вмістом сполук фосфору коливався у межах 20%. Відсоток ґрунтів з підвищеним, високим та дуже високим вмістом сполук фосфору коливався в межах 10%. Середньозважений показник у 2023 році становив 68,3%.

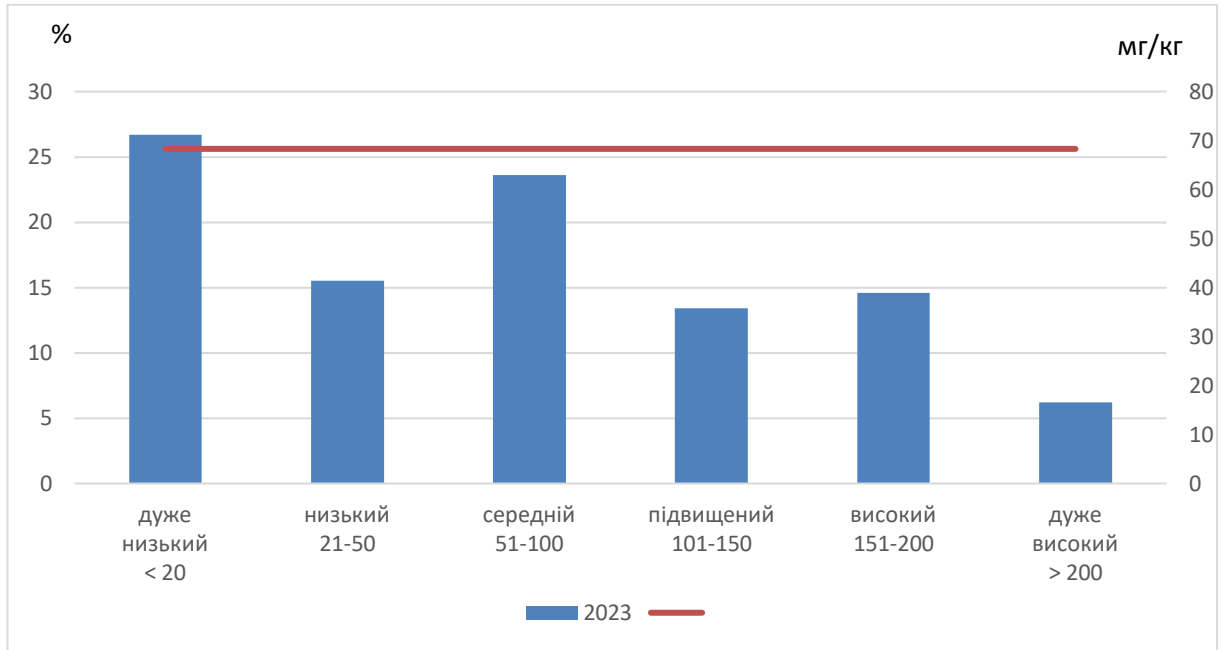


Рисунок 3.14 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук фосфору у 2023 р., %

На рис. 3.15 представлена динаміка зміни показника за вмістом рухомих сполук фосфору в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр., %.

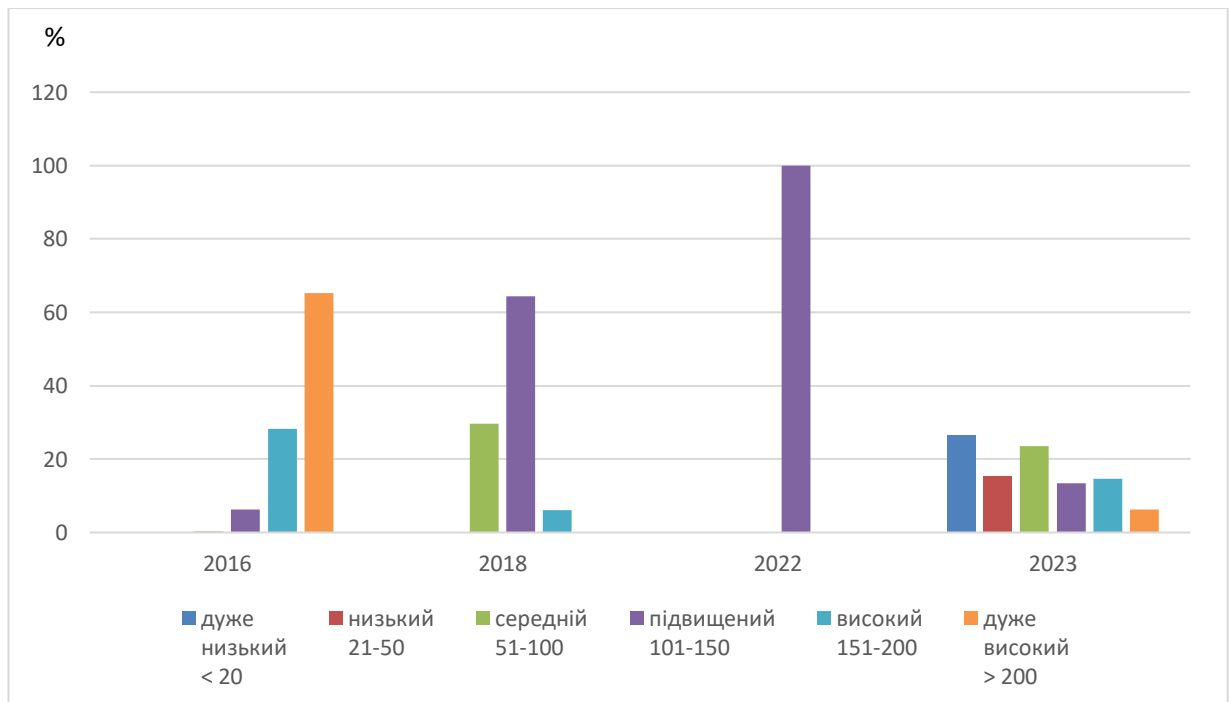


Рисунок 3.15 – Динаміка змін вмісту рухомих сполук фосфору в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр., %

З рисунку видно, що ступінь забезпеченості ґрунтів Запорізької області рухомими сполуками фосфору значно погіршився. Якщо у 2016 році переважали ґрунти з дуже високим та високим ступенем забезпеченості, тоді як у 2023 році вже спостерігалися ґрунти з дуже низьким, низьким та середнім ступенем забезпеченості.

Підтримка гарної родючості ґрунтів методом початкового внесення фосфору дозволяє забезпечити рослинам необхідну кількість цього елемента на ранніх стадіях вегетації, особливо на холодному ґрунті, і зберегти достатню його кількість для подальших вибагливих до цього елемента культур, що забезпечить отримання оптимальної

### **3.4 Характеристика ґрунтів за вмістом калію**

Калій, форма оксиду калію, життєво важлива для рослин протягом усього їх життєвого циклу. Оскільки він розчиняється у воді та допомагає в процесі розпаду ґрунтовим бактеріям, калій легко поглинається рослинами та допомагає їм цвісти та приносити плоди. Калій також допомагає рослинам краще використовувати інші поживні речовини та запобігати виснаженню азоту. Оптимальний уміст калію в ґрунті для різних культур коливається в межах 120–170 мг/кг.

На відміну від азоту та фосфору калій не входить до складу органічних сполук у рослинах, а знаходиться у клітинах рослин у іонній формі у вигляді розчинних солей у клітинному соку та частково у вигляді недовговічних комплексів з колоїдами цитоплазми. Калію значно більше у молодих життєздатних частинах та органах рослин, ніж у старих. Близько 80% калію знаходиться у клітинному соку і може легко вимиватися водою (дощами та при поливі). Молоді органи рослини містять калію в 3-5 разів більше, ніж старі: його більше в тих органах і тканинах, де інтенсивно йдуть процеси обміну речовин і поділу клітин. При нестачі калію в живильному середовищі

відбувається відтік його з найстаріших органів і тканин в молоді органи, що ростуть, де він піддається повторному використанню (реутилізації) [27].

