

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ АГРОТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕКОЛОГІЇ
КАФЕДРА ЕКОЛОГІЇ

Допускається до захисту

«___» _____ 2023 р.

Зав. кафедри _____
(підпис)

доцент, к.б.н., Петро ХІРІВСЬКИЙ
наук. ступ., вч. зв. (ім'я та прізвище)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Бакалавр

(рівень вищої освіти)

на тему: «Агроекологічні заходи направлені на зниження рухомості йонів
кадмію у темно-сірому ґрунті за вирощування *Beta vulgaris* L. в умовах Західного
Лісостепу України»»

Виконав студент групи Еко-41

спеціальності 101 «Екологія»

Кушнір Олег Ігорович

Керівник: Андрій ДИДІВ

Консультант: Юрій КОВАЛЬЧУК

Дубляни 2023

Міністерство освіти і науки України
Львівський національний університет природокористування
Факультет агротехнологій та екології
Кафедра екології

Рівень вищої освіти «Бакалавр»
 Галузь знань 10 «Природничі»
 Спеціальність 101 «Природничі»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри _____
 (підпис)

к. б. н., доцент **Петро ХІРІВСЬКИЙ**
 наук. ступ., вч.зв. (ім'я та прізвище)

« ____ » _____ 2022 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу студенту Кушніру Олегу Ігоровичу

1. Тема роботи: «Агроекологічні заходи направлені на зниження рухомості йонів кадмію у темно-сірому ґрунті за вирощування *Beta vulgaris* L. в умовах Західного Лісостепу України»

Керівник кваліфікаційної роботи Дидів Андрій Ігорович,
 кандидат сільськогосподарських наук, доцент
 Затверджена наказом по університету №453/к-с від “30” грудня 2022 р.

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи 12 червня 2023 року

3. Вихідні дані для кваліфікаційної роботи

Теоретичні відомості, літературні джерела, методика виконання досліджень, аналітичні матеріали та звіти Департаменту екології та природних ресурсів Львівської ОДА, нормативно-методичні документи, ґрунтово-кліматичні умови.

4. Зміст кваліфікаційної роботи (перелік питань, які необхідно розробити)

Вступ

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Джерела забруднення ґрунтів Львівської області важкими металами

1.2. Агроекологічний оцінка ґрунтів Львівської області на вміст важких металів

1.2. Форми знаходження важких металів у ґрунтах

1.3. Фітотоксичний вплив сполук кадмію

1.4. Заходи з детоксикації забруднених ґрунтів важким металами

2. ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальна характеристика ФГ «ЛІМ»

2.2. Ґрунтово-кліматичні умови у роки проведення досліджень

2.3. Закладання модельного досліді в польових умовах

2.4. Методика проведення лабораторних досліджень

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив добрив та меліорантів на агрохімічні показники ґрунту за вирощування буряка столового

3.2. Концентрація валових та рухомих форм кадмію у ґрунті залежно від застосування добрив та проведених заходів вапнування

3.3. Нагромадження кадмію в рослинах буряка столового залежно від застосування добрив та меліорантів

3.4. Вплив різних систем удобрення та меліорантів на урожайність та біохімічний склад продукції буряка столового

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану охорони праці у господарстві

4.2. Безпека праці при технологічних процесах, пов'язаних з вирощуванням буряка столового

4.3. Заходи щодо покращення гігієни праці, техніки безпеки та пожежної безпеки

Зробити висновки за результатами проведених досліджень

Сформуувати список використаних джерел

5. Перелік графічного матеріалу: таблиць – 11, рисунків – 6, додатків – 4.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата		Відмітка про виконання
		завдання видав	завдання прийняв	
1, 2, 3	Дидів А. І. , доцент кафедри екології			
4	Ковальчук Ю. О. , доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва в АПК			

7. Дата видачі завдання 12 вересня 2022 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Відмітка про виконання
1	Написання вступу на розділу «Огляд літератури»	12.09.2022-11.11.2022	
2	Написання розділу «Об'єкт, умови та методи дослідження»	12.11.2022-30.12.2022	
3	Написання розділу «Результати досліджень»	02.01.2023-17.04.2023	
5	Написання розділу «Охорона праці», підготовка висновків, оформлення списку використаних джерел	18.04.2023-09.06.2023	

Студент Олег КУШНІР
(підпис)

Керівник кваліфікаційної роботи Андрій ДИДІВ
(підпис)

УДК 504.064.2:635.1/8:633.412

Агроекологічні заходи направлені на зниження рухомості йонів кадмію у темно-сірому ґрунті за вирощування *Beta vulgaris* L. в умовах Західного Лісостепу України. Кушнір О. І. – Кваліфікаційна робота. Кафедра екології. – Дубляни, Львівський НУП, 2023.

69 с. текст. част., 11 табл., 6 рис., 64 джерел.

Проаналізовано сучасний агроекологічний стан ґрунтів Львівської області на предмет забруднення важкими металами. Визначено основні джерела забруднення важкими металами та їх вплив на функціонування агроecosистем Західного Лісостепу. Охарактеризовано фітотоксичність сполук кадмію та їх вплив на якість вирощеної овочевої продукції. Зазначено ряд заходів з хімічної детоксикації ґрунтів забруднених важкими металами.

В умовах ФГ «ЛІМ» протягом 2021–2022 рр. на темно-сірих опідзолених ґрунтах проведені дослідження з вивчення рухомості кадмію та його здатності до нагромадження в рослинах *Beta vulgaris* L. за використання різних систем удобрення та кальцієвих меліорантів.

Запропоновано комплекс агроекологічних заходів направлених на детоксикацію забрудненого ґрунту важкими металами з метою одержання екологічно безпечної продукції буряка столового.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
Розділ 1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ	9
1.1. Джерела забруднення ґрунтів Львівської області важкими металами.....	9
1.2. Агроекологічна оцінка ґрунтів Львівської області на вміст важких металів.....	13
1.3. Форми знаходження важких металів у ґрунтах.....	17
1.4. Фітотоксичний вплив сполук кадмію.....	19
1.5. Заходи з детоксикації забруднених ґрунтів важким металами....	22
Розділ 2. ОБ’ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ	25
2.1. Загальна характеристика ФГ «ЛІМ».....	25
2.2. Ґрунтово-кліматичні умови у роки проведення досліджень.....	25
2.3. Закладання модельного досліду в польових умовах.....	32
2.4. Методика проведення лабораторних досліджень.....	35
Розділ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ	30
3.1. Вплив добрив та меліорантів на агрохімічні показники ґрунту за вирощування буряка столового.....	38
3.2. Концентрація валових та рухомих форм кадмію у ґрунті залежно від застосування добрив та проведених заходів вапнування за вирощування буряка столового.....	41
3.3. Нагромадження кадмію в рослинах буряка столового залежно від застосування добрив та меліорантів.....	46
3.4. Вплив різних систем удобрення та меліорантів на урожайність та біохімічний склад продукції буряка столового.....	51
Розділ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	55
4.1. Аналіз стану охорони праці у господарстві.....	55
4.2. Безпека праці при технологічних процесах, пов’язаних з вирощуванням буряка столового.....	55

4.3. Заходи щодо покращення гігієни праці, техніки безпеки та пожежної безпеки.....	57
ВИСНОВКИ.....	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	60
ДОДАТКИ.....	66
Додаток А. Агроекологічна карта оцінки ґрунтів України.....	66
Додаток Б. Склад та характеристика органічного добрива Біопроферм.....	67
Додаток В. Склад та характеристика комплексного мінерального добрива Нітроамофоска-М.....	68
Додаток Г. Склад та характеристика кальцієвих меліорантів.....	69

ВСТУП

Актуальність теми. Впродовж останніх років спостерігається все більше посилення антропогенного навантаження на агроценози різноманітними поллютантами, зокрема важкими металами (ВМ), якими забруднено більше як 20% орних земель України [5, 6, 24]. При поступовому зростанні концентрації іонів важких металів в ґрунтовому середовищі спостерігається їх нагромадження та перерозподіл в тканинах рослин, включення в метаболічні процеси, що призводить до морфологічних та біохімічних змін, які виявляються в пригніченні росту і розвитку рослин [9, 12]. Забруднення агробіоценозів важкими металами негативно впливає на екологічні функції ґрунту, а відтак змінює його фізико-хімічні властивості та пригнічує всі мікробіологічні процеси, які спричинюють погіршення родючості ґрунту та в цілому зумовлюють зниження врожайності і якості продукції рослинництва [14, 26].

Велику увагу в агроекологічному моніторингу приділяється контроль за вмістом кадмію, який характеризується значною стійкістю, високою токсичністю, вираженими властивостями до біоаккумуляції. Особливо небезпечними є рухомі форми Cd^{2+} у ґрунті, які здатні до інтенсивного нагромадження овочевими рослинами та потраплянні в організм людини [3, 12, 24].

В Україні частка коренеплідних рослин становить 18% загальної площі під овочевими, серед яких буряк столовий (*Beta vulgaris* L.) займає 44,1 тис. га. При цьому врожайність коренеплідів досягає в середньому 20,3 т/га, валовий збір – 894,1 тис. т. [36]. Однак біологічна стійкість буряка столового до токсичної дії іонів важких металів є незначною, що зумовлено генетично [3]. Так, перевищення гранично допустимих концентрацій (ГДК) рухомих форм Cd^{2+} на кислих, бідних на вміст гумусу і глини, легкого гранулометричного складу ґрунтах здатні сприяти нагромадженню іонів кадмію в рослинах буряка столового, впливати на фітопродуктивність рослин, а відтак знижувати його урожайність та якість [14, 15, 22].

Тому сьогодні актуальним питанням є розробка та застосування у

конкретних ґрунтово-кліматичних умовах науково обґрунтованої системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами, завдяки котрій проходить швидкодіюча детоксикація ґрунту забрудненого важкими металами з відновленням його родючості, що в цілому сприяє одержанню екологічно-безпечної продукції буряка столового для споживання населенням [7, 8, 13].

Метою досліджень було вивчити вплив органічної, мінеральної та органо-мінеральної систем удобрення у поєднанні з вапнуванням на рухомість кадмію у темно-сірому ґрунтів та транслокацію йонів Cd^{2+} в рослин буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм.

У відповідності із метою наукових досліджень були визначені такі **завдання:**

- з'ясувати джерела забруднення ґрунтів Львівської області важкими металами;
- надати агроекологічну оцінку ґрунтам Львівської області за вмістом важких металів;
- вивчити вплив різних систем удобрення та вапнування на рухомість кадмію у ґрунті;
- дослідити транслокацію йонів Cd^{2+} з ґрунту в рослини *Beta vulgaris* L. за використання різної системи удобрення кальцієвих меліорантів;
- дати оцінку фітотоксичності кадмію за показниками коефіцієнтів небезпеки та біологічного поглинання рослинами *Beta vulgaris* L. в умовах модельного досліду;
- дослідити вплив різних систем удобрення та вапнування ґрунту на агрохімічні показники темно-сірого ґрунту;
- облікувати урожай та визначити біохімічні показники якості продукції буряка столового.

1. ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Джерела забруднення ґрунтів Львівської області важкими металами

В останні роки посилюється антропогенний вплив на біосферу внаслідок діяльності багатьох галузей промисловості (нафтопереробної, хімічної, чорної і кольорової металургії, виробництво цементу, відходів комунальних і промислових підприємств, електростанцій, штучного волокна, спалювання палива, стоків, транспорту), що сприяє постійному надходженні (аерогенним, гідрогенним, агрогенним шляхом) значної кількості хімічних речовин, серед яких пріоритетними токсикантами вважаються важкі метали (ВМ) та їх сполуки [17, 27].

Важкими металами у мовно називають групу хімічних елементів, уміст яких у природних компонентах складає менше 0,01%. До важких металів (ВМ) належать більше 40 елементів з щільністю понад 5 г/см³ та атомною масою понад 50 одинць: Cd, Hg, Pb, V, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Sn, Bi та інші рідкоземельні (розсіяні) елементи, яким властива сильна токсичність, мутагенний і канцерогенний ефекти. В агроекології виділяють, як правило чотири основні форми знаходження ВМ у ґрунті, а саме: нерозчинні, які входять до складу ґрунтових мінералів; обмінні, які перебувають у динамічній рівновазі з іонами даного металу в ґрунтовому розчині; рухомі, що показують доступність ВМ до кореневої системи рослин та розчинні форми. На практиці в основному визначають рухомі та валові форми ВМ у ґрунті [9, 28, 29].

Кадмій (Cd) виступає як один з найбільш небезпечних важких металів, на який зосереджується особлива увага. Цей елемент вважається пріоритетним супертоксикантом і віднесений до першого класу небезпеки згідно з санітарно-гігієнічними нормами [21]. На відміну від інших транс елементів цей швидше акумулюється у живих організмах, порушуючи всі процеси метаболізму, а далі потрапляє в біогеохімічний кругообіг і викликає деградацію та руйнування природних екосистем [13, 14, 30].

Негативний вплив кадмію проявляється у змінах, які відбуваються в агроєкосистемі і мають якісну та кількісну характеристику. Ці зміни призводять до зменшення врожайності і погіршення якості сільськогосподарської продукції. Очевидним результатом цього є незадовільний стан здоров'я людей [12, 19, 50]. Гранично допустимі концентрації Cd, які чинні в Україні наведено в таблиці 1.1. [15, 25, 30].

Таблиця 1.1. – Гранично допустимі концентрації кадмію у різних середовищах та овочах

Середовище	Cd (кадмій)
Атмосферне повітря (середньо добове значення для житлових населених пунктів / робочої зони), мг/м ³	<u>0,0003</u> 0,05
Вода (для пиття / прісних водойм, річок, озер), мг/л	<u>0,001</u> 0,005
Ґрунт (рухомі форми / валові), мг/кг повітряно-сухого ґрунту	<u>0,7</u> 3,0
Овочі (свіжі для споживання), мг/кг сирової маси	0,03

Важкі метали швидко мігрують по харчових трофічних ланцюгах у системі “повітря-ґрунт-вода-рослина-тварина-людина”. Можливі такі схеми надходження ВМ: ґрунт → рослина → людина; повітря → людина; вода → рослина → тварина → людина та ін. [26, 27].

Основна кількість (30-80%) важких металів, в тому числі кадмій потрапляє до організму людини внаслідок досягнення ним вершини трофічних ланцюгів, через продукти харчування (рослинного і тваринного походження) та питну воду, дещо менше (до 30%) з атмосферним повітрям [23].

Джерела викидів важких металів і механізми їх поширення в навколишнє середовище можуть бути як антропогенними, так і природними. Природні джерела включають вивітрювання гірських порід і мінералів, ерозію ґрунтів, вулканічну активність, дим від лісових пожеж, морські аерозолі та метеоритний пил тощо [5].

Антропогенні джерела є основними забруднювачами навколишнього середовища, зокрема ґрунтів важкими металами, в т.ч кадмієм (Cd). Це включає діяльність хімічної і гірничо-видобувної промисловості, викиди диму і пилю від чорної та кольорової металургії, теплових електростанцій, цементних заводів, скловарень, лакофарбових підприємств, автотранспорту, утилізацію комунальних відходів, стічних вод з міської каналізації та тваринницьких комплексів, виробництво гальванічних елементів, акумуляторів, використання та виробництво мінеральних добрив, пестицидів та інших хімічних препаратів. Варто зазначити, що загальна маса кадмію, яка надходить від антропогенних джерел, значно перевищує природні джерела і становить 8,8 рази більше [12].

В Україні більше як 20% орних земель у різній мірі забруднені ВМ. Ґрунти є найбільшими природними біоаккумулятором полютантів, вони виступає як природний буфер, що контролює міграцію хімічних елементів і сполук у гідросферу, атмосферу і біоту. Карта забруднення ґрунтів України важкими металами (рис. 1.1.).



Рис. 1.1. – Забрудненість ґрунтів України важкими металами [42]

Значна частина потрапляння важких металів у ґрунти здійснюється атмосферними потоками. Так, основні джерела атмосферного забруднення важкими металами внаслідок антропогенної діяльності є теплові та інші електростанції (27%), підприємства чорної металургії (24,3%), підприємства з видобування і переробки нафти (15,5%), транспорт (13,1%), підприємства кольорової металургії (10,5%) та підприємства з видобування і виготовлення будівельних матеріалів (8,1%) [12].

Важливими показниками, які використовуються для екологічної оцінки стану повітряного басейну в Львівській області є обсяги викидів шкідливих речовин в атмосферне повітря, які надходять від стаціонарних та пересувних джерел на регіональному рівні. Контролю підлягає також динаміка джерел забруднення, розрахунки цих викидів на 1 км² та на одну особу населення.

Зазначимо, що Департаментом екології та природних ресурсів Львівської ОДА (станом на 01.01.2022 року спостереження по Львівській області не здійснювалися, так як відсутні пункти спостереження, встановлення яких відповідно до Програми, передбачено до кінця 2025 року).

У 2021 році основними забруднювачами повітря в Львівській області були підприємства добувної промисловості, від яких становили 45,3% від загального обсягу викидів, та підприємства, що займаються постачанням електроенергії, газу, пари та кондиційованого повітря, від яких становили 37,5% від загального обсягу викидів.

Найбільші обсяги викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря мають підприємства добувної промисловості і розроблення кар'єрів. В районах та містах, де розташовані підприємства цих галузей спостерігаються найвищі обсяги викидів в атмосферне повітря. А саме: ДП «Львіввугілля» – 30,404 тис. т; ВП «Добротвірська ТЕС» (ПАТ «ДТЕК Західенерго») – 26,927 тис. т; філія «Оператор газосховищ України» (АТ «Укртрансгаз») – підрозділи Львівської області – 3,557 тис. т; філія ГПУ «Львівгазвидобування» (ПАТ «Укргазвидобування») – підрозділи Львівської області – 3,130 тис. т. [45].

Обсяги викидів забруднюючих речовин, які потрапили в атмосферу від

стаціонарних джерел у Львівській області у 2021 році, становили 75,082 тис. тонн, що на 1,2% менше порівняно з 2020 роком. В розрахунку на 1 км² території області обсяги викидів зі стаціонарних джерел складають у середньому 3,5 тонн, що становить 4,6% від загальної кількості. На кожного мешканця Львівської області у середньому викидається 30,3 кг забруднюючих речовин, що становить 40,2% від загальної кількості. Таким чином Львівська область посідає 6-е місце за кількістю викидів забруднюючих речовин в атмосферу від стаціонарних джерел серед інших областей і відстає. Значна частка у викидах забруднюючих речовин становлять важкі метали, які потрапляють у водойми та ґрунти [44].

Сильно забрудненими є ґрунти урболандшафтів та селітебні території, в яких вміст важких металів та інших токсичних речовин у повітрі, водоймах і фітоценозах перевищує ГДК у десятки і більше разів [15]. Найбільше забрудненні ґрунти кадмієм, які потрапили в зону впливу техногенних джерел, а саме автомагістралей, міських сміттєзвалищ, стічних вод, агрохімікатів, великих промислових виробництв (металургійних, цементних, сміттєспалювальних заводів, ТЕС), що застосовують високотемпературні процеси (спалювання палива, термічна обробка) у своєму виробничому циклі [9, 11, 25, 29].

1.2. Агроекологічний оцінка ґрунтів Львівської області на вміст важких металів

Агроекологічний стан ґрунтів Львівської області можна оцінити за наступними показниками: потужність гумусного горизонту; вміст поживних речовин, таких як азот, фосфор і калій; рівень і мінералізація ґрунтових вод; стійкість ґрунтів до забруднення; агрокліматичними умовами, які включають середньорічне продуктивне зволоження, тривалість вегетаційного періоду, середньорічний радіаційний баланс, суму активних температур, кількість опадів, температурний режим та крутизна схилів; агрохімічними показниками, такими як кам'янистість, структурність, питомий опір, механічний склад, вміст гумусу, тип водного режиму, реакція рН та ємність катіонного обміну; господарською

подвоєністю території, що включаючає залісненість та розораність; забрудненість радіонуклідами, такими як цезій, стронцій, плутоній, америцій та уран; забруднення ґрунтів важкими металами, такими як кадмій, свинець, бор, молібден, марганець, цинк, ртуть, кобальт, нікель та інші; забруднення пестицидами, їх залишками та мінеральними добривами з урахуванням природних особливостей ґрунтів; несприятливими природно-антропогенними процесами, такими як ступінь ерозії внаслідок яружної або площинної ерозії, зсуви, суфозія лісових порід, дефляція, карст, сели, засолення, підтоплення (дод. А). [7, 12, 32].

За результатами агрохімічних обстежень земель сільськогосподарського призначення Львівської області встановлено, що за кислотністю ґрунтового розчину в області переважають землі з нейтральною реакцією ґрунтового розчину (31,3%). За рівнем забезпечення гумусу переважають ґрунти з середнім його вмістом (36,1%) за середньозваженого показника 2,6%. За вмістом азоту, що легко гідролізується, найбільше земель мають низький (60,4%) та середній його вміст (18,0%), а середньозважений показник забезпеченості азотом становить 125,6 мг/кг ґрунту. В області переважають землі з підвищеним (25,1%) та високим вмістом рухомих сполук фосфору (25,3%), а середньозважений вміст цього макроелементу по області сягає 107,2 мг/кг ґрунту. За вмістом рухомих сполук калію переважають землі з середнім його вмістом (30,3%), за середньозваженого показника 72,2 мг/кг ґрунту. Встановлено, що в Львівській обл. найбільшу площу займають ґрунти середньої якості: землі V класу якості (23,8%) та VI класу якості (28,4%). Менше земель високої якості, зокрема 10,6% обстежених земель відносяться до IV класу якості та 1,4% земель — до III класу. Щодо низької якості ґрунтів (VII та VIII класи), то до них належать відповідно 22,9% і 9,7% земель. У середньому сільськогосподарські угіддя Львівської обл. мають оцінку 43, що відповідає VI класу земель середньої якості [10, 44, 45].

У 2021 році Львівська філія ДУ "Держґрунтохорона" провела агрохімічну характеристику земель, призначених для сільськогосподарського використання. Для визначення вмісту кадмію було проаналізовано 4566 проб. Якість та стан

ґрунтів, що використовуються у сільському господарстві на предмет важких металів, радіонуклідів, нітратів та пестицидів, можна оцінити на основі проведених досліджень, які були систематизовані у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2. – Систематизована оцінка якості ґрунтів сільськогосподарського призначення Львівської області за показниками важких металів, пестицидів та радіонуклідів

Вид забруднювача	К-сть проб	ГДК мг/кг ґрунту	Мін концентрація мг/кг ґрунту	Мах концентрація мг/кг ґрунту	К-сть зразків, що перевищують ГДК	Населений пункт / господарство, де було перевищення ГДК
Cd	4566	0,7	0,1	0,36	-	-
Pb	4566	6,0	0,8	2,24	-	-
Cu	4566	3,0	0,5	2,20	-	-
Zn	4566	23	0,42	1,83	-	-
Co	4566	5,0	0,7	2,20	-	-
Mn	4566	50	7,0	33,8	-	-
ДДТ та його метаболіти	4566	1,0	Не виявлено	Не виявлено	-	-
Цезій-137	2364	290 Бк/кг	0,6 Бк/кг	0,61 Бк/кг	-	-

Як свідчить агрохімічне обстеження земель сільськогосподарського призначення (табл. 1.2.) на Львівщині забруднення ґрунтів важкими металами, залишками пестицидів та радіонуклідами носить переважно локальний характер, а вміст важких металів в ґрунтах не перевищує гранично допустимих концентрацій. Проте таке узагальнення не може повністю відображати ситуацію в області. Все залежить від місць відбирання проб [25, 46].

Інших дослідження вказують на те, що в зоні впливу стаціонарних джерел забруднення, вздовж автомагістралей, приміських селітебних та міських територій Львівщини вміст важких металів у ґрунтах може перевищувати ГДК у рази. Особливо це стосується рухомих форм ВМ [10, 22, 46].

У Львівській області існує кілька основних проблем, пов'язаних з використанням земельних ресурсів. Зокрема, це зменшення рівня поживних речовин у ґрунтах, водна ерозія ґрунтів і недостатня рекультивация їх після втрати родючого горизонту. Екологічна ситуація в більшості районів області є напруженою, і це в значній мірі спричинено недооцінкою та навіть повним ігноруванням процесів ерозії та деградації ґрунтів, які виникають як внаслідок природних чинників, так і через антропогенну діяльність [44].

На сьогоднішній день ситуація у галузі землекористування Львівщини можна охарактеризувати як відносно стабільну. Це пояснюється наявністю значного антропогенного навантаження на земельні ресурси. Щоб запобігти критичним екологічним ситуаціям в області, необхідно приймати заходи, спрямовані на підвищення продуктивності землі, розробляти та впроваджувати протиерозійні комплексні заходи, а також вилучати з обробітку еродовані, засолені та заболочені землі [45].

У багатьох випадках вміст важких металів у ґрунтах є незначним і не має шкідливого впливу. Однак, концентрація цих металів у ґрунті може збільшуватись через викиди вихлопних газів транспортних засобів, внесення фосфорних добрив, використання пестицидів та інших агрохімікатів, внаслідок діяльності низки підприємств, які забруднюють атмосферне повітря, таких наприклад як Добротвірська ТЕС. Тому у ґрунтах нагромаджується велика кількість забруднювачів, зокрема важких металів, які через продукти харчування можуть потрапити в організм людини. Для оцінки екологічного стану ґрунтів щодо вмісту важких металів використовуються методи порівняння фактичного вмісту цих металів у ґрунті з такими показниками, як гранично допустима концентрація (ГДК) та геохімічний фон для конкретного типу ґрунту в окремому районі [25, 42, 46].

В ґрунтах Львівської області присутні важкі метали як розсіяні елементи, але збільшення їх підвищені концентрації пов'язані з такими причинами: хімічною промисловістю; кольоровою і чорною металургією; енергетикою; сільським господарством; спалюванням викопного палива; відходами; викидами автотранспорту [5, 10, 44].

1.2. Форми знаходження важких металів у ґрунтах

Ґрунти є природними накопичувачам важких металів у навколишньому середовищі і основним джерелом забруднення суміжних середовищ, включаючи вищі рослини. Переважна більшість важких металів, які потрапили на поверхню ґрунту, закріплюються у верхніх гумусових горизонтах. Надходження ВМ в агроекосистеми значно переважає винос, що створює загрозливу ситуацію [27].

Ступінь негативної дії ВМ на ґрунт залежить як від параметрів самого забруднення (особливостей міграції, інтенсивності надходження та форми сполуки, терміну експозиції, відстані від джерела емісії, опадів), так і від генетичних властивостей ґрунту, зокрема гранулометричного складу, вмісту органічних речовин, зокрема гумусу та інших макро- і мікро елементів, окислювально-відновних умов, біологічної активності [15].

Вміст кадмію у ґрунтоутворних породах на території України є вищим порівняно із сусідніми країнами. Ґрунти Лісостепу мають вищий валовий вміст Cd, який коливається у межах 1,3-2,2 мг/кг ґрунту. Як правило, за середнє значення валового вмісту Cd у ґрунтах цієї зони приймається значення 0,5 мг/кг, проте цей показник може істотно варіювати в залежності від умов ґрунтоутворення [25].

Важкі метали у ґрунті можуть знаходитись у шістьох компартментах (рис. 1.2). Елементи безперервно переходять з однієї форми в іншу у ґрунті, зменшуючи енергію їх утримання. Цей процес відбувається з різною швидкістю і триває до тих пір, поки вони не розчиняться у ґрунтовому розчині або не виділяться в атмосферу. Зовнішні чинники, такі як зміни рН, ступінь аерації, температура, гідратація та хімічне оточення, значно впливають на цей процес [3].

Виділяють чотири основні форми знаходження важких металів у ґрунті. Перша форма – нерозчинні сполуки, які утворюються в складі ґрунтових мінералів. Друга форма – обмінні сполуки, які перебувають у динамічній рівновазі з іонами цих металів у ґрунтовому розчині. Третя форма – рухомі сполуки, які вказують на доступність важких металів для кореневої системи

рослин. Четверта форма – розчинні сполуки, які можуть легко розчинитися у ґрунтовому розчині.



Рис. 1.2. Форми знаходження важких металів у ґрунті [3]

На практиці зазвичай у ґрунті визначають валові форми важких металів (тобто ті, що розчиняються у кислоті) та рухомі форми (визначаються за допомогою екстрагування амонійним ацетатом буферного розчину при рН 4,8). У той же самий ґрунт можуть присутні різні форми важких металів залежно від їх розчинності та рухливості [6].

Співвідношення між вмістом валових та рухомих форм важких металів у ґрунті залежать від декількох факторів, таких як реакція ґрунтового розчину, наявність органічної речовини, біологічний цикл елементів, процеси генезису ґрунту, а також гранулометричного складу ґрунту [7, 9]. Незалежно від рівнів вмісту валових і рухомих форм важких металів, спостерігається загальна тенденція для всіх типів ґрунтів. При зростанні валових запасів важких металів,

від дерново-підзолистих ґрунтів до чорноземів, спостерігається зменшення кількості цих металів у рухомих формах. Проте найбільш небезпечною є та кількість важких металів, яка знаходиться у рухомій та потенційно рухомій формі, що здатна переходити з твердої фази ґрунту у ґрунтовий розчин, оскільки саме вона визначає рівень небезпечності ВМ для ґрунтової біоти, рослин, тварин та в кінцевому результаті для людини [24].

Рухомість ВМ (здатність елемента переходити із твердих фаз ґрунту у розчини) у ґрунтах залежить від багатьох факторів, серед яких домінують хімічна природа самих металів та фізико-хімічні характеристики ґрунтів. Особливості поліюантів можна охарактеризувати величиною іонного потенціалу, який визначається відношенням заряду ядра до іонного радіусу, і згідно цього критерію, метали розподіляються за рухомістю наступним чином: $\text{Cu}^{1+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Hg}^{2+} > \text{Cd}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Ni}^{2+} > \text{Ni}^{3+} > \text{Co}^{3+} > \text{Pb}^{4+}$ [23].

За силою впливу на екстенсивну рухомість металів, показники стану ґрунтів можна розташувати у наступній послідовності: (Cd) рН > гумус > глинисті мінерали; (Pb) глинисті мінерали > гумус > рН [24].

1.3. Фітотоксичний вплив сполук кадмію

Фітотоксична дія ВМ на рослини залежить від властивостей і концентрації забруднювача в ґрунті, від самого ґрунту, а також від біологічних і фізіологічних особливостей самих рослин, які наділені властивостями бар'єрного і безбар'єрного типу накопичення забруднювачів. При високих концентраціях металів в ґрунті, рівні яких перевищують фонові в десятки, сотні і тисячі разів, у рослин з бар'єрним типом спостерігається насичення ними органів і тканин до певної концентрації. Такі рослини продовжують ріст і розвиток, а в деяких випадках вони забезпечують екологічно-безпечний урожай! У рослин безбар'єрного типу нагромадження ВМ при таких самих концентраціях припиняється ріст і вони гинуть. Власне, здатність рослинного організму переносити підвищені концентрації певних елементів у навколишньому

середовищі (толерантність до забруднення) визначено перш за все на генетичному рівні, внаслідок чого можна відрізнити видові, сортові та індивідуальні відміни за цією ознакою [3, 39].

Стійкість системи ґрунт-рослина до транслокації ВМ складається зі здатності ґрунту зменшувати їх концентрацію у ґрунтовому розчині та толерантності самих рослин. За фітотоксичністю ВМ розташовуються у такому порядку $Cd > Ni > Zn > Mn > Cu > Pb$. Можливі і інші варіанти: $Cu > Ni > Cd > Zn > Pb > Hg > Fe > Mo > Mn$; $Cd > Co > Cu > Zn > Pb > Hg$. Наприклад, столовий буряк, як найменш толерантна культура, в 1-5 ГДК інтенсивно накопичує рухомі форми Cd , Ni , Pb , Cr на темно-сірому опідзоленому ґрунті на відмінно від вівса, який більш стійкий [11].