Таблиця 3.4 – Групування ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію (за Чириковим)

Група	Ступінь забезпеченості	Показник, мг/кг ґрунту
1	Дуже низька	< 21
2	Низька	21-40
3	Середня	41-80
4	Підвищена	81-120
5	Висока	121-180
6	Дуже висока	> 180

Фізіологічні функції калію у рослинному організмі різноманітні. Він позитивно впливає на фізичний стан колоїдів цитоплазми, що має велике значення для нормального обміну речовин у клітинах, а також для підвищення стійкості рослин до посухи. При нестачі калію та посиленні транспірації рослини швидше втрачають тургор і в'януть. Калій позитивно впливає на інтенсивність фотосинтезу, окисних процесів та утворення органічних кислот у рослинах, бере участь у вуглеводному та азотному обміні.

На рисунку 3.16 представлена характеристика ґрунтів за вмістом калію у 2016 р. Середньозважений показник у цьому році становив 8,24 мг/кг ґрунту. Як видно з рисунку, у 2016 році відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом калію відсутній. Відсоток ґрунтів з низьким вмістом становив 8,6%, який відповідає вмісту азоту в ґрунті 21-40 мг/кг. Ґрунти з середнім ступенем забезпеченості азотом у 2016 р. становили 47,6%, з підвищеним – 38,1%, з високим – 4,7% та з дуже високим – 1%.

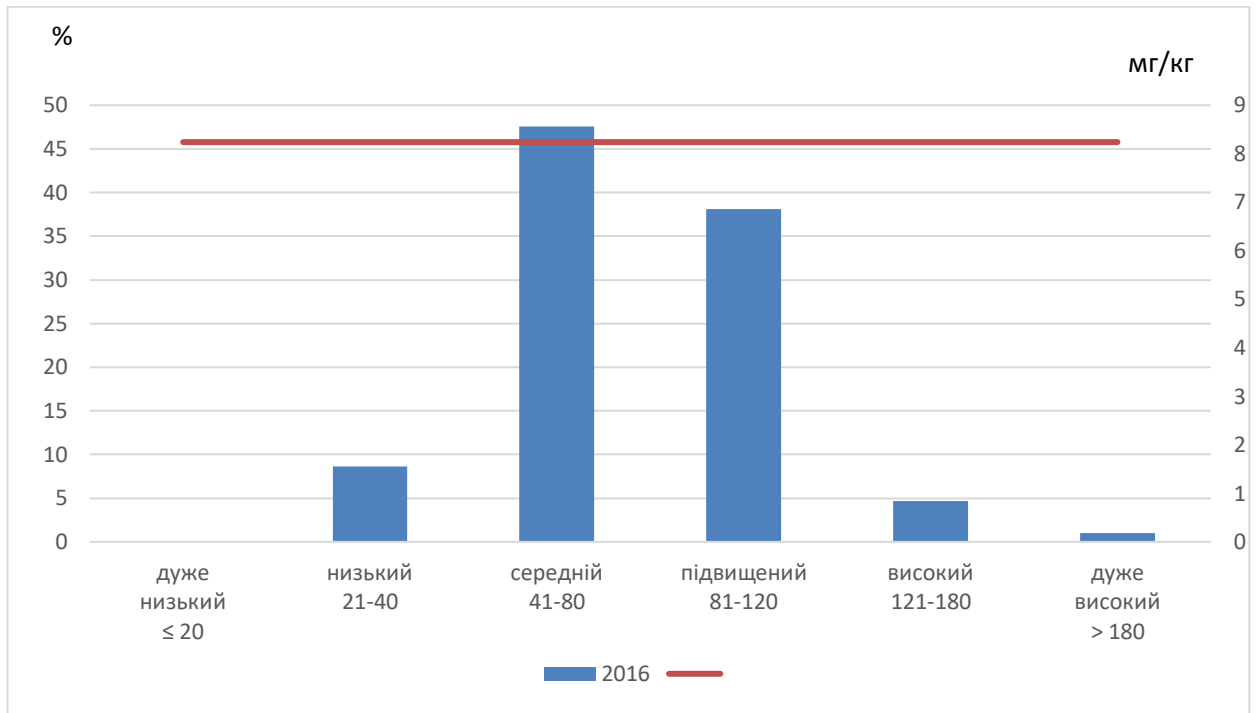


Рисунок 3.16 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію у 2016 р.,%

Як можна побачити з рисунку 3.17, у 2018 році відсоток ґрунтів з дуже низьким, низьким, середнім та підвищеним вмістом сполук калію відсутні.

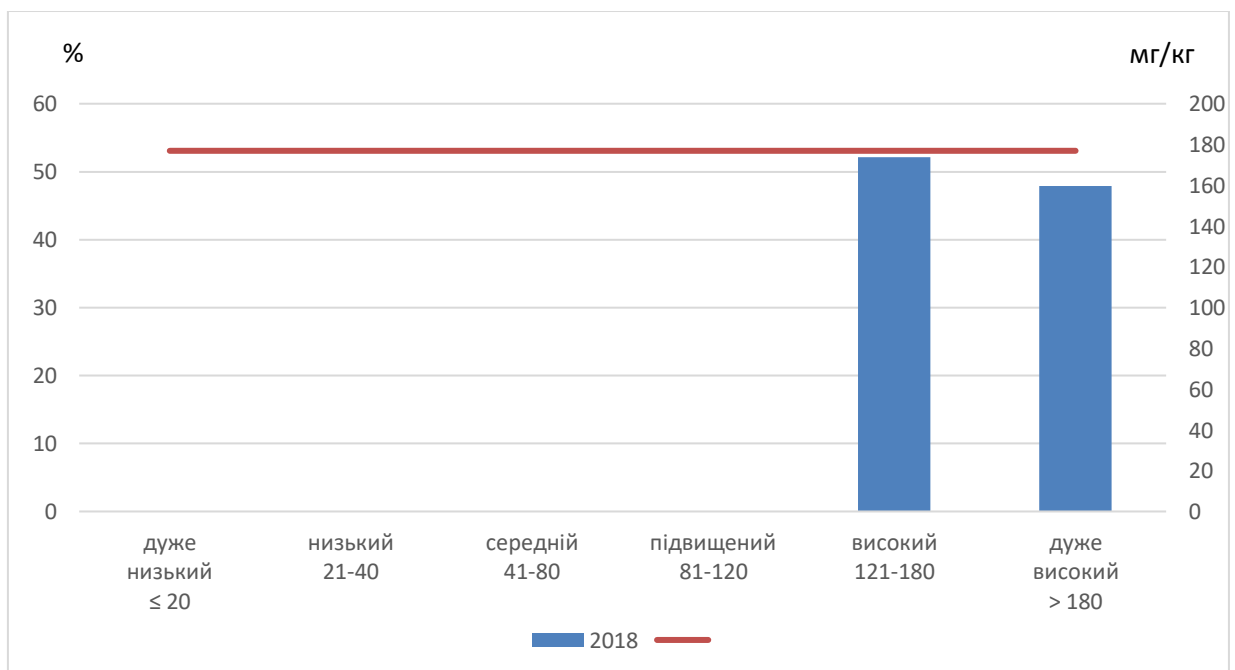


Рисунок 3.17 – Характеристика ґрунтів за вмістом за вмістом рухомих сполук калію у 2018 р., %

У цьому році ґрунти характеризуються високим і дуже високим ступенем забезпеченості. Так, відсоток ґрунтів з високим вмістом сполук калію становив 52,1%, що відповідає вмісту азоту в ґрунтах 121-180 мг/кг ґрунту, а з підвищеним – 47,9%. Середньозважений показник у 2018 році становив 176,9%.

На рисунку 3.18 представлено розподіл площ ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію у 2022 році. Середньозважений показник у цьому році становив 164,8%. Відсоток ґрунтів з високим вмістом сполук калію становив 72,3%, а з дуже високим – 27,7%.

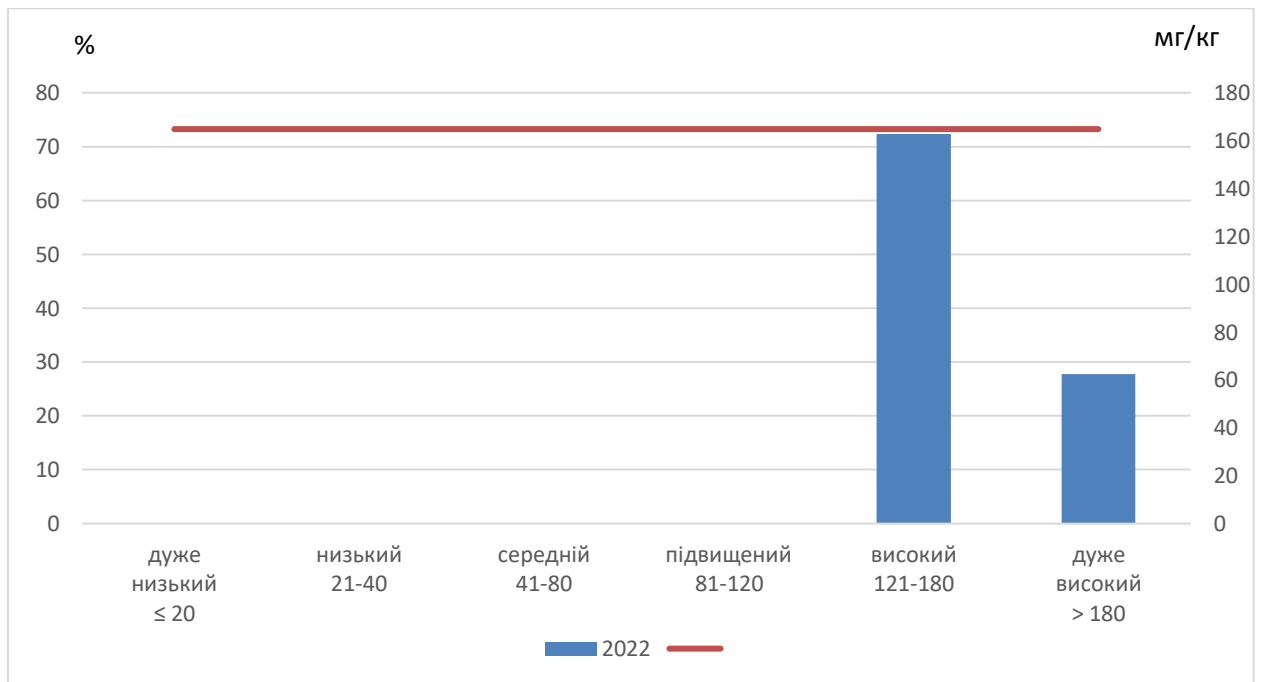


Рисунок 3.18 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію у 2022 р.,%

Рослина з доступних поживних речовин переважно поглинає іони калію. При надмірному внесенні калію різко скорочується поглинання, насамперед магнію та кальцію. Тому на ґрунтах, передобрених калієм, плоди часто страждають від дефіциту кальцію, а на листі виникають ознаки нестачі магнію. Коли калій для рослин перебуває у надлишку, у ґрунті утруднюється

також і поглинання рослиною мікроелементів. Такі фізіологічні порушення, як побуріння м'якоті, побуріння серця та загнивання сочевичок, а також передчасне опадання листя та ін. часто вважають наслідком надмірного добрива калієм. Особливо небезпечна надмірна кількість калію на тлі нестачі азоту та фосфору [27].

У 2023 році спостерігався спочатку рівномірний розподіл площ за ступеню забезпеченості ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію (рис. 3.19). Так, відсоток площ з дуже низьким та дуже високим вмістом сполук калію коливається від 1 до 8%. Відсоток ґрунтів з низьким та високим вмістом сполук калію становив 18%. Відсоток ґрунтів з середнім та підвищеним вмістом сполук калію становив 27%. Середньозважений показник у 2023 році становив 93%.

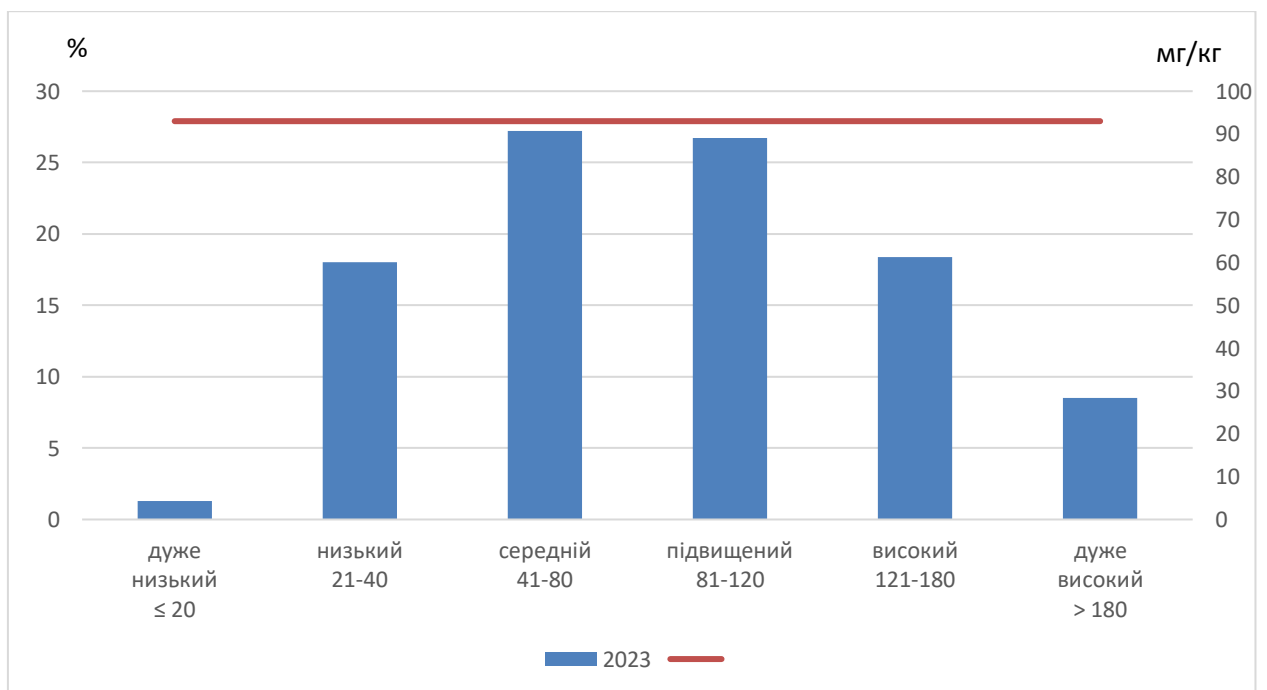


Рисунок 3.19 – Характеристика ґрунтів за вмістом рухомих сполук калію у 2023 р.

На рисунку 3.20 представлена динаміка зміни показника вмісту калію в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр. З рисунку видно, що на території області домінують ґрунти з високим та дуже високим вмістом калію.