До асимілюючих і провідних органів рослин також надходить неоднакова кількість забруднюючих речовин. Кадмій у більшій мірі накопичується у листі столових буряків, добре проникає до коренеплодів, редису і моркви, та значно слабше – до вегетативних і генеративних органів кукурудзи, гороху і ячменю. Нікель найбільше накопичується у вегетативних органах буряку і віки, а найменше – у аналогічних органах кукурудзи і ячменю. Найпомітніша різниця у накопиченні в асимілюючих та провідних органах рослин характерна для Pb , який затримується у коренеплодах моркви та буряку і корені гороху та ячменю [3, 12, 14].

Рослини здатні обмежувати надходження надлишкових іонів в надземні органи і особливо в органи відкладання асимілятів. Корінь є першим органом і біологічним бар'єром на шляху транспорту ВМ з ґранту в рослину. В корені відбувається значна частина процесів “первинного транспорту”. За більших рівнів забруднення інактивація токсикантів у ґрунтовому розчині стає неповною, і потік катіонів ВМ починає атакувати коріння в яке ВМ надходять в основному шляхом дифузії та пасивного трансферу [3, 4, 62].

Деякі іони ВМ у рослинах переводяться в неактивний стан ще до проникнення у коріння. Основна частина цих іонів затримується у кореневих тканинах шляхом їх хелатування кореневими виділеннями і адсорбції на

зовнішній поверхні коріння. Загальним закономірностям є розподіл ВМ у рослині таким чином, що найбільша кількість затримується у корінній системі, тоді як найменша кількість проникає до генеративних органів. Коріння рослин нагромаджують більше важких металів, аніж надземні їх органи. Проте є і винятки, де більш рухомі ВМ, такі як Cd, Hg і Cu можуть нагромаджуватися у надземних органах рослин, зокрема у насінні [8, 51].

Вченими встановлено [3, 7, 12], що за екотоксикологічним критерієм біокумуляції у системі “грунт-рослина” важкі метали можна розташувати в такий ряд: $Cd > Cu > Zn > Pb$, а також можливий інший порядок за ступенем рухомості у ґрунті: $Cd > Cu > Ni > Pb > Cr$. Виявлено, що вміст ВМ зменшується в ряду: підземна фіто маса > генеративна фітомаса (зерно) > вегетативна фітомаса. Серед зеленних культур найбільша кількість ВМ у всіх органах спостерігається у кропу, щавлю та салату, для яких характерний більш високий вміст ВМ у черешках, ніж в листових пластинах (табл. 1.3.)

Таблиця 1.3. – Розподіл сільськогосподарських культур за ступенем ризику забруднення продуктивної частини на ВМ

Група толерантності	Культури	Накопичення ВМ, відносно природного вмісту
1	Кріп, салат, гичка коренеплодів	більше за 3
2	Столовий буряк, морква, соя, квасоля, соняшник	≈2-3
3	Боби, горох, нут, кукурудза, овес, ячмінь, картопля, ріпчаста цибуля	несуттєве

При вищих нормах гранично допустимих концентраціях (ГДК) метали в овочах стають великою загрозою для життя людини. Допустима кількість ВМ, яку людина може вживати з продуктами харчування без ризику захворіти, залежить від виду металу: свинцю – 3 мг, кадмію – 0,3...0,5, ртуті – 0,3 мг в тиждень. Зокрема, на землях з близьким до гранично допустимого рівня техногенним навантаженням ВМ, ризик забруднення рослинної продукції буде збільшуватися у наступному порядку: боби, горох < овес, жито < ячмінь <

кукурудза < пшениця << капуста < баштанні < картопля < редис < турнепс < цибуля ріпчаста < морква < буряк << кабачки < огірки < томати << петрушка < кріп < цибуля зелена < шпинат < салат [3, 15].

1.4. Заходи з детоксикації забруднених ґрунтів важким металами

Детоксикація ґрунту – це система заходів, спрямована на створення у забрудненому ґрунті умов, що спричиняють послаблення або усунення дії токсичних речовин, зокрема важких металів, а також забезпечення умов для його самоочищення [95]. Заходи щодо зниження рухливості ВМ в ґрунті і зменшення їх нагромадження в рослинній продукції, повинні базуватися перш за все на обліку рівня забруднення території і фізико-хімічних властивостях ґрунтів, типу сільськогосподарського використання агроecosистеми, відповідному підбору культур, сівозміни та науково-обґрунтованій системі удобрення [7, 8].

Одним з можливих біологічних і природних шляхів очищення (відновлення) ґрунтів від надлишкових мас ВМ може бути фіторемедіація, тобто очищення ґрунтового покриву від забруднення шляхом вирощування рослин, що активно поглинають ВМ. Цей шлях є кращим, через використання біологічного кругообігу з повним виключенням механічних інженерно-меліоративних заходів та будь-якого хімічного впливу на ґрунт. Рослини-концентратори ВМ захищають нестійкі види від надлишку токсикантів і тим самим виконують в біоценозах протекторну функцію, що сприяє існуванню усієї рослинної спільноти [48].

Наприклад, дикорослі війник наземний (*Calamagrostis epigeios*), цикорій дикий (*Cichorium inthybys* L.), підмаренник (*Galium* sp.) та пасльон чорний і ярутка є концентраторами кадмію не лише з моно-, а й з полізабруднення (Cd + Pb + Cu + Zn) без істотного зниження врожайності і тому можуть бути ефективно використані для фітоочищення ґрунтів.

Серед біологічних прийомів детоксикації ґрунту необхідно виділити такі, як вирощування толерантних сортів і культур, що використовуються в якості кормів; вирощування культур тільки на насіння; вирощування на забруднених площах

технічних (ріпаку) і лісових культур; використання забруднених територій для розведення квітів тощо. Для запобігання одержанню забрудненої ВМ рослинницької продукції необхідно утримуватись від вирощування критичних щодо накопичення ВМ агрокультур, таких як кріп, салат, петрушка, цибуля на зелень, буряк, капуста, морква, кабачок, картопля [11, 15].

Хімічні методи детоксикації спрямовані на зв'язування рухомих форм VM^{2+} колоїдами (ацитоїдами) ґрунту з одночасним удобренням агрокультур. Для цього кислі ґрунти вапнують ($CaCO_3$), лужні гіпсують, сприяючи тим самим нормалізації ґрунтової кислотності до нейтрального значення. Вносять також мінеральні та органічні добрива, що компенсують виніс елементів з ґрунту, оптимізують стан ґрунтової системи і оптимально забезпечують рослини потрібними елементами живлення, посилюючи при цьому антагонізму мікро- та мікроелементів з ВМ. Також досить ефективно й економічно виправдано є використання природних та штучних сорбентів, глин і глинистих мінералів (цеоліти, вермикуліти, бентоніти тощо), особливо на ґрунтах легкого гранулометричного складу, що в цілому оптимізує стан ґрунтової екосистеми [10, 12, 16, 48].

Так, внесення органічних добрив таких як біопроферм, біогумус, біоактив, перегній, сидерати, подрібнена солома, різноманітні сапропелі і компости на їх основі – сприяє збільшення у ґрунті органічної речовини, що стимулює мікробіологічну і ферментативну активність, надходження легкодоступних елементів живлення, утворення гумусу. Адсорбція важких металів із гумусом відбувається за участі фульвокислот та гумінових кислот, а зокрема міцно зв'язаних з іонами металу гуматів [33, 34].

Вапнування ґрунту зменшує кислотність ґрунтового розчину до нейтрального, в якому суттєво знижується рухомість іонів ВМ, які осаджуються і закріплюються у більш стійкі нерозчинні карбонати. Кальцій сприяє утворенню структури ґрунту та коагуляції колоїдів. Крім того у нейтральному середовищі активується корисна мікрофлора (особливо нітрифікуючі бактерії), що прискорює розкладання органічних сполук і покращується засвоєння рослинами азоту [18, 20, 34].

Внесення концентрованого фізіологічно нейтрального мінерального добрива такого як нітроамофоска марки 16:16:16, або ж нового мінерального добрива з мікроелементами Нітроамофоски-М рівномірно забезпечує рослини необхідними біогенними елементами (NPK), покращує хімічні і фізичні властивості ґрунту. Калій і фосфор вступають в антагонізм з ВМ у рослинах. Зокрема K^+ підтримує тургор у клітинах (нормалізує водний баланс) і не дозволяє проникнення через клітинні мембрани руйнівним іонам ВМ. Фосфор, добре з'єднується із свинцем у важкорозчинні фосфати, що не дозволяє потраплянню вільним катіонам у рослини. З агроекологічної точки зору важливо вносити концентровані фізіологічно-нейтральні мінеральні добрива з мінімальним вмістом баластних речовин [17, 19, 33, 35].

Отже, науково-обґрунтоване та раціональне застосування композиції мінеральних і органічних добрив у поєднанні з вапнуванням для кожного типу ґрунту здатне забезпечити половину приросту доброякісного урожаю з мінімальними концентраціями важких металів в овочевих рослинах та компенсувати виніс поживних речовин з ґрунту і не допустити його подальшу деградацію [7, 47, 48].

2. ОБ'ЄКТ, УМОВИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Загальна характеристика ФГ «ЛІМ»

Свою діяльність ФГ «ЛІМ» проводить у Львівській області у Кам'янка-Бузькому районі на території 7 сільських рад. Фактична адреса: 80406, Львівська обл., Кам'янка-Бузький р-н, с. Товмач, вул. Шашкевича, 1а. Площа земель господарства – 1128 га. Господарство працює з 2000 року.

Земельний фонд розподілено приблизно: 600 га – зернові, по 350 га – кукурудза і ріпак, столовий буряк – 30 га, морква – 35 га, цибуля – 17 га, картопля – 20 га. Всі культури збирають механізовано.

У господарстві є сховище на 3000 т. Старі тваринницькі приміщення переобладнані на склад зернових. ФГ «ЛІМ» працює за сучасними технологіями та отримує добрі врожаї. Основний вид діяльності: Вирощування зернових культур (крім рису), бобових культур і насіння олійних культур.

Кількість працівників – 28 осіб. Банк землі: в оренді – 1128 га; в обробітку – 1052 га; площі, що плануються додатись в обробіток – 250 га орендованої землі.

У ФГ «ЛІМ» на темно-сірих ґрунтах в 2021-2022 рр. були закладені модельні дослід з вивчення рухомості кадмію та його здатності то транслокації в рослини буряка столового за використання різних систем удобрення та кальцієвих меліорантів. Проведені заходи з хімічної детоксикації ґрунту забрудненого важкими металами здійснювали в польових умовах.

2.2. Ґрунтово-кліматичні умови у роки проведення досліджень

На території Львівської області помірно континентальний, вологий клімат: м'яка з відлигами зима, волога весна, тепле літо, тепла суха осінь. Формується клімат під впливом радіаційних умов, циркуляції повітряних океанічних та континентальних повітряних мас. Перші з них поширюються у вигляді циклонів із Атлантичного океану; влітку вони зумовлюють хмарність, опади, зниження

температури повітря, взимку – снігопади. З цими повітряними масами пов'язані західні та південно-західні вітри. Суха і холодна погода в зимовий період спричинена дією східних антициклонів.

Такий клімат сприятливий для вирощування багатьох сільськогосподарських культур, зокрема буряка столового. Середньо багаторічна температура повітря становить $7,8^{\circ}\text{C}$. При цьому найнижча припадає на січень, в середньому за багато років вона складає $-4,2^{\circ}\text{C}$. Однак, в окремі роки морози можуть досягати до мінус 30°C .

Опадів у цій зоні випадає достатньо. Середньорічна кількість їх складає 613-822 мм, але може бути і більше. При цьому найбільше опадів припадає на червень і липень (83,6-88,3 мм), часто у вигляді злив, а найменше в січні – 35 мм, у вигляді снігу та дощу. Таким чином річна кількість опадів коливається від 600 мм на рівнині до 1000 мм в горах Карпатах [45].

Розміщення дослідної ділянки в значній мірі відрізняється від інших територій, що розміщені в господарстві. Значний вплив мають різні фактори: вітер, опади, температура, ґрунти, освітленість та інші.

На Львівщині пануючими вітрами є західні у зимовий період. Середня швидкість вітру за рік – 4-5 м/с. Вітри в основному сухі за характером, вони приносять континентальність повітряних мас. Це сприяє в окремі місяці до значного зниження температури.

Значний вплив на формування клімату мають значні підвищення території та вплив гір Карпат. Високі температури навесні і влітку приносять тропічне атмосферне повітря. Такі повітряні маси викликають теплу, хмарну погоду з туманами. Мороз до мінус 10- 30 $^{\circ}\text{C}$ спричиняє приплив у зимовий період континентального тропічного повітря, яке може принести собою холодну безхмарну погоду.

Весняне зростання температури проходить дуже поступово, що призводить до затримки підготовки ґрунту і висіву ранніх культур. В окремі роки (за даними Львівської метеостанції) в липні максимальна температура досягає більше $+30^{\circ}\text{C}$, а мінімальна в січні понижується нижче мінус 30°C .

За вегетаційний період сума активних температур вище $+5^{\circ}\text{C}$ становить $1500-1900^{\circ}\text{C}$, вище $+10^{\circ}\text{C}$ – $1300-1700^{\circ}\text{C}$. Довжина вегетаційного періоду з середньодобовою температурою вище $+5^{\circ}\text{C}$ буває 205-210 днів, вище $+10^{\circ}\text{C}$ – 150-165 днів.

Весняні приморозки припиняються в кінці квітня, бувають і в травні місяці, а осінні настають в першій декаді жовтня, листопаді – друга декада. Період без морозу триває 180 – 190 діб. Зима м'яка, спостерігаються відлиги, навіть падають дощі в кінці грудня. Тривалість зимового періоду з середньодобовою температурою повітря нижче 0°C становить 3-4 місяці. Середньомісячна температура найхолоднішого місяця – січня складає - мінус 5°C . Останніми роками спостерігається багато аномальних явищ погоди, які мають відхилення від багаторічних спостережень.

Сніговий покрив випадає з середини листопада і зберігається в окремі роки до початку квітня. Висота снігового покриву в середньому становить 10 - 28 см, часто розтоплюється, за підвищеної температури. За зиму випадає до 159 мм опадів. Більше половини річної кількості опадів (60%) випадає (весна-літо), за період з квітня по вересень. В окремі роки на протязом вегетаційного періоду спостерігається надлишкова зволоженість ґрунту. Відносна вологість повітря складає 70-80% [44].

Детальний опис агрометеорологічних умов, що склалися в 2021–2022 рр. подані в таблицях 2.1. та 2.2. Характеристика температурного режиму повітря за роки досліджень представлена у таблиці 2.1.

У 2021 році температурний режим був теплим, порівняно з 2022 роком досліджень. Так, середньомісячна температура за весняні місяці коливалася від $5,9^{\circ}\text{C}$ (квітень) до $12,7^{\circ}\text{C}$ (травень). В цілому літні місяці були добре забезпечені теплом для росту і розвитку рослин буряка столового.

Так, за температурним режимом червень та липень переважали багаторічні дані на $+2,1$ та $+3,4^{\circ}\text{C}$. Серпень наближалися до середніх багаторічних даних. У вересні температура повітря становила $+12,8^{\circ}\text{C}$, що нижче за багаторічні дані лише на $-0,8^{\circ}\text{C}$. Наступний місяць жовтень був також

забезпечений теплом. В цілому за температурними даними 2021 рік був сприятливий для росту і розвитку коренеплодів буряка столового.

Таблиця 2.1. – Температура повітря за роками досліджень, С°
(за даними Львівської метеорологічної станції)

Місяць	Роки		Відхилення від середньої багаторічної, роки		Середня багаторічна
	2021	2022	2021	2022	
Січень	-1,4	-0,8	+2,7	+3,0	-4,1
Лютий	-2,6	+2,1	+0,5	+4,4	-3,1
Березень	1,8	+4,3	+0,6	+2,9	1,2
Квітень	5,9	+6,3	-1,5	-1,8	7,4
Травень	12,7	+14,1	-1,0	+0,1	13,7
Червень	18,5	+19,4	+2,1	+2,5	16,4
Липень	21,7	+19,5	+3,4	+0,9	18,3
Серпень	17,3	+20,0	-0,1	+2,2	17,4
Вересень	12,8	+12,3	-0,8	-1,1	13,6
Жовтень	8,0	+10,8	-0,3	+2,4	8,3
Листопад	4,6	+0,3	+2,4	-2,4	2,2
Грудень	-1,8	-1,4	+1,2	+0,7	-2,1
Середньорічна	+8,1	+8,9	+0,4	+1,5	7,4

У 2022 році досліджень літні місяці були теплими та спекотними, і значно переважали за температурним режимом середні багаторічні дані. Так, з червня по серпень відзначали підвищення температури, яка коливалась від 19,5°C в червні до 20,0°C в липні. У вересні температура становила 12,3°C, проте вона була більша за середню багаторічну на +1,5°C. В цілому 2022 рік був досить

спекотним, особливо у період інтенсивного росту коренеплодів буряка столового, що позначилася на урожайності та якості продукції.

У 2021 році весною опадів випало нерівномірно, а відповідно спостерігали і нерівномірне забезпечення вологою. Так, у квітні місяці випало менше на 37,4 мм, за середньої багаторічної 49 мм. Травень місяць був перезволоженим, оскільки у цьому місці випало 164,2 мм, за середньої багаторічної норми – 68 мм, а це в свою чергу вплинуло на ріст та розвиток рослин буряка столового (табл. 2.2.).

Таблиця 2.2. – Кількість опадів за роками проведення досліджень, мм
(за даними Львівської метеорологічної станції)

Місяць	Роки		Відхилення від середньої багаторічної, роки		Середня багаторічна
	2021	2022	2021	2022	
Січень	49,9	65,7	+22,9	+38,7	27,0
Лютий	117,9	25,6	+87,3	-5,0	30,6
Березень	51,1	16,0	+15,9	-19,2	35,2
Квітень	38,6	68,6	-3,3	+26,7	41,9
Травень	50,8	20,6	-18,0	-48,2	68,8
Червень	94,4	43,6	+3,1	-47,7	91,3
Липень	47,1	93,6	+3,1	-2,2	96,5
Серпень	127,9	68,0	+50,7	-9,2	77,2
Вересень	97,3	135,8	+38,4	+76,9	58,9
Жовтень	6,7	15,8	-41,9	-32,8	48,6
Листопад	35,0	57,9	-6,0	+16,9	41,0
Грудень	65,1	48,4	+62,9	+16,2	32,2
Сума за рік	781,8	659,6	+132,5	+10,3	649,3

У літній період рослини буряка столового були не повністю забезпечені вологою, особливо в червні та липні. У серпні місяці випало 127,9 мм, що більше за середню багаторічну на 50,9 мм. У вересні та жовті рослини буряка столового були повністю забезпечені вологою, оскільки випало 97,3 та 6,0 мм, що більше за середню багаторічну на 38,4 та -41,9 мм. В цілому у 2021 році забезпеченість вологою рослин буряка столового була нерівномірною, що у певній мірі позначилося на урожайності та якості коренеплодів (табл. 2.2.).

У 2022 році досліджень весняний період був повністю забезпечений вологою, оскільки з квітня та травні випало від 68,6 та 20,6 мм. В червні випало 43,6 мм при середньо багаторічній 91,3 мм, тоді як у липні 93,6 мм при середній багаторічній 91,3 мм. Серпень та вересень місяць були повністю забезпечені вологою, що негативно вплинуло на ріст капусти кольрабі. Агrometeorологічні умови 2022 року досліджень були дещо гіршими за 2021 рік, що і вплинуло на зменшення маси коренеплодів буряка столового та погіршення їх товарності.

Так, у серпні випало 68,0 мм, тоді як у вересні 135,8 мм, що менше за середньо багаторічну на 9,2 мм, а у вересні більше на 38,4 мм. Жовтень місяць відзначався деяким дефіцитом вологи (15,8 мм), що нижче від середньої багаторічної на 32,8 мм.

Отже, за 2021 – 2022 роки досліджень можна констатувати, що агrometeorологічні умови були сприятливі для нормального росту та формування товарного врожаю коренеплодів буряка столового.

Ґрунти у господарстві сформувалися на лесах і лесоподібних суглинках, вапняках, глинах, алювіальних відкладах. Ці материнські породи на території з рівнинним рельєфом і лісостеповою рослинністю стали основою для формування різних типів ґрунтів. Найбільшу площу в області (близько 72 %) займають такі ґрунти: чорноземи, світло-сірі лісові, сірі лісові, темно-сірі.

У ФГ «ЛІМ» Вміст гумусу в орному шарі в різних типах ґрунтів змінюється від 2,1 % до 3,4 %. Середньозважений показник по області становить 3,13 %. Згідно даних агрохімічної паспортизації земель за вмістом легкогідролізованого азоту ґрунти Львівської області на 84,57 % низької та дуже низької

забезпеченості та 15,43% – середньої та підвищеної забезпеченості.

Формування ґрунтів тут відбувається при поєднанні двох процесів ґрунтоутворення: підзолистого і дернового. Тому, в залежності від інтенсивності прояву того чи іншого утворилися різні типи ґрунтів з характерними властивостями та природною родючістю [21].

Ґрунт дослідної ділянки, де закладалися досліди, темно-сірий опідзолений легкосуглинковий. За механічним складом ґрунти середньо-суглинкові з переважаючою фракцією пилу. Вміст гумусу коливається від 2,0 до 2,2%. Ґрунти слабокислі, їх кислотність дорівнює 5,5-6,0. Сума поглинутих основ низька і відповідно низький рівень насичення основами – 52-53%. Агрохімічна характеристика ґрунту наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. – Агрохімічна характеристика темно-сірого ґрунту дослідної ділянки

Роки	Глибина орного горизонту, см	Вміст гумусу, %	рН сольової витяжки	Вміст поживних речовин, мг/кг ґрунту		
				легко-гідролізований азот (N)	рухомий фосфор (P ₂ O ₅)	обмінний калій (K ₂ O)
2021	0-20	2,13	6,5	85	91	94
2022	0-20	2,22	6,4	83	89	93

У зв'язку з оглеєнням профілю та наявності ілювіального горизонту, а також важкого механічного складу ґрунтоутворюючих та підстилаючих порід, ці ґрунти мають погану природну тренованість та водоповітряний режим. Внаслідок високого вмісту колоїдної фракції ґрунти у вологому стані сильно розбухають, витискують повітря з капілярів, а тому мають погану аерацію. Крім того, через безструктурність і невисокий вміст гумусу нездатні накопичувати вологу і в посуху (навіть недовготривалу) рослини терплять від нестачі вологи.

Особливо у верхньому (0-15 см) горизонті ґрунту.

З рухомих поживних речовин ґрунти слабо забезпечені азотом, фосфором і досить добре калієм. Для успішного сільськогосподарського використання вище згаданих ґрунтів, потрібно насамперед поліпшити їх агрофізичні властивості. Для поліпшення аерації слід проводити глибоке розпушення і постійно тримати ґрунт у рихлому стані. Враховуючи, що дані ґрунти мають високу кислотність і досить високий вміст рухомого алюмінію, потрібно обов'язково проводити вапнування ґрунтів.

Отже, фізико-хімічні властивості даних ґрунтів в загальному придатні для вирощування буряка столового. За природною родючістю вони належать до кращих ґрунтів області. Для підвищення родючості даного типу ґрунту слід вносити органічні добрива, застосовувати сидеративні (зелені) добрива, у меншій мірі мінеральні добрива.

2.3. Закладання модельного дослідження в польових умовах

У ФГ "ЛІМ" протягом 2021-2022 років проводились дослідження з вивчення впливу рівнів забруднення ґрунту кадмієм на поведінку цього металу у системі "ґрунт-рослина" за використання меліорантів та різних систем удобрення.

У мікропольових модельних дослідженнях було досліджено вплив різних систем удобрення – органічної, мінеральної та органо-мінеральної, спільно з вапнуванням на рухомість іонів кадмію, зміни агрохімічних та мікробіологічних показників ґрунту, а також процеси транслокації та біоаккумуляції Cd^{2+} у рослини буряка столового. Досліджено вплив цих факторів на ростові процеси, урожайність та якість продукції при різних рівнях забруднення ґрунту кадмієм, які були змодельовані.

Польові та лабораторні дослідження проводили за такими методиками: «Методика дослідної справи в овочівництві та баштанництві» [1], «Методика моніторингу земель, що перебувають у кризовому стані» [52], «Детоксикація

важких металів у ґрунтовій системі» [7].

Об'єктом досліджень були процеси трансформації, акумуляції і транслокації іонів Cd^{2+} у системі «ґрунт-рослина» під впливом природних факторів, внесення добрив, застосування кальцієвих меліорантів, а також різних рівнів модельованого забруднення ґрунту цим токсичним металом.

Предметом досліджень було вивчення впливу екологічного стану темно-сірого ґрунту на урожайність та якість буряка столового (*Beta vulgaris* L.) в умовах різних рівнів модельованого забруднення ґрунту кадмієм при застосуванні добрив та кальцієвих меліорантів.

Модельні досліді були закладені у природних польових умовах. Для дослідження було обрано, як тест культуру буряк столовий (*Beta vulgaris* L.) – сорт Бона чеської селекції фірми Moravoseed. Сівбу проводили у II декаді травня на фоні внесених добрив і кальцієвих меліорантів в попередньо забруднений ґрунт солями кадмію відповідно до схеми досліді.

Як забруднювачі використали сіль $CdCl_2$, яку окремо вносили у вигляді водного розчину в ґрунт ще восени (III декада жовтня) перемішували з ґрунтом на глибину 0-25 см з врахуванням змодельованих рівнів забруднення 1; 5; 10 ГДК (валових форм). Пізніше, через 2 тижні – вносили кальцієвий меліорант $CaCO_3$ (вапнякове борошно) у нормі 4,5 т/га. Розраховували норми внесення для даного типу ґрунту і його агрохімічних показників за гідролітичною кислотністю (Нr). З урахуванням даних [52], що ГДК у ґрунті валових форм для Cd становить 3 мг/кг ґрунту. На фоні природному (контроль) розчин солі кадмію у ґрунт не вносили.

Було проведено розрахунок кількості внесених солей $CdCl_2$ на кожен мікроділянку досліді, використовуючи валову концентрацію кадмію у цих солях для заданого рівня модельованого забруднення. При цьому враховувалися об'єм ґрунту та його фізичну масу в орному (0-20 см) горизонті. [7]. Валова концентрація солей кадмію, які були внесені у ґрунт залежно від рівнів штучно змодельованого забруднення наведена в таблиці 2.3.

Весною (II-III д. березня) під передпосівну культивуацію вносили

мінеральне добриво Нітроамофоску-М, а також органічне добриво Біопроферм згідно зі схемою досліду.

Таблиця 2.4. – Концентрація солей кадмію внесена у ґрунт за змодельованих рівнях забруднення, мг/кг

Рівень забруднення ґрунту кадмієм	мг/кг ґрунту
*фон (контроль)	–
1 ГДК Cd ²⁺	3
5 ГДК Cd ²⁺	15
10 ГДК Cd ²⁺	30

Примітка: *на природному (контрольному) фоні солі кадмію водним розчином у ґрунт не вносили.

Детальна характеристика та склад органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів (дод. Б, В, Г).

У дослідах були враховані наступні фактори:

Фактор А – норми внесених різних добрив та кальцієвих меліорантів;

Фактор В – рівні забруднення ґрунту кадмієм.

Вся площа однієї мікроділянки – 6 м², облікова (2×1 м) – 2 м². Ширина захисної смуги – 1,5 м. Повторність досліду п'ятиразова, розміщення варіантів систематичне [1].

В рамках програми досліджень було заплановано створення модельного досліду. Вивчали вплив мінеральної (вар. 2), органічної (вар. 3) та органо-мінеральної (вар. 4) системи удобрення, а також їх застосування на фоні внесення кальцієвих меліорантів (вар. 5-7) за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм на: агрохімічні параметри ґрунту; рухомість Cd²⁺ у ґрунті; нагромадження йонів Cd²⁺ у різних органах рослини буряка столового; фітотоксичний вплив йонів Cd²⁺ на ростові процеси у період вегетації; урожайність і якість буряка столового; екологічну оцінку застосування добрив і меліорантів для детоксикації ґрунту забрудненого кадмієм.

Схема досліду за вирощування буряка столового передбачала варіанти:

- 1) Без добрив (контроль);
- 2) Нітроамофоска-М 400 кг/га;
- 3) Біопроферм 6,0 т/га;
- 4) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га;
- 5) Нітроамофоска-М 400 кг/га + CaCO_3 4,5 т/га;
- 6) Біопроферм 6,0 т/га + CaCO_3 4,5 т/га;
- 7) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + CaCO_3 4,5 т/га.

Змодельовані рівні забруднення ґрунту кадмієм 1; 5; 10 ГДК у валових формах. На контрольному фоні солі кадмію не вносили.

2.4. Методика проведення лабораторних досліджень

Лабораторні дослідження проводили в лабораторіях Державної установи Львівського обласного проектно-технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості. Відбір зразків ґрунту для агрохімічних аналізів здійснювали згідно з ДСТУ 4287:2004. Для вивчення агрохімічної характеристики орного горизонту зразки темно-сірого ґрунту відбирали до і після закладання досліду на глибину 0-20 см з перемішуванням середньої проби на всіх варіантах, в п'яти місцях по діагоналі мікроділянки. Відбір зразків ґрунту проводився буром БП 25-15 [38, 54].

Визначення вмісту гумусу в ґрунті проводили за методом Тюріна в модифікації ЦІНАО згідно з ДСТУ 4289:2004. Визначення показника рН у ґрунті проводили згідно ДСТУ ISO 10390:2007. Визначення гідролітичної кислотності ґрунту проводили за методом Каппена [43].

Визначення суми увібраних основ у відібраних зразках ґрунту проводили за методом Каппена - Гільковиця. Визначення вмісту у ґрунті лужногідролізованого азоту проводили за методом Корнфільда. Визначення в ґрунті рухомих сполук фосфору і калію проводили за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА [53].

Визначення концентрації кадмію у ґрунті проводили методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі марки Shimadzu AA-7000-104-00001 за загальноприйнятими і стандартизованими методиками [55].

У фазі технічної стиглості (ІІІ декада вересня), буряки столові були зібрані вручну та обліковані поділянково суцільно-ваговим методом. Коренеплоди зважували та сортували на стандартні і нестандартні відповідно до ДСТУ 7033:2009 [40]. Перерослі, пошкоджені механічно, загнилі, деформовані та дрібні коренеплоди, які не відповідали стандартам, були відкинуті (віднесені до нестандартних). Зібрані коренеплоди зважувалися з кожної мікроділянки та розраховували їх середню масу.

В лабораторних умовах проводили хімічні аналізи відібраних рослинних зразків буряка столового після їх збирання та обліковування урожаю.

Визначали концентрацію кадмію у рослинних зразках буряка столового методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі марки Shimadzu AA-7000 [55]. Після відбору рослин буряка столового зразки готували до лабораторних досліджень. Необроблену рослинну сировину піддавали сушці в сушильній шафі при температурі 105 °С до досягнення стабільної маси. Потім його подрібнювали і піддавали сухому спалюванню в муфельній печі при температурі 520 °С до перетворення на білий попіл. Згодом отримували зольний розчин. Вимірювали концентрацію кадмію в різних органах буряку столового, в тому числі в коренеплодах і гичці.

Для оцінки рівня небезпеки забруднюючого елемента (кадмію) використовувався коефіцієнт небезпеки (K_n), що відображає співвідношення між концентрацією забруднюючої речовини в ґрунті або рослинах та його максимально допустимою концентрацією, визначеною за формулою (2.1). За нормальних умов K_n повинен бути меншим або рівним одиниці:

$$K_n = \frac{C_i}{ГДК_i} \geq 1, \quad (2.1)$$

де: C_i – концентрація i -тої забруднюючої речовини, мг/кг;

$ГДК_i$ – гранично допустима концентрація i -тої забруднюючої речовини, мг/кг.

Для оцінки транслокації рухомих форм кадмію із ґрунту в рослини застосовували коефіцієнт біологічного накопичення ($K_{\text{бн}}$) за формулою (2.2):

$$K_{\text{бн}} = \frac{C_p}{C_2}, \quad (2.2)$$

де: C_p – концентрація у рослині забруднюючої речовини, мг/кг;
 C_2 – концентрація в ґрунті забруднюючої речовини, мг/кг [56].