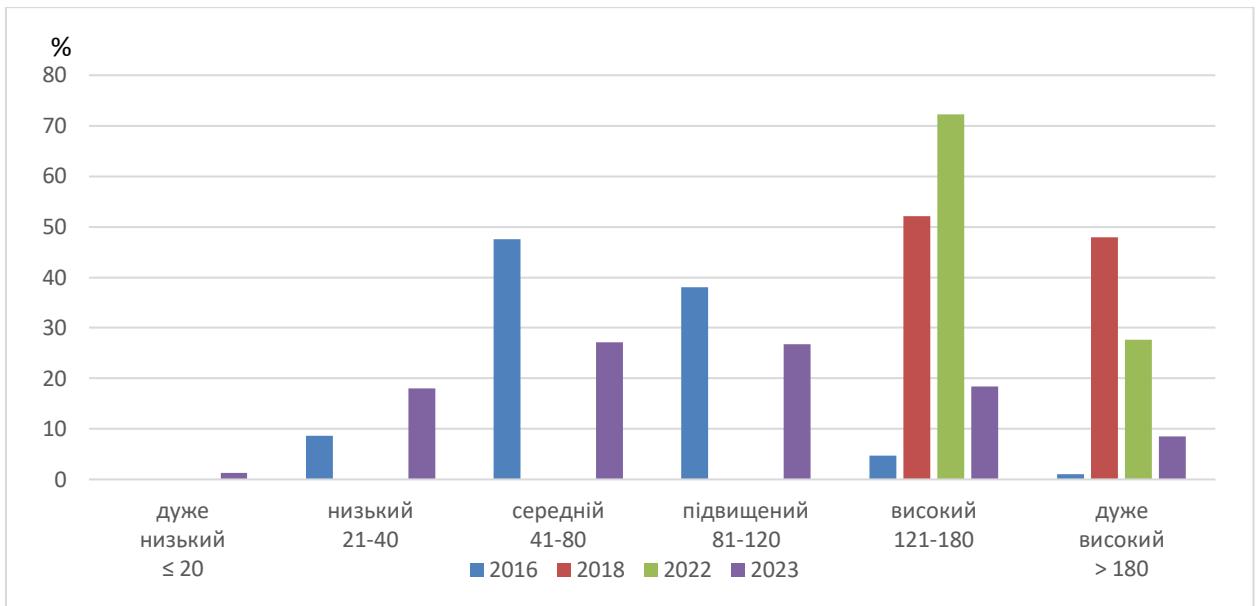


Рисунок 3.20 – Динаміка вмісту рухомих сполук калію в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр., %

Широке застосування пестицидів у сільськогосподарській практиці призвело до того, що всі країни однак стикаються з проблемами відходів пестицидів.

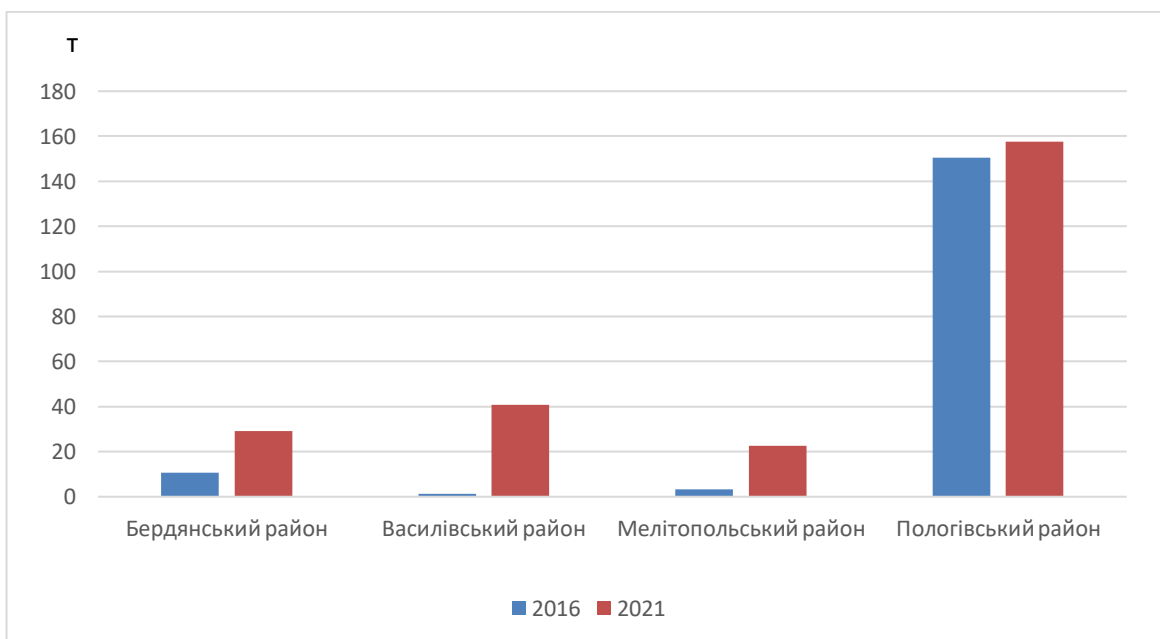


Рисунок 3.21 – Зберігання заборонених і непридатних до використання пестицидів та їх знешкодження з 2016 по 2021 рр.

Основною проблемою є ліквідація невикористовуваних (заборонених) і непридатних запасів пестицидів. За даними Екологічних паспортів, на території Запорізької області, в даний час накопичено близько 150 т непридатних пестицидів (рис. 3.21).

Питання необхідності знешкодження непридатних до використання та забороненими до застосування хімічних засобів захисту рослин – актуальна екологічна проблема Запорізької області. На цей час на території області загальна кількість непридатних до використання ХЗЗР у Запорізькій області становить 249,914 тон, у т.ч. безхазяйних – 199,796 тон.

## 4 МОДЕЛЮВАННЯ ЗАБЕЗПЕЧЕНОСТІ МІКРОЕЛЕМЕНТАМИ ГРУНТОВО-РОСЛИННОГО ПОКРИВУ ЗАПОРІЗЬКОЇ ОБЛАСТІ

### 4.1 Моделювання забезпеченості елементами мінерального живлення

Органічні речовини складаються переважно з органічних елементів: вуглецю (45%), кисню (42%), водню (6,5%) та азоту (1,5%). Водночас у рослинах виявляється близько 5% зольних мінеральних елементів, що залишаються у золі після спалювання рослинного матеріалу. Зольні елементи та азот поглинаються корінням рослин із ґрунту. Рослини здатні поглинати з довкілля практично всі елементи, однак для нормальної життєдіяльності рослинному організму необхідна лише їхня певна частина.

Вміст мінеральних елементів зазвичай виражають у відсотках від маси сухої речовини. Усі елементи в залежності від їх кількісного змісту у рослині прийнято ділити на макроелементи (вміст більше 0,01%) – до них відносяться азот, фосфор, сірка, калій, кальцій, магній та мікроелементи (вміст менше 0,01%) – залізо, марганець, мідь, цинк, бір, молібден, кобальт, хлор. Ю. Лібіхом було встановлено, що це перелічені елементи рівнозначні та повне виключення будь-якого з них пригнічують ріст та розвиток рослин та можуть призводити до загибелі, жоден із перерахованих елементів не може бути замінений іншим, навіть близьким за хімічними властивостями.