У лабораторних умовах проводили визначення якісних біохімічних показників продукції буряка столового в свіжозібраних рослинних зразках за допомогою загальноприйнятих методів [41]. Суху речовину визначали термогравіметричним методом – висушуванням до постійної ваги, суму цукрів – за методом Бертрана (ДСТУ 4954:2008), аскорбінову кислоту (вітамін С) – за методом Муррі, вміст нітратів – іонометричним методом з використанням іоноселективних електродів на приладі I-160 МІ (ДСТУ 4948:2008) [56].

Статистичне опрацювання отриманих даних результатів експериментальних досліджень проводили з використанням методів варіаційної статистики [58], а також за допомогою пакету програм Statistica 6.0 та Microsoft Excel. Результати середніх значень вважали статистично вірогідними при $p < 0,05$ – *; $p < 0,01$ – **; $p < 0,001$ – ***.

Вирощування буряка столового виконувалося відповідно до рекомендацій, адаптованих до умов Західного Лісостепу України [36]. Посів столового буряка відбувався у відкрити ґрунт з міжряддям 45 см з розрахунку 11 – 12 шт насінин на 1 пог. метр у такі терміни: у 2021 році – 14 травня, а у 2022 році – 12 травня.

Попередниками були такі культури: у 2021 році – картопля, а у 2022 році – суниця садова. Густота рослин буряка столового становила приблизно 181 тисяч штук на гектар при використанні схеми розміщення 45 – 8×10 см. Після посіву поле коткували. Догляд за рослинами включав міжрядні обробітки ґрунту та три ручні прополки з проривкою. Інтегрований захист буряка столового від шкідників і хвороб здійснювався з урахуванням агрономічних порогів їх шкідливості.

3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

3.1. Вплив добрив та меліорантів та агрохімічні показники ґрунту за вирощування буряка столового

Результати експериментальних досліджень свідчать про те, що зміна агрохімічних показників ґрунту при вирощуванні буряка столового значно залежить від ґрунтово-кліматичних умов року, а також від використаних добрив і меліорантів. Проте загальні закономірності параметрів ґрунту в орному горизонті між варіантами за роки досліджень залишалися стабільними (табл. 3.1).

Дослідження показали, що внесенні добрив та меліорантів за культивування буряка столового спричинили збільшення доступних елементів живлення (N, P, K) за вірогідної різниці до контролю ($p < 0,05 - p < 0,01$). Зокрема, внесення повної норми органічних добрив Біопроферм у нормі 6 т/га призводило до високого вмісту доступних мінеральних елементів у ґрунті. Варіант з внесенням органо-мінеральної системи удобрень у нормі Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3 т/га показував дещо менший вміст лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, кальцію, магнію та сірки у ґрунті порівняно з варіантом 3.

Результати дослідження показують, що мінеральна система удобрення (варіанти 2 та 5) виявилася менш ефективною в збагаченні ґрунту доступними елементами живлення порівняно з органічною (варіанти 3 та 6) та орано-мінеральною (варіанти 4 та 7) системами.

Використання такого важливого заходу детоксикації як вапнування в цілому покращало ефективність добрив і збільшувало вміст в ґрунті азоту (N), фосфору (P), калію (K), кальцію (Ca), магнію (Mg) і сірки (S), що сприяло здоровому росту та розвитку рослин буряка столового. Найнижчий рівень біофільних елементів живлення в ґрунті був зафіксований на контрольному варіанті без використання добрив.

Таблиця 3.1. – Вплив добрив та меліорантів на агрохімічні показники темно-сірого ґрунту за вирощування буряка столового (середнє за 2021-2022 рр.)

Варіант	Лужно-гідролізований азот, (N) мг/кг	Рухомий фосфор (P ₂ O ₅), мг/кг	Обмінний калій (K ₂ O), мг/кг	Кальцій (Ca), мг-екв/100 г	Магній (Mg), мг-екв/100 г	Рухома сірка (S-SO ₄ ²⁻), мг/кг	Вміст гумусу, %	рН сольове	Гідролітична кислотність (Нг), мг-екв/100 г	Сума ввібраних основ (S), мг-екв/100 г	Ємність катіонного обміну (Т), мг-екв/100 г	Ступінь насичення ґрунту основами (V), %
1) Без добрив (контроль)	116	97	82	4,66	0,54	2,14	2,21	5,57	3,54	11,5	15,04	76,5
2) Нітроамофоска-М 400 кг/га	133*	115*	102*	4,65	0,52	2,13	2,22	5,60	3,57	11,8	15,37	76,8
3) Біопроферм 6,0 т/га	155**	127**	113**	4,90	0,57	2,23	2,32	5,76	3,42	13,9*	17,32*	80,3
4) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га	146**	121*	110**	4,76	0,53	2,18	2,27	5,67	3,50	12,7*	16,27*	78,1
5) Нітроамофоска-М 400 кг/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	139*	118*	106*	6,52**	0,61*	2,29	2,23	6,25*	3,20*	24,5**	27,70**	88,4*
6) Біопроферм 6,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	158**	134**	123**	6,93**	0,68*	2,48*	2,39*	6,74*	2,63*	29,3***	31,93**	91,8*
7) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	150**	129**	115**	6,75**	0,65*	2,36	2,30	6,42*	3,12*	26,0***	29,12**	89,3*

Примітка: * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$; різниця вірогідна у значеннях показників порівняно з контролем.

В результаті дослідження було встановлено, що найвищий вміст у ґрунті гумусу (2,39%) спостерігався при внесенні повної норми органічного добрива на фоні вапнування в нормі Біопроферм 6,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га. Внесення органічного добрива Біопроферм у кількості 6 т/га також сприяло нагромадженню гумусу, хоча з меншою динамікою (2,32%), зі статистично достовірною різницею порівняно з контрольним варіантом ($p < 0,05$). На контролі (без добрив) вміст гумусу був найнижчим (2,21%). Отже, органічні добрива Біопроферм, особливо в поєднанні з кальцієвими меліорантами, мали найбільший вплив на нагромадження гумусу в темно-сірому ґрунті, тоді як міндобрива істотного впливу не мали на цей показник.

Аналізуючи таблицю 3.1, можна зробити висновок на 5, 6 і 7 варіантах дослідження за використання кальцієвих меліорантів в нормі 4,5 т/га кислотно-основні та буферні показники ґрунту (рН_{сол}, Нr, S, T, V) за вирощування буряка столового мали істотні зміни за вірогідної різниці до контролю – без добрив ($p < 0,05$ – $p < 0,01$). Так, наприклад, внесення 6 т/га органічного добрива Біопроферм разом з вапнуванням ґрунту призвело до значення рН сольової витяжки на рівні 6,74 зі статистично значимою різницею в порівнянні з контролем ($p < 0,05$). В цьому ж варіанті також спостерігалось значне зниження гідролітичної кислотності ґрунту до 2,63 мг-екв/100 г в порівнянні з контрольним варіантом ($p < 0,05$).

На підставі проведених агрохімічних аналізів ґрунту було встановлено, що внесення кальцієвих меліорантів (варіанти 5-7) значно підвищувалась сума ввібраних основ в ґрунті (24,5–29,3 мг-екв/100 г) за різниці вірогідної у значеннях показників порівняно з контролем ($p < 0,01$ – $p < 0,001$).

Важливо підкреслити, що найвищий рівень насиченості ґрунту основами – 91,8% та 89,3% ($p < 0,05$) – спостерігався за внесення органічної та органо-мінеральної системи удобрень разом з вапнуванням ґрунту на 6 та 7 варіантах дослідження. У цих варіантах дослідження також відзначали зростання ємності катіонного обміну темно-сірого ґрунту з 29,1 до 31,9 мг-екв/100 г. В цілому добрива та меліоранти мали суттєвий вплив на ґрунтово-вбирний комплекс.

3.2. Концентрація валових та рухомих форм кадмію у ґрунті залежно від застосування добрив та проведених заходів вапнування за вирощування буряка столового

На основі результатів польових та лабораторних досліджень встановлено, що на рухомість іонів Cd^{2+} у ґрунті при вирощуванні столових буряків впливали різні чинники, зокрема ґрунтово-кліматичні умови конкретного року, норми внесення органічних і мінеральних добрив, вапнування ґрунту, рівні штучно змодельованого забруднення ґрунту солями кадмію.

Дослідженнями встановлено, що із підвищенням рівнів імітованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК (валових форм) спричинило підвищення концентрацій рухомих форм кадмію в ґрунті у усіх варіантах модельного дослідження. Проте рухомість іонів кадмію в ґрунті залишалася незмінною на різних варіантів та всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту. На таку тенденцію зміни рухомості іонів кадмію у ґрунті значною мірою впливали добрива та кальцієві меліоранти, які застосовували у різних нормах та комбінаціях (рис. 3.1).

Відзначимо, що використання органічних та мінеральних добрив на фоні вапнування призвело до зниження рухомості кадмію у ґрунті на всіх рівнях змодельованого забруднення цим елементом на 16–49% в порівнянні з контрольним варіантом. Однак, виявлено, що вплив добрив і меліорантів на рухомість кадмію у ґрунті при вирощуванні буряка столового проявлявся неоднаково у різних варіантах дослідження (табл. 3.2.)

Отримані результати досліджень свідчать про те, що спільне застосування органічних і мінеральних добрив у половину норми, таких як Нітроамофоска-М (200 кг/га) + Біопроферм (3,0 т/га) варіант 4, було більш ефективним у закріпленні мінеральними та органічними агрегатами ґрунту рухомих форм Cd^{2+} , ніж лише внесення повної норми мінерального добрива Нітроамофоска-М (400 кг/га) варіант 2. Однак, за використання повної норми органічного добрива Біопроферм 6 т/га варіант 3, рухомі фракції Cd^{2+} були ще міцніше закріплені

грунтовим комплексом, порівняно зі згаданими вище варіантами. Проте, при внесенні тих самих норм добрив на фоні кальцієвих меліорантів в нормі CaCO_3 4,5 т/га (варіанти 5-7), спостерігали найменші концентрації рухомих фракцій Cd^{2+} у ґрунті, порівняно з іншими варіантами дослідження на всіх змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм.

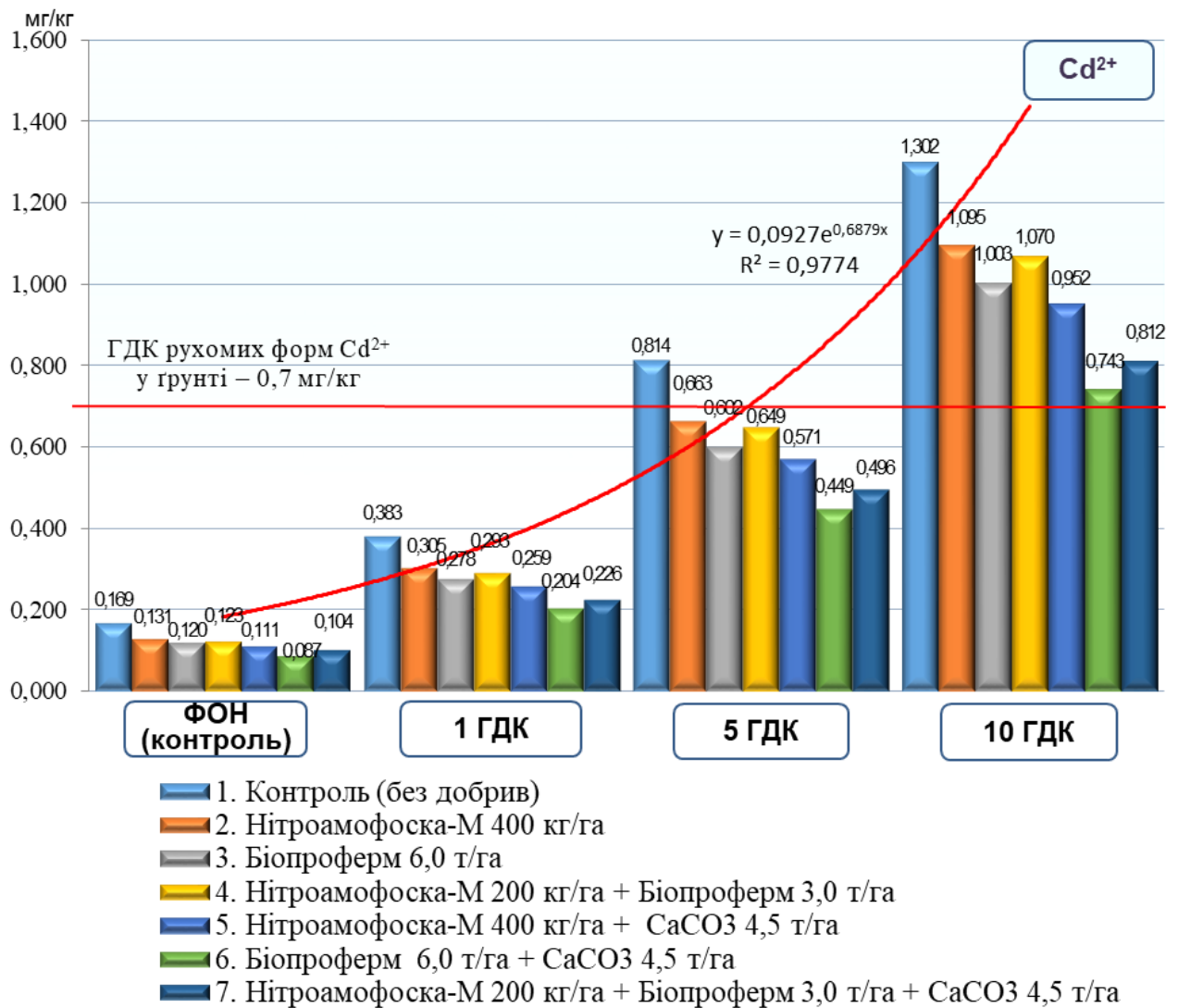


Рис. 3.1. – Концентрацію рухомих форм кадмію у ґрунті залежно від застосування добрив і меліорантів при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового, мг/кг сухого ґрунту (середнє за 2021–2022 рр.)

Примітки: 1. + – $p < 0,05$; ++ – $p < 0,01$; +++ – $p < 0,001$, різниця вірогідна між показниками на фоні до контрольного варіанту – без добрив; 2. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$, різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм порівняно з фоном.

Привертає увагу той факт, що при внесенні добрив і меліорантів спостерігалась загальна тенденція: зі зменшенням рухомості ВМ (перехід елемента із валової форми у рухому), відповідно зменшувалась концентрація його рухомих фракцій Cd^{2+} у ґрунті, однак збільшувалась концентрація валових форм. В цілому, добрива та меліоранти знижували рухомість іонів кадмію у ґрунті на всіх змодельованих рівнях забруднення (табл. 3.2.).

Дані таблиці 3.2 вказують на те, що на контрольному фоні за використання добрив та меліорантів в нормі Біопроферм 6,0 т/га + CaCO_3 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + CaCO_3 4,5 т/га, відзначали мінімальну концентрацію рухомих фракцій Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті (0,087 та 0,104 мг/кг). Також у цих варіантах було зафіксовано найменший перехід металу з валової форми у рухому (7,82 та 10,30%) і найнижчий коефіцієнт небезпеки (0,12 та 0,15) за вірогідної різниці до контрольного варіанту (без внесення удобрення) $p < 0,01$.

Також було встановлено, що найвищу концентрацію рухомих фракцій Cd^{2+} у ґрунті (0,169 мг/кг сухого ґрунту) спостерігали на варіанті без добрив (контроль) при коефіцієнті небезпеки 0,25. Аналіз отриманих результатів свідчить про те, що застосування такого методу як вапнування ґрунту за гідролітичною кислотністю (вар. 5-7) призвело до зниження концентрації рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті на всіх рівнях забруднення на 36,9 – 49,2% порівняно з контролем (без добрив). За збільшення рівнів забруднення ґрунту кадмієм у рамках проведеного досліджу, спостерігалось динамічне збільшення концентрації рухомих форм Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті, а також і його валових фракцій на всіх варіантах. Крім того, зростав також перехід елемента з валової форми фіксації у ґрунті у розчинну рухому.