«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  $K_K$ :

$$K(NPK) = \min(K_N, K_P, K_K) \quad (4.1)$$

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

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

$$K_N = (N/N_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - N/N_{opt})] \quad (4.2)$$

$$K_P = (P/P_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - P/P_{opt})] \quad (4.3)$$

$$K_K = (K/K_{opt})^{1..35} \cdot \exp[1.1 \cdot (1 - K/K_{opt})] \quad (4.4)$$

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:

$$N = m_N N_n + N_m + m_{NO} N_o \quad (4.5)$$

$$P = m_P P_n + P_m + m_{PO} P_o \quad (4.6)$$

$$K = m_K K_n + K_m + m_{KO} K_o \quad (4.7)$$

де  $m_N$ ,  $m_P$ ,  $m_K$  – коефіцієнти еквівалентності легкогідролізного 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;  $N_n$ ,  $P_n$ ,  $K_n$  – легкогідролізний 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:

$$\Delta N / \Delta T = [(N_{max} \cdot N_{сер} \cdot m_r) / N_0 \cdot N_n] \cdot K \cdot E \cdot N_p \quad (4.8)$$

де  $\Delta N / \Delta T$  – швидкість поглинання азоту корінням рослин,  $mgN m^2 \text{доб}^{-1}$ ;  $N_{max}$  – максимально можлива швидкість поглинання азоту корінням,  $mgN \text{кг}^{-1}$ ;  $N_{сер}$  –

середня кількість азоту у шарі ґрунту;  $N_n$  – концентрація доступного азоту біля поверхні кореня,  $\text{гм}^{-2}$ ;  $m_r$  – маса кореня,  $\text{гм}^{-2}$ ;  $N_0$  – початкова кількість азоту у шарі ґрунту;  $K$  – константа Михаеліса-Ментен,  $\text{мгNкг}^{-1}$ ;  $E$  – інтенсивність транспірації,  $\text{кгм}^{-2}\text{доб}^{-1}$ ;  $N_p$  – концентрація доступного азоту в ґрунтовому розчині,  $\text{мгNкг}^{-1}$ » [28].

Фізіологічна роль елементів мінерального живлення у загальному вигляді зводиться до такого:

- 1) входять до складу біологічно важливих органічних речовин;
- 2) беруть участь у створенні певної іонної концентрації, стабілізації макромолекул та колоїдних частинок (електрохімічна роль);
- 3) беруть участь у каталітичних реакціях, входячи до складу або активуючи окремі ферменти.

У багатьох випадках один і той самий елемент може грати різну роль, а деякі елементи виконують усі три функції.

#### 4.2 Моделювання поглинання мікроелементів рослинним покривом

«Поглинання мікроелементів рослиною розглядається в залежності від утримання рухомих форм важких металів у ґрунті. Швидкість надходження важких металів у рослину описується формулою:

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

де  $\frac{\Delta A_q^{\text{погл}}}{\Delta t}$  – швидкість поглинання рухомих форм важких металів  $g$ -

го виду 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  $g$ -го виду важких металів у ґрунті,  $\text{мг кг}^{-1}$ ;  $a_r$  – 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 42і-го токсичності КВМ, визначеного за принципом Лібіха з великої кількості коефіцієнтів 42і-го токсичності кожного виду важких металів:

$$K_{m.Mj} = \min\{K_{qj}\}, q \in \text{Cd, Cu, Hg, Pb, Sr, Zn} \quad (4.10)$$

кожний з яких визначається з виразу:

$$K_q^{\text{крj}} = 1 - \left( \frac{\mu A_q}{A_q^{\text{кр2}} - A_q^{\text{кр1}}} \right) \cdot A_q^{\text{рос(j)}} \quad (4.11)$$

де  $\mu A_q$  - зниження продуктивності рослин в інтервалі критичних величин концентрації важких металів у рослині ( $\text{мг кг}^{-1}$ )» [28].

У таблиці 4.1 наведені основні характеристики для розрахунку поглинання мікроелементів врожаю сільськогосподарських культур, які будуть використовуватися для оцінки їх на якісні характеристики врожаю.

Таблиця 4.1 - Характеристики поглинання мікроелементів рослинами цукрового буряку в умовах Запорізької області

Види важких металів	Поглиняльна здібність коріння, $\text{м/с}^2$	Концентрація у ґрунті, $\text{мг/кг}$	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

### 4.3 Оцінка поглинання мікроелементів ґрунтово-рослинним покривом Запорізької області за допомогою математичної моделі

За допомогою моделі здійснено оцінку поглинальної здібності мікроелементів рослинами (на прикладі цукрового буряку) на території Запорізької області.

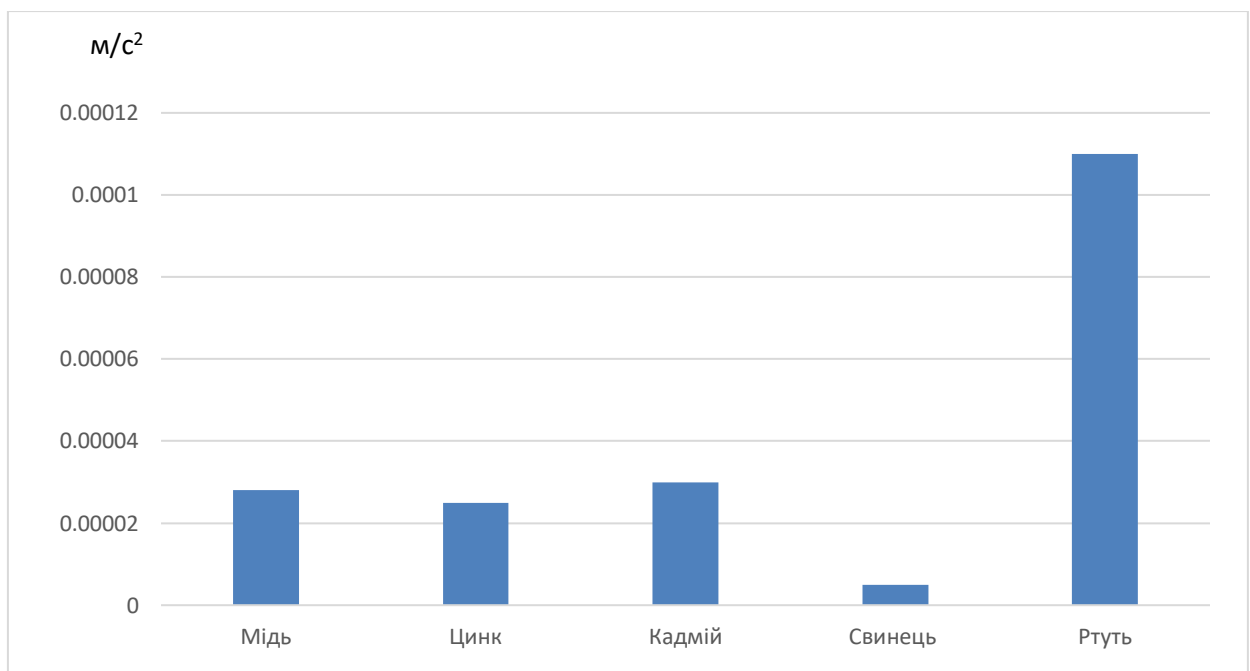


Рисунок 4.1 – Поглинальна здібність коріння цукрового буряку, м/с<sup>2</sup>

Як видно з рисунку, коріння цукрового буряку найбільш швидко поглинають ртуть, а саме поглинальна здібність коріння становить 0,00011 м/с<sup>2</sup>. Друге місце посідає поглинання кадмію – поглинальна здібність коріння становить 0,00003 м/с<sup>2</sup>.

На рисунку 4.2 наведені дані про використання поживних речовин з азотних добрив для основних сільськогосподарських культур, що вирощуються на території дослідження. Як видно з рисунку, найбільший коефіцієнт використання азотних добрив має картопля з показником 41,9% та томати з показником 41,2%.