Встановлено, що на контрольному фоні (варіанті без добрив), відзначали найвищий рівень переходу кадмію з валової форми у мобільну (25,01%). При збільшенні рівнів модельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК на вар. 1, спостерігався зріст переходу елемента між фракціями валової та рухомої форм у діапазоні від 26,93% до 41,72%.

Таблиця 3.2. – Концентрація валових і рухомих форм кадмію у ґрунті залежно від внесених добрив і меліораторів при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового (середнє за 2021-2022 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd ²⁺)								
				1 ГДК			5 ГДК			10 ГДК		
	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K _н) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K _н) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K _н) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K _н) рухомих форм
1) Без добрив (контроль)	$\frac{0,169}{0,680}$	25,01	0,25	$\frac{0,383^{**}}{1,410^{**}}$	26,93	0,55	$\frac{0,814^{***}}{2,700^{***}}$	30,14	1,16	$\frac{1,302^{***}}{3,200^{***}}$	41,72	1,86
2) Нітроамофоска-М 400 кг/га	$\frac{0,131^{+}}{0,730}$	17,89	0,19	$\frac{0,305^{**}}{1,430^{**}}$	21,32	0,44	$\frac{0,663^{***}}{2,740^{***}}$	24,15	0,95	$\frac{1,095^{***}}{3,210^{***}}$	34,11	1,54
3) Біоферм 6,0 т/га	$\frac{0,120^{+}}{0,880^{+}}$	13,62	0,17	$\frac{0,278^{**}}{1,540^{**}}$	18,07	0,39	$\frac{0,602^{***}}{2,830^{***}}$	21,27	0,86	$\frac{1,003^{***}}{3,690^{***}}$	27,18	1,42
4) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біоферм 3,0 т/га	$\frac{0,123^{+}}{0,810^{+}}$	15,21	0,18	$\frac{0,293^{**}}{1,460^{**}}$	20,06	0,42	$\frac{0,649^{***}}{2,802^{***}}$	23,19	0,93	$\frac{1,070^{***}}{3,340^{***}}$	32,04	1,53
5) Нітроамофоска-М 400 кг/га + CaCO ₃ 4,5 т/га	$\frac{0,111^{++}}{0,960^{++}}$	11,52	0,16	$\frac{0,259^{**}}{1,620^{**}}$	15,96	0,37	$\frac{0,571^{***}}{3,090^{***}}$	18,47	0,82	$\frac{0,952^{***}}{3,720^{***}}$	25,64	1,39
6) Біоферм 6,0 т/га + CaCO ₃ 4,5 т/га	$\frac{0,087^{++}}{1,120^{++}}$	7,82	0,12	$\frac{0,204^{**}}{1,890^{**}}$	10,82	0,29	$\frac{0,449^{***}}{3,310^{***}}$	13,56	0,64	$\frac{0,743^{***}}{4,400^{***}}$	16,88	1,05
7) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біоферм 3,0 т/га + CaCO ₃ 4,5 т/га	$\frac{0,104^{++}}{1,010^{++}}$	10,30	0,15	$\frac{0,226^{**}}{1,750^{**}}$	12,92	0,32	$\frac{0,496^{***}}{3,200^{***}}$	15,51	0,71	$\frac{0,812^{***}}{4,160^{***}}$	19,53	1,16

Примітки: 1. Чисельник – концентрація рухомих форм Cd²⁺, знаменник – концентрація валових форм Cd; 2. ⁺ – $p < 0,05$; ⁺⁺ – $p < 0,01$, ⁺⁺⁺ – $p < 0,001$, різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – без добрив; 3. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$, різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм порівняно з фоном.

На змодельованому рівні забруднення темно-сірого ґрунту кадмієм 1 ГДК за використання добрив у нормі Біопроферм 6 т/га (вар. 3) та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3 т/га (вар. 4) було встановлено концентрацію рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті відповідно на рівні 0,27 та 0,29 мг/кг, що нижче, ніж в контрольному варіанті (без добрив) на 23,5 та 27,4%. Потрібно зазначити, що перехід елемента з валової фракції у рухому складав 18,0 та 20,0%, а коефіцієнт небезпеки при цьому становив 0,39 та 0,42 (табл. 3.2).

У дослідженнях з детоксикації ґрунту забрудненого кадмієм у 2 варіанті досліду використовували мінеральне добриво Нітроамофоска-М у нормі 400 кг/га, яке виявилось менш ефективним у зменшенні рухомості іонів кадмію у ґрунті, порівняно з 3 та 4 варіантами досліду. Однак, за сумісного застосування добрив і кальцієвих меліорантів у нормі Біопроферм 6,0 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га, концентрація рухомих фракцій Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті була найменшою на цьому рівні забруднення, порівняно з іншими варіантами досліду, і становила відповідно 0,204 та 0,226 мг/кг сухого ґрунту при коефіцієнті небезпеки 0,29 та 0,32.

Для вивчення рухомості кадмію у ґрунті та запропонованих заходів з хімічної детоксикації, що базуються на внесенні добрив та меліорантів у різних співвідношеннях, було проведено штучно змодельоване забруднення ґрунту 10 ГДК (валових форм). Зазначимо, що на цьому рівні забруднення спостерігали подібну тенденцію рухомості іонів кадмію у всіх варіантах до попередніх рівнів забруднення.

Експериментальні дослідження показали, що при рівні забруднення кадмієм 10 ГДК при застосуванні добрив і меліорантів у нормі Біопроферм 6 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га концентрація рухомих фракцій Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті була мінімальною та становила відповідно 0,743 та 0,812 мг/кг сухого ґрунту. В порівнянні з контрольним варіантом (без добрив), концентрація іонів кадмію знизилася на 0,55 та 0,49 мг/кг сухого ґрунту, або на 42 та 37% за вірогідної різниці до фону $p < 0,001$.

За використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту на цьому ж рівні забруднення спостерігали також найменший перехід елемента з валових фракцій у рухомі (16,88 та 19,53%), а також і найнижчий K_n (1,05 та 1,16). В той час, як застосування у 5 варіанті повної норми мінерального добрива в нормі Нітроамофоска-М 400 кг/га + CaCO_3 4,5 т/га концентрація рухомих фракцій кадмію у темно-сірому ґрунті становила 0,952 мг/кг сухого ґрунту, а перехід з валових фракцій у рухомі становив 25,64%, при коефіцієнті небезпеки 1,39.

Отже, можна зробити висновок, що тільки на рівні змодельованого забруднення ґрунту 10 ГДК за вирощування буряка столового відзначали перевищення гранично допустимої концентрації рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті у всіх варіантах модельного мікро польового дослідження. Беручи до уваги отримані результати досліджень слід сказати, що перехід кадмію з валових фракцій у рухомі на всіх рівнях змодельованого забруднення темно-сірого ґрунту різнився у кожному з варіантів. Також зазначимо, що у контрольному варіанті (без добрив) була визначена найвища концентрація рухомих форм кадмію у ґрунті.

3.3. Нагромадження кадмію в рослинах буряка столового залежно від застосування добрив та меліорантів

Програма досліджень була спрямована на вивчення нагромадження та перерозподілу іонів Cd^{2+} у різних органах рослини буряка столового при різних рівнях забруднення ґрунту кадмієм за використання у якості детоксикантів органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів.

Дослідженнями встановлено, що на природному фоні, який було взято за абсолютний контроль, розподіл іонів кадмію у рослинах *Beta vulgaris* L. проходив не однаково. Так, найбільше кадмій накопичувався у підземній частині коренеплоді (борозенці) – 0,337 мг/кг маси сирої речовини. У шкірці самого коренеплоду концентрація іонів Cd була на рівні 0,061 мг/кг тоді як у м'якуші коренеплоду буряка – 0,027 мг/кг. Зазначимо, що в серцевині коренеплоду

буряка столового визначили дещо нижчу концентрацію кадмію 0,013 мг/кг маси сирі речовини.

Підвищені рівні кадмію (0,045 мг/кг) було виявлено у черешках листя столових буряків. Найвища концентрація кадмію у надземних органах буряка столового виявлена у листковій листкових пластинах – 0,093 мг/кг маси сирі речовини. Особливу увагу привертає той факт, що у листкових пластинах концентрація іонів кадмію була більша майже в 3,42 рази, порівняно з м'якушем коренеплоду столового буряка.

Як свідчать результати досліджень, на рівні змодельованого забрудненням ґрунту кадмієм 10 ГДК концентрація полютанта в коренеплоді становила 0,098 мг/кг, тоді як у гичці буряка столового вона була на рівні 0,405 мг/кг маси сирі речовини, що майже в 4,13 рази більше (рис. 3.2.).

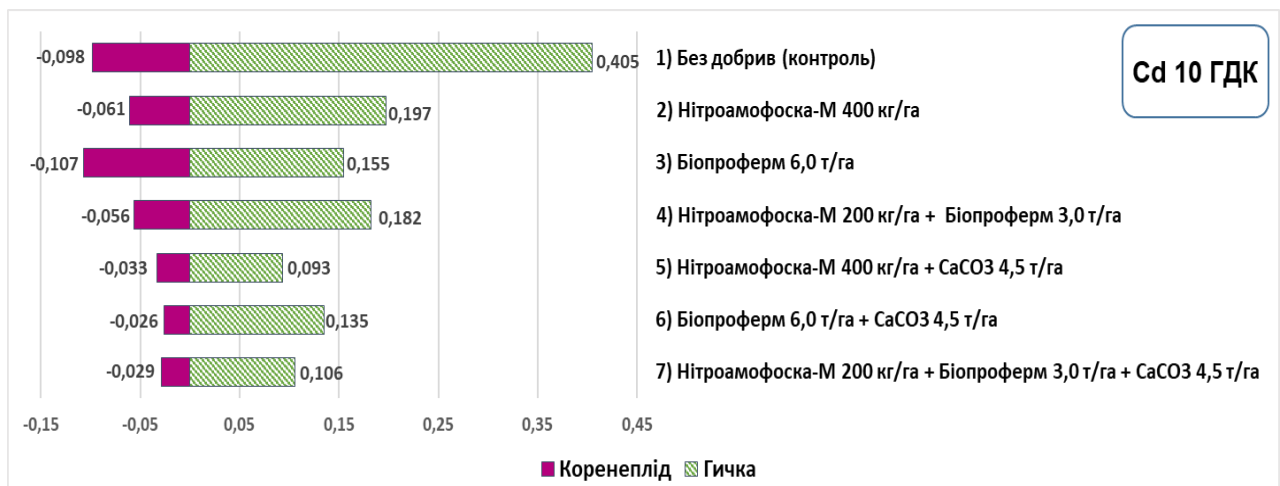


Рис. 3.2. – Нагромадження та розподіл кадмію в рослинах буряка столового при змодельованому рівні забруднення ґрунту 10 ГДК за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирі речовини (середнє за 2021-2022 рр.)

Дослідженнями встановлено, що концентрація рухомих фракцій Cd^{2+} збільшувалася у темно-сірому ґрунті у всіх варіантах досліду із збільшенням рівнів штучно змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК, що позначилось відповідно на посиленому накопиченні йонів Cd^{2+} у рослинах буряка столового (табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Концентрація кадмію в рослинах буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (середнє за 2021-2022 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd ²⁺)								
				1 ГДК			5 ГДК			10 ГДК		
	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>
1) Без добрив (контроль)	<u>0,096</u>	<u>3,20</u>	<u>0,568</u>	<u>0,108</u>	<u>3,60</u>	<u>0,282</u>	<u>0,189</u>	<u>6,30</u>	<u>0,232</u>	<u>0,405</u>	<u>13,50</u>	<u>0,311</u>
	<u>0,027</u>	<u>0,90</u>	<u>0,160</u>	<u>0,038</u>	<u>1,27</u>	<u>0,099</u>	<u>0,062</u>	<u>2,07</u>	<u>0,076</u>	<u>0,098</u>	<u>3,25</u>	<u>0,075</u>
	0,169 [#]			0,383			0,814			1,302		
2) Нітроамфоска-М 400 кг/га	<u>0,071**</u>	<u>2,37</u>	<u>0,544</u>	<u>0,086*</u>	<u>2,87</u>	<u>0,282</u>	<u>0,145**</u>	<u>4,83</u>	<u>0,219</u>	<u>0,197**</u>	<u>6,57</u>	<u>0,180</u>
	<u>0,019*</u>	<u>0,63</u>	<u>0,145</u>	<u>0,023**</u>	<u>0,77</u>	<u>0,075</u>	<u>0,033**</u>	<u>1,10</u>	<u>0,050</u>	<u>0,061**</u>	<u>2,03</u>	<u>0,056</u>
	0,131			0,305			0,663			1,095		
3) Біопроферм 6,0 т/га	<u>0,045**</u>	<u>1,50</u>	<u>0,375</u>	<u>0,075**</u>	<u>2,50</u>	<u>0,270</u>	<u>0,103**</u>	<u>3,43</u>	<u>0,171</u>	<u>0,155**</u>	<u>5,17</u>	<u>0,154</u>
	<u>0,014**</u>	<u>0,47</u>	<u>0,117</u>	<u>0,019**</u>	<u>0,63</u>	<u>0,068</u>	<u>0,027**</u>	<u>0,90</u>	<u>0,045</u>	<u>0,046**</u>	<u>1,50</u>	<u>0,045</u>
	0,120			0,278			0,602			1,003		
4) Нітроамфоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га	<u>0,054**</u>	<u>1,80</u>	<u>0,439</u>	<u>0,081*</u>	<u>2,70</u>	<u>0,277</u>	<u>0,114**</u>	<u>3,80</u>	<u>0,176</u>	<u>0,182**</u>	<u>6,07</u>	<u>0,170</u>
	<u>0,016**</u>	<u>0,53</u>	<u>0,130</u>	<u>0,022**</u>	<u>0,71</u>	<u>0,072</u>	<u>0,029**</u>	<u>0,97</u>	<u>0,045</u>	<u>0,056**</u>	<u>1,88</u>	<u>0,052</u>
	0,123			0,293			0,649			1,070		
5) Нітроамфоска-М 400 кг/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	<u>0,041**</u>	<u>1,37</u>	<u>0,371</u>	<u>0,064**</u>	<u>2,13</u>	<u>0,248</u>	<u>0,097**</u>	<u>3,23</u>	<u>0,170</u>	<u>0,119***</u>	<u>3,97</u>	<u>0,125</u>
	<u>0,012**</u>	<u>0,40</u>	<u>0,109</u>	<u>0,017**</u>	<u>0,57</u>	<u>0,066</u>	<u>0,025***</u>	<u>0,83</u>	<u>0,044</u>	<u>0,033***</u>	<u>1,10</u>	<u>0,035</u>
	0,111			0,259			0,571			0,952		
6) Біопроферм 6,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	<u>0,029**</u>	<u>0,97</u>	<u>0,332</u>	<u>0,043***</u>	<u>1,43</u>	<u>0,210</u>	<u>0,076***</u>	<u>2,53</u>	<u>0,169</u>	<u>0,093***</u>	<u>3,10</u>	<u>0,125</u>
	<u>0,006***</u>	<u>0,20</u>	<u>0,069</u>	<u>0,010***</u>	<u>0,33</u>	<u>0,049</u>	<u>0,018***</u>	<u>0,60</u>	<u>0,040</u>	<u>0,026***</u>	<u>0,87</u>	<u>0,035</u>
	0,087			0,204			0,449			0,743		
7) Нітроамфоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	<u>0,034**</u>	<u>1,13</u>	<u>0,327</u>	<u>0,059**</u>	<u>1,97</u>	<u>0,261</u>	<u>0,083***</u>	<u>2,77</u>	<u>0,167</u>	<u>0,106***</u>	<u>3,53</u>	<u>0,130</u>
	<u>0,010***</u>	<u>0,33</u>	<u>0,096</u>	<u>0,014***</u>	<u>0,47</u>	<u>0,062</u>	<u>0,021***</u>	<u>0,70</u>	<u>0,042</u>	<u>0,029***</u>	<u>0,97</u>	<u>0,036</u>
	0,104			0,226			0,496			0,812		

Примітки: 1. Чисельник – концентрація Cd у гичці, знаменник – концентрація Cd у коренеплоді; 2. [#] – концентрація рухомих форм Cd²⁺ у ґрунті, мг/кг; 3. * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$, різниця вірогідна до контролю (без добрив); 4. *К.н.* – коефіцієнт небезпеки, *К.б.н.* – коефіцієнт біологічного поглинання, ГДК Cd в овочах – 0,03 мг/кг маси сирової речовини.

Проте, застосування добрива та кальцієвих меліорантів мало великий вплив на рухомість Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті, що відобразилося також на процесах транслокації іонів кадмію в рослини буряка столового (табл. 3.3).

Отримані результати досліджень підтверджують, що на рівні штучно змодельованого забруднення темно-сірого ґрунту солями кадмію 5 ГДК (валових форм) концентрація кадмію у коренеплодах значно перевищувала гранично допустиму концентрацію на контролі (без застосування добрив) при коефіцієнті небезпеки 6,30. На цьому рівні змодельованого забруднення найменшу концентрацію йонів Cd^{2+} у коренеплодах буряка столового (0,076 та 0,083 мг/кг маси сирі речовини) спостерігали при застосуванні Біопроферм 6,0 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + $CaCO_3$ 4,5 т/га за вірогідної різниці до контрольного варіанту $p < 0,001$. У вищезгаданих варіантах дослідження коефіцієнти небезпеки становили відповідно 2,53 та 2,77 при коефіцієнтах біологічного поглинання 0,169 та 0,167.

Встановлено, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту кадмієм 10 ГДК найменша концентрація металу нагромаджувалась у коренеплодах буряка столового на 6 та 7 варіантах дослідження, відповідно 0,026 та 0,029 мг/кг сирі маси, що майже відповідало ГДК. Проте у листках концентрація кадмію на цих варіантах перевищувала ГДК і становила 0,093 та 0,106 мг/кг при коефіцієнті небезпеки 3,10 та 3,53, за коефіцієнта біологічного поглинання 0,125 та 0,130.

У дослідженнях застосовували кореляційний аналіз для кращого розуміння рухомості кадмію у темно-сірому ґрунті та його здатності до транслокації у рослини буряка столового. На основі результатів проведеного кореляційного аналізу було виявлено сильну кореляційну залежність ($r = 0,97$, при коефіцієнті детермінації $R = 0,98$) між концентрацією рухомих форм Cd^{2+} у темно-сірому ґрунті та накопичення цього елемента в рослинах *Beta vulgaris* L. за змодельованого рівня забруднення ґрунту 10 ГДК (рис. 3.4). З цього можна зробити висновок, що буряк столовий не має виражених бар'єрних властивостей на шляху транслокації іонів Cd^{2+} з ґрунту в рослини.

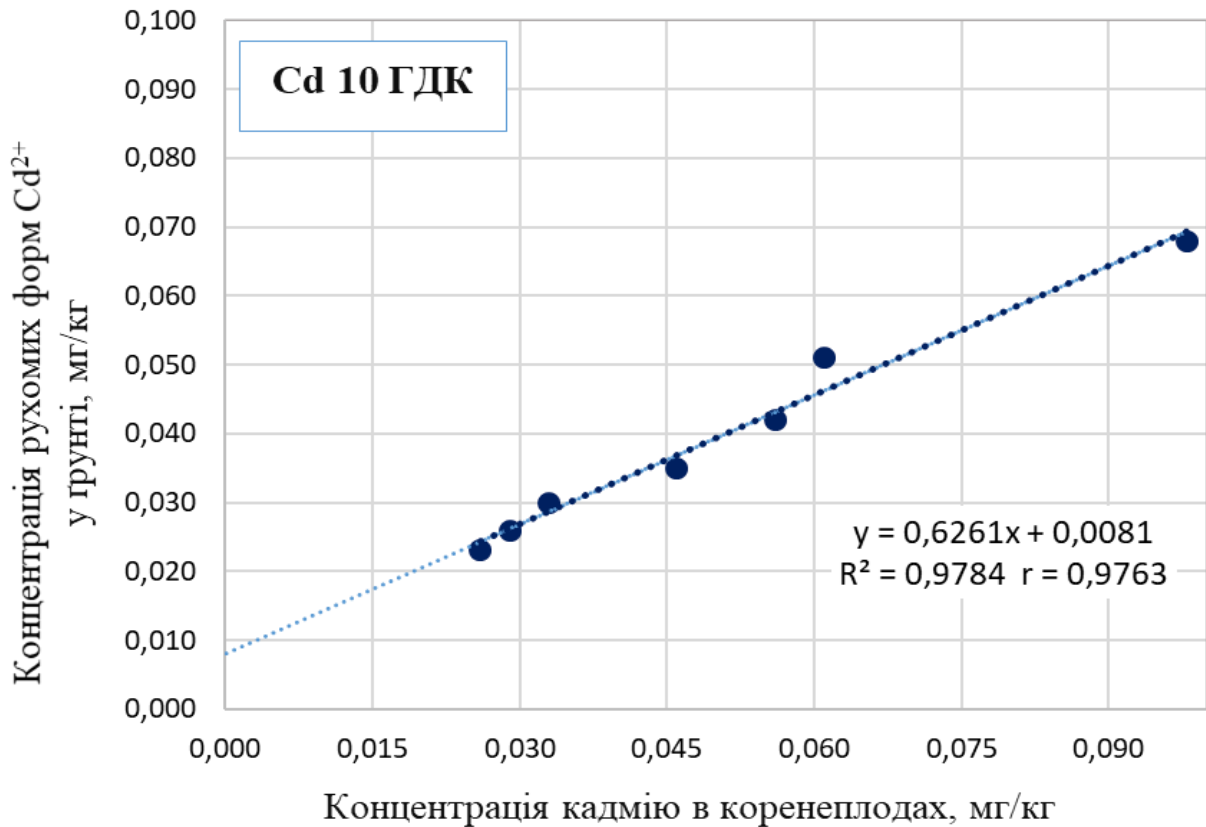


Рис. 3.4 – Графік кореляційної залежності між концентрацією рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті та нагромадженням цього елемента в коренеплодах буряка столового за використання добрив і меліорантів при змодельованому рівні забруднення ґрунту кадмієм 10 ГДК (середнє за 2021–2022 рр.)

За результатами проведених досліджень із моделюванням забруднення ґрунту іонами Cd^{2+} та використанням добрив і меліорантів з метою детоксикації ґрунту виявлено певні закономірності накопичення та розподілу цих іонів у рослинах буряка столового. Слід зазначити, що за використання органічної (вар. б) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення рухомість кадмію у темно-сірому ґрунті була найменшою у всіх варіантах дослідження на всіх змодельованих рівнях забруднення, що позначилося на найнижчій концентрації іонів Cd^{2+} у рослинах буряка столового у відповідних варіантах. Привертає увагу той біологічний факт, що коренеплоди буряка столового є більш безпечними для споживання, аніж сама гичка, яка характеризується підвищеними властивостями до нагромадження іонів кадмію.

3.4. Вплив різних систем удобрення та меліорантів на урожайність та біохімічний склад продукції буряка столового

Отримані результати свідчать про те, що зі збільшенням рівнів імітованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК відбулося збільшення рухливості важких металів у ґрунті. Як наслідок, це призвело до більшого накопичення іонів Cd^{2+} у рослинах *Beta vulgaris* L., що відобразилося на зниженні показників якості врожаю на всіх дослідних варіантах. Проте внесення добрив і меліорантів суттєво вплинуло на процеси транслокації іонів Cd^{2+} у рослинах, зменшивши тим самим їх фітотоксичну дію. В результаті спостерігалось підвищення врожайності столових буряків.

Потрібно зазначити, що найбільшу урожайність буряка столового одержали у 2021 році, трохи меншу у 2022 році, що пов'язано на нашу думку з агрокліматичними умовами року, а саме з кількістю опадів у період інтенсивного наростання коренеплодів. Проте закономірності впливу добрив і меліорантів на урожайність буряка столового за змодельованих рівнів забруднення кадмієм між варіантами дослідів зберігалися (рис. 3.5).

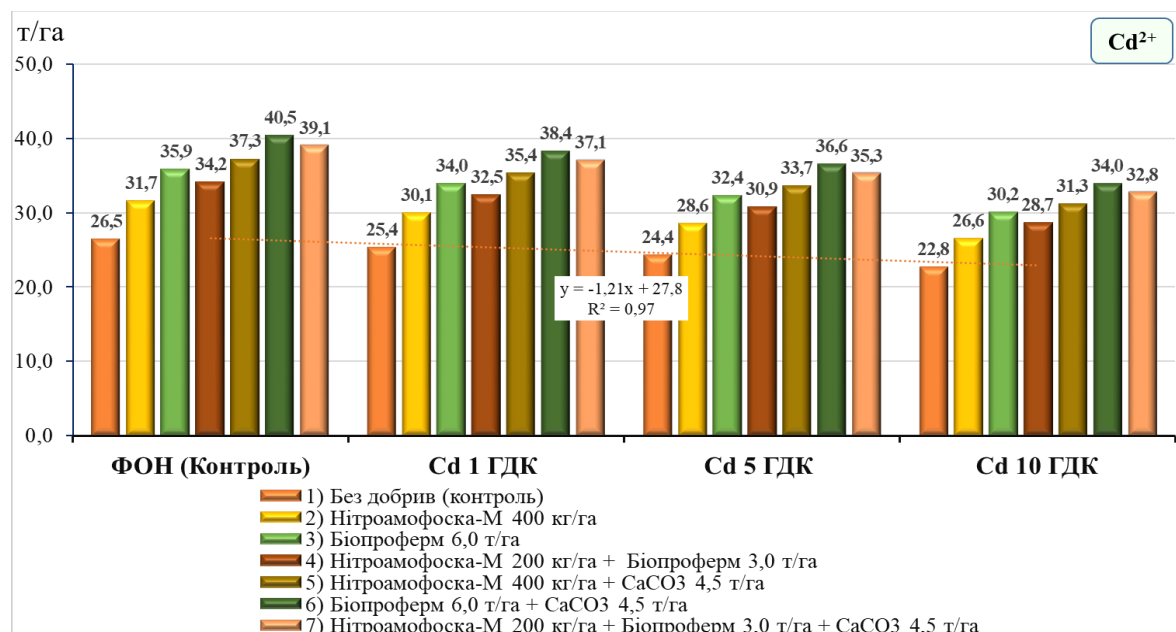


Рис. 3.5. – Урожайність буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га (середнє за 2021–2022 рр.)

Було виявлено, що зі збільшенням рівня забруднення ґрунту важкими металами спостерігалось загальне зниження як урожайності, так і товарної якості буряків. Встановлено, що на природному фоні (контроль), при застосуванні органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту, була забезпечена найбільша врожайність коренеплодів буряка столового – 40,5 та 39,1 т/га. Надважка до контрольного варіанту становила 14,0 та 12,6 т/га, або 52,8 та 47,5%. У цих варіантах досліді також визначено найбільший вихід товарних коренеплодів – 85 та 84%. Натомість у контрольному варіанті відзначали найменшу урожайність (26,5 т/га) коренеплодів буряка столового, а відповідно і товарність (рис. 3.5).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту кадмієм 10 ГДК (валових форм) при застосуванні добрив та кальцієвих меліорантів у нормі Біопроферм 6,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га урожайність коренеплодів становила 34,0 т/га, а приріст до контролю складав 11,3 т/га, або 49,4%. За внесення Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га урожайність дещо знизилася до 32,8 т/га. В цілому варто зазначити, що урожайність коренеплодів буряка столового за змодельованого рівня забруднення ґрунту кадмієм у 10 ГДК знизилась відносно контрольного фону у всіх варіантах експерименту на 14,1–16,3%.

Програмою досліджень передбачалось вивчення впливу добрив та меліорантів на якісні характеристики продукції буряка столового в умовах змодельованого забруднення темно-сірого ґрунту кадмієм.

За результатами дворічних досліджень встановлено, що біохімічний склад коренеплодів буряка столового мінявся у залежності від агрокліматичних умов року, норм внесення органічних і мінеральних добрив, проведених заходів вапнування та рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм. Аналіз отриманих результатів свідчить, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК спостерігали тенденцію до зниження якісних біохімічних параметрів, таких як вміст сухої речовини, суми цукрів та вітаміну С. Тоді як концентрація нітратів у коренеплодах зростала (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Біохімічний склад коренеплодів буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та кальцієвих меліорантів (середнє за 2021–2022 рр.)

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd ²⁺)											
					1 ГДК				5 ГДК				10 ГДК			
	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітраги, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітраги, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітраги, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітраги, мг/кг
1) Без добрив (контроль)	0,027*				0,038				0,062				0,098			
	12,0	10,8	12,2	1176	11,8	10,2	11,8	1288	11,0	9,4	10,6	1553	10,4	8,8	9,0	1649
2) Нітроамофоска-М 400 кг/га	0,019				0,023				0,033				0,061			
	12,8	11,4	13,9	1138	12,3	10,5	13,2	1210	11,5	9,7	12,4	1415	10,8	9,3	10,5	1573
3) Біопроферм 6,0 т/га	0,014				0,019				0,027				0,046			
	13,4	11,8	14,8	1044	13,2	11,3	14,6	1116	12,6	10,8	13,7	1320	11,8	10,5	12,1	1470
4) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га	0,016				0,022				0,029				0,056			
	13,0	11,6	14,4	1120	12,8	10,9	13,7	1175	11,8	10,3	12,9	1381	11,3	9,7	11,7	1514
5) Нітроамофоска-М 400 кг/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	0,012				0,017				0,025				0,033			
	13,6	11,9	15,0	1025	13,6	11,6	14,8	1063	13,1	11,1	14,3	1264	12,5	10,8	12,6	1396
6) Біопроферм 6,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	0,006				0,010				0,018				0,026			
	15,6	12,8	15,9	894	15,0	12,3	15,4	995	14,4	11,7	15,0	1108	13,7	11,3	13,9	1219
7) Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + СаСО ₃ 4,5 т/га	0,010				0,014				0,021				0,029			
	14,7	12,4	15,4	912	14,3	12,0	15,2	1021	13,7	11,4	14,8	1209	13,1	11,0	13,1	1312

Примітки: 1. * – Концентрація кадмію в коренеплодах буряка столового, мг/кг сирої маси; 2. ГДК кадмію в овочах – 0,03 мг/кг сирої маси.

Аналізуючи таблицю 3.4 слід сказати, що на 5-7 варіантах, де проводили вапнування ґрунту у поєднанні з різними системами удобрення, якість коренеплодів буряка столового була вищою за такими параметрами як вміст сухої речовини, суми цукрів, вітаміну С, а концентрація нітратів, навпаки, меншою порівняно з іншими варіантами дослідів.

На основі проведених результатів досліджень встановлено, що на контрольному фоні при внесенні добрив і кальцієвих меліорантів у нормі Біопроферм 6,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га відзначали найвищі якісні показники коренеплодів буряка столового. Так, вміст сухої речовини становив 15,6 та 14,7%, суми цукрів 12,8 та 12,4%, а аскорбінової кислоти відповідно 15,9 та 15,4 мг/100 г. Вміст нітратного азоту у коренеплодах буряка столового становив 894 та 912 мг/кг сирої маси, що в цілому не перевищувала гранично допустиму концентрацію (1400 мг/кг). Слід зазначити, що на контролі (без добрив) якість коренеплодів буряка столового була найнижчою.

Даючи аналіз таблиці 3.4. за змодельованого рівня забруднення темно-сірого ґрунту кадмієм 10 ГДК відзначимо, що токсичний вплив іонів Cd²⁺ позначився на зниженні якісних показників продукції буряка столового. Так, найменшу якість відзначали на контролі (без добрив), тоді як на 6-7 варіантах якісні показники були найвищими. Проте на цьому рівні забрудненням у вищезгаданих варіантах дослідів вміст сухої речовини у коренеплодах знизився до 13,7 та 13,1%, суми цукрів до 11,3 та 11,0%, а вітаміну С до 13,9 та 13,1 мг/100 г. Однак, концентрація нітратного азоту у коренеплодах зросла, порівняно з фоном на 35,7 та 39,5% до 1219 та 1312 мг/кг маси сирої речовини.