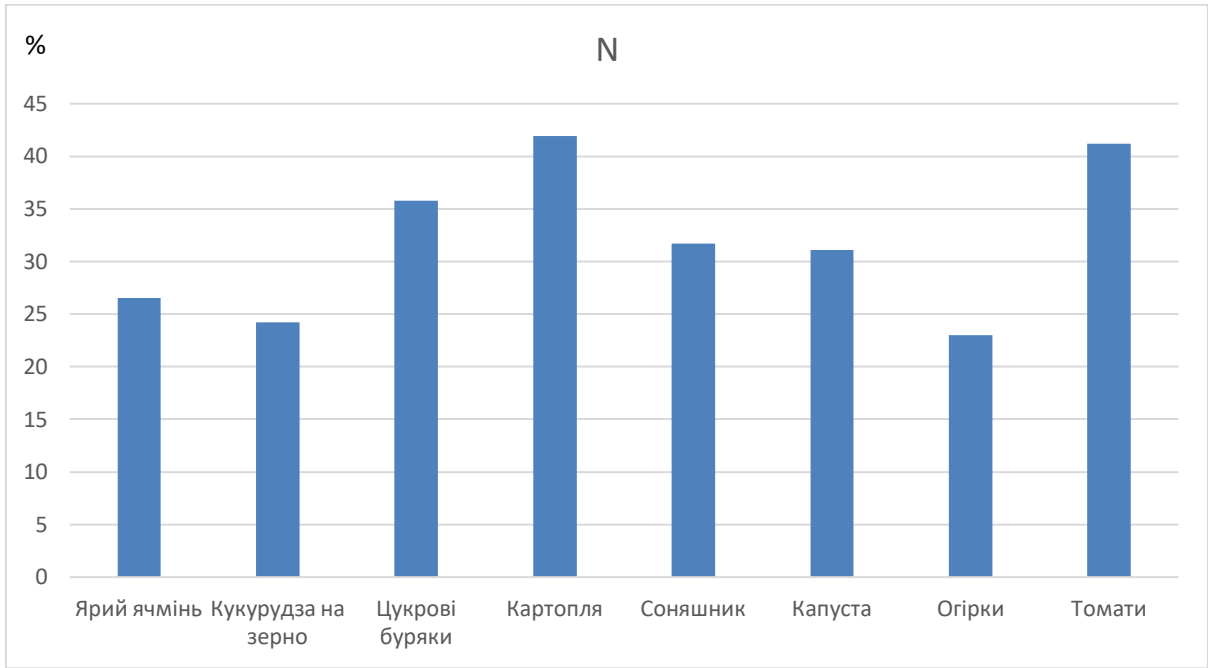


Рисунок 4.2 – Використання поживних речовин з азотних добрив для основних сільськогосподарських культур, %

На рисунку 4.3 наведені дані про використання поживних речовин з азотних добрив для основних сільськогосподарських культур.

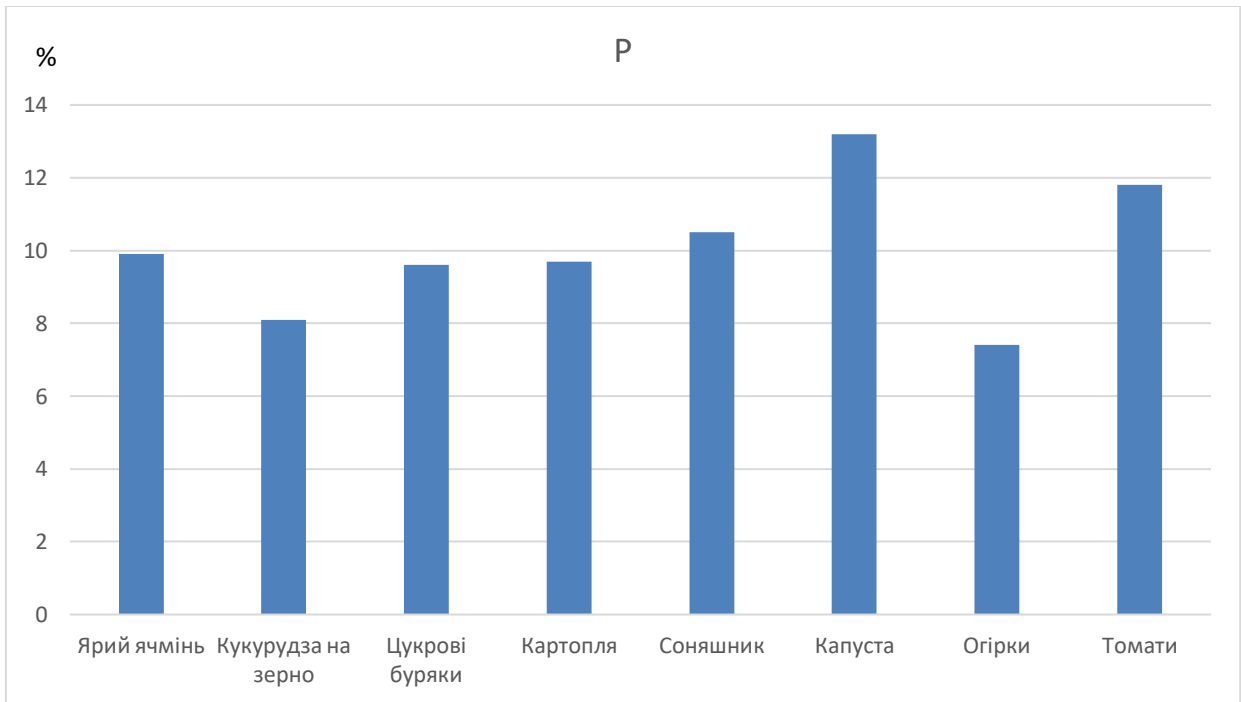


Рисунок 4.3 – Використання поживних речовин з фосфорних добрив для основних сільськогосподарських культур, %

Як видно з рисунку, найбільший коефіцієнт використання фосфорних добрив має капуста з показником 13,2% та томати з показником 11,8%.

На рисунку 4.4 наведені дані про використання поживних речовин з калійних добрив для основних сільськогосподарських культур, що вирощуються на території дослідження. Як видно з рисунку, найбільший коефіцієнт використання калійних добрив має капуста, соняшник та томати з показниками 67,8%, 67% та 55,7%.

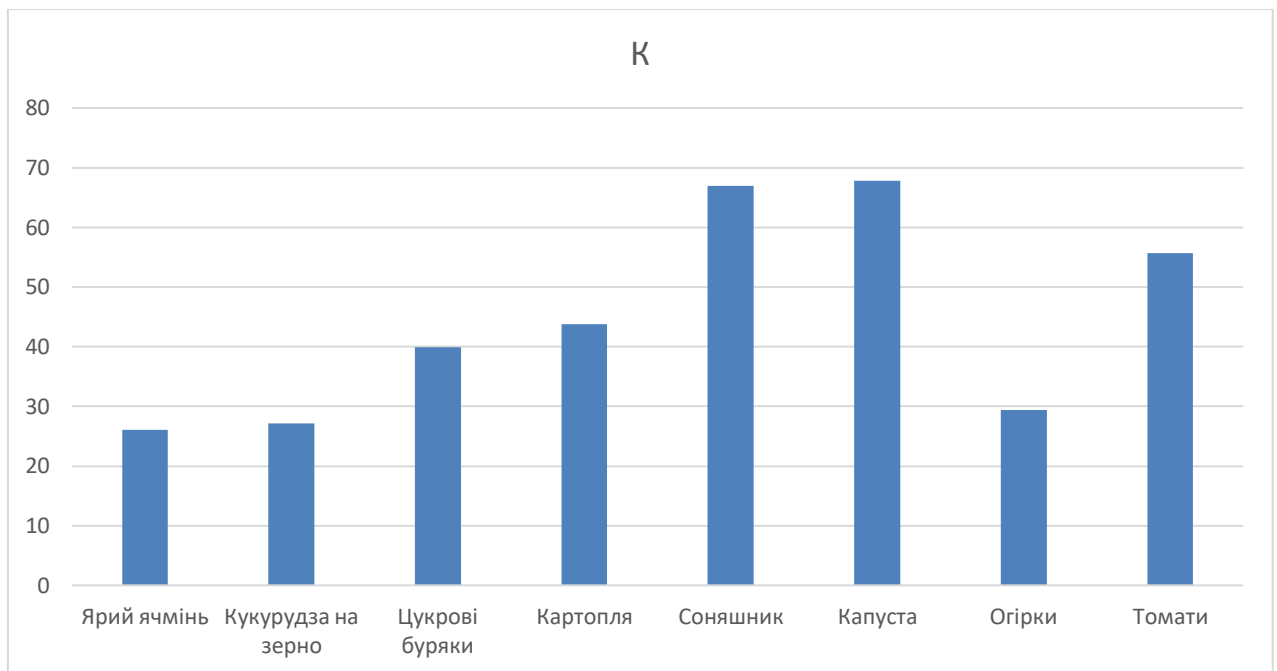


Рисунок 4.4 – Використання поживних речовин з калійних добрив для основних сільськогосподарських культур, %

Калійні мінеральні добрива небезпечні насамперед вмістом хлору, який погіршує якість урожаю (картоплі, овочів, винограду, тютюну, цитрусових і прядивних культур). Підвищений вміст калію в кормових травах може призвести до отруєння тварин, а застосування високих доз калійних добрив – до забруднення водойм.

У табл. 5.1 представлені значення норм внесення мінеральних і органічних добрив під сільськогосподарські культури, які вирощуються у Запорізькій області.

Таблиця 5.1 – Норми внесення мінеральних і органічних добрив під сільськогосподарські культури, які вирощуються у Запорізькій області (за автором)

Культура	Тип ґрунту	Добрива, кг/га				Урожай- ність, т/га
		Мінеральні			Органічні	
		N	P	K	Гній	
Озима пшениця	Чорнозем опідзолений	80	100	50	320	2.7
Кукурудза	Чорнозем опідзолений	80	120	60	340	3.1
Ярий ячмінь	Чорнозем опідзолений	70	100	50	356	2.3
Картопля	Чорнозем опідзолений	80	60	100	370	10.1
Трави	Всі ґрунти	60	80	40	290	7,3

Як видно з таблиці, норми внесення мінеральних та органічних добрив різняться в залежності від типу ґрунту на обраній культурі. Так, під картоплю необхідно вносити азотних добрив 80 кг/га, фосфорних добрив 60 кг/га та калійних добрив 100 кг/га. Також картопля потребує внесення більшої кількості органічних добрив у порівнянні з іншими культурами.

Також можна відмітити, що під кукурудзу необхідно вносити більше фосфорних добрив для отримання високих та якісних урожаїв цієї культури. Найменшу кількість внесення як мінеральних так і органічних добрив вносять під трави.

Щодо мікроелементів, то, як відомо, вони особливо ефективні за інтенсивної хімізації. Проте слід зазначити, що деякі з них – мідь, цинк, бор і молібден – належать до елементів, які потенційно забруднюють ґрунт, а для марганцю навіть установлена гранично допустима концентрація в ґрунті [29].

На рисунку 4.5 представлено вплив внесення мінеральних добрив на урожай основних сільськогосподарських культур.

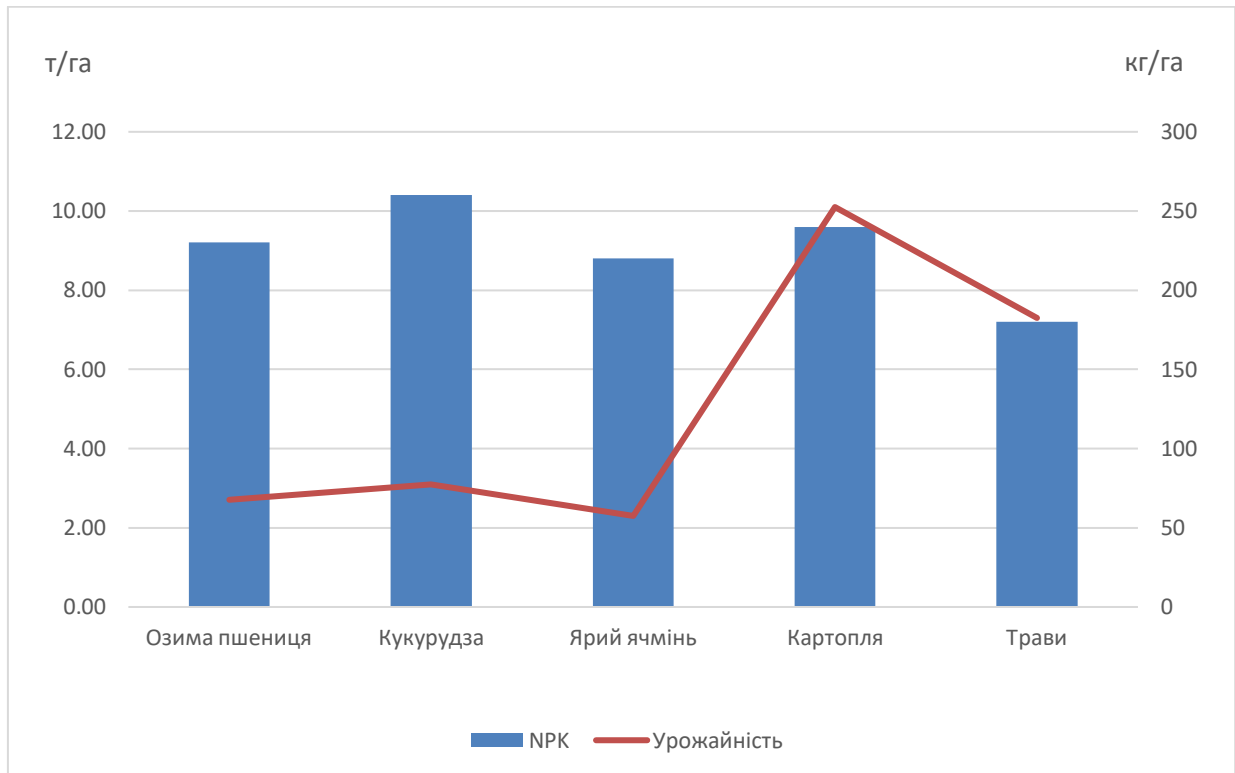


Рисунок 4.5 – Вплив внесення мінеральних добрив (NPK) на урожай основних сільськогосподарських культур

Можна сказати, що найкраще на внесення мінеральних добрив реагує картопля, а саме при внесенні сумарного показника мінеральних добрив (NPK) 240 кг/га, показник врожайності дорівнює 10,1 т/га. Найгірше на внесення мінеральних добрив реагує кукурудза, а саме при внесенні сумарного показника мінеральних добрив (NPK) 260 кг/га, показник врожайності дорівнює 3,10 т/га.

## ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи бакалавра було оцінити розподіл мікроелементів у рослинно-ґрунтовому покриві Запорізької області задля забезпечення довідкової інформації для рекультивації, використання та управління земельними ресурсами області. В результаті виконаних досліджень можна зробити такі висновки:

1. В ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр. переважали ґрунти з середнім та підвищеним вмістом гумусу. З 2016 року спостерігалось поступове скорочення площ за вмістом гумусу у ґрунтах Запорізької області. Так, площі з підвищеним вмістом гумусу зменшився з 44% у 2016 році до 18,5% у 2023 році; площі з високим вмістом гумусу зменшився з 33% до 8% відповідно. Площі з середнім вмістом гумусу залишаються стабільними з 2020 року на рівні близько 40%. Теж саме можна сказати і про площі з низьким вмістом гумусу (28%).

2. На території області домінують ґрунти з дуже низьким та низьким вмістом азоту, що легко гідролізується. Так, відсоток ґрунтів з дуже низьким вмістом азоту знизився з 81,1% у 2016 році до 47,5% у 2023 році. Також відмічалось і зменшення відсотку ґрунтів з середнім вмістом азоту на 25,8% – у 2018 році цей показник складав 36,1%, а у 2023 році – 10,3%. Найгірші показники ґрунтів за вмістом азоту, що легко гідролізується, спостерігалися у 2022 році.

3. Ступінь забезпеченості ґрунтів Запорізької області рухомими сполуками фосфору з 2016 р. по 2023 р. значно погіршився. Якщо у 2016 році переважали ґрунти з дуже високим та високим ступенем забезпеченості і складала 65%, тоді як у 2023 році вже переважали ґрунти з дуже низьким (27%), низьким (16%) та середнім (24%) ступенями забезпеченості.

4. Динаміка зміни показника вмісту рухомих сполук калію в ґрунтах Запорізької області з 2016 по 2023 рр. показав, що на території області домінують ґрунти з високим та дуже високим вмістом калію.

5. Основною проблемою на території області є накопичення непридатних запасів пестицидів. За даними Екологічних паспортів на території Бердянського району кількість непридатних пестицидів у 2016 року склав 10 т, а в 2021 р. – 29 т. У Василівському районі кількість непридатних пестицидів у 2016 року склав 1,4 т, а в 2021 р. – 40,7 т. У Мелітопольському районі кількість непридатних пестицидів у 2016 року склав 3,2 т, а в 2021 р. – 22,6 т. Самим забрудненим районом виявився Пологівський район з показниками 150,4 т у 2016 р. та 157,5 т у 2023 р.

6. Аналіз використання поживних речовин з добрив для основних сільськогосподарських культур на території Запорізької області показав, що найбільший коефіцієнт використання азотних добрив має картопля з показником 41,9% та томати з показником 41,2%. Найбільший коефіцієнт використання фосфорних добрив має капуста з показником 13,2% та томати з показником 11,8%. Найбільший коефіцієнт використання калійних добрив має капуста, соняшник та томати з показниками 67,8%, 67% та 55,7%.

8. Найкраще на внесення мінеральних добрив реагує картопля, а саме при внесенні сумарного показника мінеральних добрив (NPK) 240 кг/га, показник врожайності дорівнює 10,1 т/га. Найгірше на внесення мінеральних добрив реагує кукурудза, а саме при внесенні сумарного показника мінеральних добрив (NPK) 260 кг/га, показник врожайності дорівнює 3,10 т/га.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. White J.G., Zasoski R.J. Mapping soil micronutrients. *Field Crops Research*. 1999. Vol 60. Pp. 11 – 26.
2. Kahata-Pendias A. Soil-plant transfer of trace elements – an environmental issue. *Geoderma*, 2004. Vol 122. pp. 143 – 149.
3. Text of the Convention. URL:  
[http://www2.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/201701/UNCCD\\_Convention\\_ENG\\_0.pdf](http://www2.unccd.int/sites/default/files/relevant-links/201701/UNCCD_Convention_ENG_0.pdf) (дата звернення: 15.09.2024).
4. Convention on Sustainable Development (CSD). Progress Report on Chapter 10 of Agenda 21. United Nations, New York, NY, USA. 1996.  
EARTH.ORG. URL: <https://earth.org/95-of-the-earths-soil-on-course-to-be-degraded-by-2050/> (дата звернення: 18.09.2024).
5. Cherlet M., Hutchinson C., Reynolds J., Hill J., Sommer S., Maltitz G. von (Eds.). World atlas of desertification. Publication Office of the European Union, Luxembourg. 2018.
6. The Approach - Facing the Challenge. URL:  
<https://www.fao.org/4/x3810e/x3810e04.htm#N2> (дата звернення: 25.09.2024).
7. Булигін С.Ю., Барвінський А.В., Ачасова А.О. Оцінка і прогноз якості земель. Харків: ХНАУ, 2006. 262 с.
8. Канаш О.П. Проблеми використання деградованих земель. *Збірник наукових праць ННЦ «Інститут землеробства УААН»*. 2007. С. 58-60.
9. Добряк О.П., Канаш Д.І., Бабміндра Д.С, Розумний І.А. Класифікація сільськогосподарських земель як наукова передумова їх екологічнобезпечного використання. 2-ге вид. Київ: Урожай, 2009. 464 с.
10. Закон України «Про охорону земель». (Відомості Верховної Ради (ВВР), 2003, № 962). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/962-15#Text> (дата звернення: 10.10.2024).

11. Superagronom. Головний сайт для агрономів. URL: <https://superagronom.com/karty/erodovanist-gruntiv-ukrainy> (дата звернення: 10.10.2024).
12. Dubey M., Lakhanpal P. EFQM model for overall excellence of Indian thermal power generating sector. *The TQM Journal*. 2019. Vol. 31. No. 3. Pp. 319-339.
13. Colin J., Crawford E. Economic perspectives in agricultural systems analysis. *Rev. Agric. Econ.* 2000. No. 22. Pp. 192–216.
14. Brodt S., Klonsky K., Tourte L. Farmer goals and management styles: implications for advancing biologically based agriculture. *Agr. Syst.* 2006. No. 89. Pp. 90–105.
15. Ковтун О.М. Правові засади планування використання та охорони земель в Україні. *Вісник Академії адвокатури України*. 2010. Число 1 (17). С.6-11.
16. Закон України від 24 червня 2004 року «Про екологічну мережу України» (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2004, N 45, т. 502). URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1864-15#Text> (дата звернення: 15.10.2024).
17. Закон України «Про землеустрій». (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2003, N 36, ст. 282) URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/858-15#Text> (дата звернення: 15.10.2024).
18. Коломієць Л.П., Шевченко І.П., Повидало В.М. та ін. Науково-практичні рекомендації щодо проектування та впровадження адаптивної системи землеробства для сільськогосподарських підприємств і фермерських господарств лісостепової зони України. Київ. ННЦ «ІАЕ». 2024. 40 с.
19. Державні сайти України. URL: <https://www.zoda.gov.ua/news/51248/nazasidanni-verhovnoji-radi-ukrajini-zatverdzheno-novi-rayoni-zaporizkoji-oblasti.html> (дата звернення: 20.10.2024).
20. Запорізька область. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%97%D0%B0%D0%BF%D0%BE%D1>

[%80%D1%96%D0%B7%D1%8C%D0%BA%D0%B0%D0%BE%D0%B1%D0%BB%D0%B0%D1%81%D1%82%D1%8C](#) (дата звернення:

20.10.2024).

21. Мартин А.Г., Осипчук С.О., Чумаченко О.М. Природно-сільськогосподарське районування України: монографія. Київ: ЦП «Компринт», 2015. 328 с.
22. Панків З.П. Ґрунти України: навчально-методичний посібник. Львів: ЛНУ імені Івана Франка, 2017. 112 с.
23. Маркін О.М., Головченко О.В., Михайлова С.В. Родючість ґрунтів Запорізької області – минуле: сьогодення. Київ: Аграрна наука, 2005. С. 20 – 23.
24. Азот: важливий елемент у сільському господарстві. URL: <https://agrodopomoga.com.ua/uk/news/azot-vazhnyj-element-v-selskom-hozjajstve> (дата звернення: 25.10.2024).
25. Фосфорне живлення за екстремальних погодних умов. URL: <https://terratarsa.com/phosphorus/> (дата звернення: 25.10.2024).
26. Фадєєв А.І., Пащенко Я.В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах. Харків, 2003. 115 с.
27. Броннікова Л. Ф. Формування азотного поживного режиму ґрунту при вирощуванні кукурудзи на зерно. *Сільське господарство та лісівництво*. 2018. № 1(8). С. 50-59.
28. Шевчук В.Я., Чеботько К.О., Разгуляєв В.М. Біотехнологія одержання органо-мінеральних добрив із вторинної сировини. Київ: УАННП «Фенікс», 2001. 204 с.
29. Дорош О.С., Ісаченко Н.В., Мартин А.Г., Осипчук С.О., Лоїк Г.К. Теоретичні засади зонування земель в Україні: монографія. Київ: МВЦ «Медінформ», 2011. 183 с.