Отже, на основі отриманих результатів досліджень можна зробити висновок, що за внесення добрив та меліорантів у нормі Біопроферм 6,0 т/га + CaCO₃ 4,5 т/га відзначали найкращу якість продукції буряка столового на всіх варіантах за такими показниками як вміст сухих речовин, суми цукрів та вітаміну С. Зазначимо, що на цьому варіанті концентрація нітратів у коренеплодах була найменшою, що свідчить про екологічну безпечність вирощеної продукції.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1. Аналіз стану охорони праці у господарстві

В умовах ФГ «ЛІМ» вирішення проблем охорони праці покладено на службу охорони праці, яку очолює інженер з охорони праці. За своїми функціями та завданнями ця служба прирівнюється до основних виробничих служб і підпорядкована безпосередньо керівникові господарства. З метою виявлення причин виробничого травматизму та професійних захворювань спеціалісти служби разом із керівниками структурних підрозділів (бригадири тракторних і рілєних бригад, зав. майстернями, зав. током, завскладом та інші.) та головними спеціалістами проводять постійний аналіз травм, захворювань, отруєнь. Для цього використовується статистичний, топографічними, економічний і монографічний методи, які дозволяють розробити профілактичні заходи по запобіганню травмуванню персоналу. Щорічно розробляється і затверджується розділ “Охорона праці” в колективному договорі між профспілковою організацією та правлінням.

Представники профспілкової організації та уповноважені ради трудового колективу з охорони праці проводять громадський контроль за додержанням адміністрацією взятих зобов'язань щодо забезпечення всіх працівників необхідними засобами Індивідуального захисту, профілактично–лікувального харчування та проведення необхідних медоглядів, навчання та перевірки знань всіх працівників з охорони праці, проведення необхідних інструктажів і охорони праці, особливо перед напруженими періодами польових робіт [59].

4.2. Безпека праці при технологічних процесах, пов'язаних з вирощуванням буряка столового

До роботи у ФГ «ЛІМ» допускаються лише справні машини, повністю укомплектовані відрегульованими агрегатами, механізмами, вузлами, захисними

огороженнями і сигналізацією.

При підготовці ґрунту до сівби буряка столового після попередника, проводять такі технологічні операції: дискування, внесення органічних добрив, зяблева оранка [60].

Весною проводять закриття вологи, культивація з внесенням мінеральних добрив і передпосівну культивацію. На протязі вегетаційного періоду при вирощуванні буряка столового проводять 2–3 міжрядних обробки. Для хімічного захисту рослин від бур'янів, шкідників і хвороб використовують оприскувачі ПОМ–630, а приготування робочого розчину – АПЖ–12. в комплексі заходів догляду за столовим буряком велике агротехнічне значення має розпушування ґрунту та підживлення рослин.

На бурякозбиральних машинах дозволено особам, які мають права тракториста машиніста і посвідчення на право керування цими машинами. До початку роботи обслуговуючий персонал повинен ознайомитись з правилами техніки безпеки і пройти відповідний інструктаж. Далше перевіряють систему гальма рульового управління і механізмів кріплення болтів.

Кожен комбайн повинен мати медичну аптечку, звуковий сигнал, електроосвітлення. Розпочинати роботу і зупиняти агрегат можна тільки по сигналу комбайнера. Перед включенням робочих органів тракторист повинен звуковим сигналом попередити оточуючих про зустрічні машини, комбайнер і обслуговуючий персонал повинні працювати в заправленому одязі [61].

Технічне обслуговування трактора, регулювання і ремонт проводять тільки при непрацюючому двигуні. При поворотах і розворотах швидкість агрегату не повинна перевищувати 4 км/год. Забороняється знаходитися під час роботи під елеватором який грузить коренеплоди буряка столового, або в кузові транспортних засобів. При значних переїздах потрібно зафіксувати рухомі рами елеваторів [60].

З метою подальшого покращення культури виробництва і зниження виробничого травматизму необхідно дотримуватись таких вимог:

– регулярно проводити інструктажі по техніці безпеки;

- суворо дотримуватись вимог і правил з техніки безпеки при обробітку ґрунту та внесенні мінеральних добрив, зокрема Нітроамофоски - М;
- обов'язково проводити інструктажі з техніки безпеки перед сівбою, протруюванням насіння та обприскуванням рослин буряка столового;
- проводити профілактичні інструктажі по попередженню пожеж під час збирання врожаю коренеплодів буряка столового.

Лише чітке дотримання вище згаданих вимог дозволить покращити умови і охорону праці за вирощування буряка столового [59].

4.3. Заходи щодо покращення гігієни праці, техніки безпеки та пожежної безпеки

Застосування мінеральних добрив є одним із найважливіших факторів інтенсифікації сільськогосподарського виробництва. Вирощування буряка столового включає в себе таку операцію, як внесення мінеральних добрив, зокрема Нітроамофоски – М, а також аміачної селітри, гранульованого суперфосфату і калімагnezій. При роботі з ним дотримуються певних правил, так як мінеральні добрива при необережному поводженні з ними негативно впливають на організм людини [52].

Під час обідньої перерви, відпочинку та після закінчення роботи працюючі з мінімальними добривами повинні старанно вимити руки та обличчя водою з милом. Витиратись треба обов'язково тільки чистим рушником. При механічному внесенні мінеральних добрив агрегату пропонується рухатись перпендикулярно до напрямку вітру, щоб зменшити показник зараженості організму механізатора, кабіна в тракторі повинна бути герметично закрита [2].

Під час роботи з мінеральними добривами у ФГ «ЛІМ» не дозволяється курити і приймати їжу. Для цього на польовому стані в господарстві використовуються пересувні вагончики, переносні будиночки та легкі навіси. Технологічну наладку тракторів та сільськогосподарської техніки, яка призначена для внесення мінеральних добрив, проводять тільки на стоянках.

Перед початком роботи проводиться технологічна наладка на спеціально відведеному майданчику, а також проводиться інструктаж на робочому місці. Про проведення даного інструктажу робиться відповідний запис в журналі реєстрації інструктажів [61].

При застосуванні пестицидів токсикологічних характеристик шкідливої речовини (пестициду) працівників забезпечують необхідними засобами захист. На місці роботи з пестицидами забороняється курити і приймати їжу. При виконанні робіт з пестицидами в польових умовах їжу приймають в спеціально виділеному і відповідно обладнаному місці на відстані 200 метрів від ділянок поля на яких застосовують пестицид. Тут повинні бути: чиста вода, умивальник, мило, рушник [63].

Мінеральні добрива, а особливо Нітроамофоска-М, що доставляються в мішках зберігаються в заводській тарі. Добрива в пошкоджених мішках, зберігають окремо від основної партії, не змішуючи між собою. На кожному складі мінеральних добрив повинні бути первинні засоби пожежогасіння. Склади, призначені для зберігання аміачної селітри, які мають підвищену пожежею і вибухонебезпеку, тому їх розміщують окремо від інших складів, а особливо склад має бути сухим [64].

Для запобігання пожежам в ФГ «ЛІМ» розробляють організаційні, експлуатаційні та заходи режимного характеру. До організаційних заходів відносять правильне технологічне розміщення машин; недопущення захарашення приміщень, проходів, тощо; організація пожежних служб, навчання працівників правилам пожежної безпеки.

Експлуатаційні заходи передбачають такі режими експлуатації машин і обладнання в результаті яких повністю виключається можливість виникнення іскор і полум'я при роботі машин, контакт нагрітих деталей обладнання з матеріалами які загораються. До заходів режимного характеру відносять заборону паління цигарок, застосування відкритого полум'я при ремонтних роботах, постійний контроль за зберіганням запасів вугілля, торфу та інших матеріалів, що можуть самозагорятись [60].

ВИСНОВКИ

В результаті проведених досліджень у ФГ «ЛІМ» в умовах Західного Лісостепу України за вирощування буряка столового та реалізованих заходів детоксикації направлених на зниження рухомості іонів кадмію у темно-сірому ґрунті протягом 2021–2022 рр. можна зробити такі висновки:

1. Із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 10 ГДК спостерігали загальну тенденцію до збільшення концентрації рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті в усіх варіантах за вірогідної різниці до фону $p < 0,05$ – $0,001$, а також збільшення концентрації кадмію в рослинах буряка столового сорту Бона.

2. Найменшу концентрацію рухомих форм Cd^{2+} на всіх змодельованих рівнях забруднення ґрунту відзначали на 6-7 варіантах дослідження за внесення добрив і меліорантів у нормі Біопроферм 6 т/га + CaCO_3 4,5 т/га та Нітроамофоска-М 200 кг/га + Біопроферм 3 т/га + CaCO_3 4,5 т/га за вірогідної різниці порівняно з фоном ($p < 0,01$ – $0,001$)

3. За внесення добрив і меліорантів спостерігали покращення агрохімічних параметрів ґрунту та відзначали загальну тенденцію: зі зменшенням рухомості кадмію (перехід елемента із валової форми у рухому), відповідно зменшувалась концентрація його рухомих фракцій Cd^{2+} у ґрунті, однак збільшувалась концентрація валових форм, в яких він міцно закріплювався ГВК.

4. Виявлено тісну кореляцію ($r = 0,97$) між концентрацією рухомих форм Cd^{2+} у ґрунті та концентрацією цього елемента у рослинах буряка столового.

5. Найбільшу врожайність коренеплодів буряка столового (40,5 та 39,1 т/га) одержали за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар.7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту.

6. Найкращу якість продукції буряка столового визначили за внесення Біопроферм 6 т/га + CaCO_3 4,5 т/га, а саме: суху речовину – 15,6 %, суму цукрів – 12,8%, вітаміну С – 15,9 мг/100г і найменший вміст нітратів – 894 мг/кг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондаренко Г. Л., Яковенко К. І. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві. Харків: Основа, 2001. 370 с.
2. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 376 с.
3. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ: Логос, 2006. 208 с.
4. Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Видавництво “ПП Рута”, 2010. 473 с.
5. Патица В. П., Тараріко О. Г. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
6. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Видавництво Олді – плюс, 2011. 258 с.
7. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: методичні рекомендації. Харків: КП “Міськдрук”, 2012. 70 с.
8. Хімічна меліорація ґрунтів (концепція інноваційного розвитку) / за ред. С. А. Балюка, Р. С. Трускавецького. Харків: «Міськдрук», 2012. 129 с.
9. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л., Мірошніченко М. М., Бородіна Я. В. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина: методика. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
10. Гаєвський В. Г., Пелипець М. В. Рухомі форми важких металів у ґрунтах Львівської області. *Геологія і геохімія горючих копалин*. 1999. № 3. С. 110-115.
11. Miroshnichenko, N. N., Pashchenko, Ya.V., Fateev, A. I. Buffering and resilience parameters for evaluating the barrier function of soils. *Eurasian Soil Sciencethis*. 2003, №36(7), 724–732 pp.
12. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2011. 505 p.
13. Гунчак В. М. Екологічні аспекти забруднення ґрунтів і продукції рослинництва важкими металами та заходи щодо його зменшення. *Захист і*

карантин рослин. 2014. Вип. 60. С. 86–92.

14. Snytinsky, V., Dydiv A. The mobility of cadmium and lead in soil and their impact on the quality of beetroot (*Beta vulgaris* L.) with different systems of fertilization. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Przyrodniczego we Wroclawiu: seria rolnictwo*. 2017. CXXII (625). Str. 87–98.

15. Мислива Т. М., Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище. Житомир, 2011. 52 с.

16. Тихоненко Д. Г., Горін М. О., Лактіонова М. І. Ґрунтознавство: підручник / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ: Вища освіта, 2005. 703 с.

17. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин: навч. посіб. Київ: Логос, 2005. 150 с.

18. Іутинська Г. І., Петруша З. В. Резистентність ґрунтових мікроорганізмів до забруднення ґрунтів важкими металами. *Мікробіологічний журнал*. 1999. Т. 61. № 5. С. 72–77.

19. Шувар І. А., Бунчак О. М., Сендецький В. М. та ін. Виробництво та використання органічних добрив: монографія / за ред. І. А. Шувара. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 596 с.

20. Іутинська Г.О. Ґрунтова мікробіологія: навч. посібник. Київ: Арістей, 2006. 284 с.

21. Назаренко І. І., Польчина С. М., Дмитрук Ю. М., Смага І. С. Ґрунтознавство з основами геології: підручник. Чернівці: Книги– XXI, 2006. 504 с.

22. Кисіль В. І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків: Вид. «13 топографія», 2005. 167 с.

23. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. Trace Elements From Soil to Human. Berlin; Heidelberg: Springer, 2007. 561 p.

24. Макаренко Н. А. Оцінка небезпечності важких металів у ґрунті за екотоксикологічним критерієм “рухомість”. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спец вип. до VI з’їзду УТГА. ч. 3. Київ, 2002. С. 90–91.

25. Фатєєва А. І., Пащенко Я. В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 2003. 119 с.

26. Пащенко Я. В., Фатєєв А. І. Деякі аспекти діагностики забрудненості ґрунтів важкими металами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спец вип. до VI з'їзду УТГА. 2002. Ч. 3. С. 113-115.

27. Фатєєв А. І., Мірошніченко М. М., Самохвалова В. А. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення важкими металами. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 10. С. 59–63.

28. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Шофолов Д. Л., Рибалко Ю. В. Науково-методичні рекомендації формування екологічно безпечних сировинних агрозон / за ред. Н. М. Рідей. Київ: ВПЦ "Експрес", 2009. 40 с.

29. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Наумовська О. І., Рибалко Ю.В. Оцінка придатності сільськогосподарських земель для формування екологічно чистих сировинних зон. Київ: УкрДГРІ, 2009. 190 с.

30. Балюк С. А. Раціональне використання ґрунтових ресурсів і відтворення родючості ґрунтів: організаційно-економічні, екологічні й нормативно-правові аспекти: колективна монографія / за ред. С. А. Балюка, А. В. Кучера. Харків: Смугаста типографія, 2015. 432 с.

31. Цапко Ю. Л., Трускавецький Р. С., Чешко Н. Ф., Калініченко В. М. та ін. Підвищення родючості кислих та гідроморфних ґрунтів: рекомендації. Харків: Міськдрук, 2012. 36 с.

32. Греков В. О., Дацько Л. В. Охорона і відтворення родючості ґрунтів у зональних агроєкосистемах. *Агроєкологічний журнал*, 2009. №1. С. 43–45.

33. Сендецький В. М. Виробництво органічних добрив нового покоління «Біогумус» з органічних відходів агропромислового комплексу і його вплив на урожайність сільськогосподарських культур. *Агробіологія*. Біла церква, 2010. № 4 (80). С. 72–78.

34. Гармаш С. М. Дослідження агрохімічних, фізіолого-біохімічних та мікробіологічних властивостей екологічно безпечного добрива біогумусу.

Питання хімії та хімічної технології. 2008. № 3. С. 32–34.

35. Лихочвор В. В. Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге видання, доповн. і виправл. Львів: НФВ «Українські технології», 2012. 324 с.

36. Лихацький В. І. Улянич О. І., Гордій М. В. Овочівництво. Практикум: навч. посіб./ за ред. В. І. Лихацького. Вінниця, 2012. 442 с.

37. Методичні рекомендації з встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин в агрохімікатах / за ред. доктора с.-г. наук Н. А. Макаренко. Київ, 2007. 16 с.

38. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: НІЧЛАВА, 2003. 320 с.

39. Дидів А. Вплив добрив та меліорантів на якість коренеплодів буряка столового за забруднення ґрунту кадмієм. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. 2017. Вип. 269. С. 234–241.

40. ДСТУ 7033:2009. Буряк столовий свіжий. Технічні умови. [Чинний від 22-06-2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 18 с.

41. Кучеренко М. Є., Бабенюк Ю. Д., Войціцький В. М. Сучасні методи біохімічних досліджень. Київ: Укрсоціоцентр, 2001. 424 с.

42. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель : методично-нормативне забезпечення / за заг. ред. В. П. Патики, О. Г. Тараріка. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.

43. ДСТУ ISO 11464:2007. Якість ґрунту. Попереднє обробляння зразків для фізико-хімічного аналізу (ISO 11464:2006, IDT). [Чинний від 2009–10–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 18 с.

44. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області в 2021 році. Львів: Департамент екології та природних ресурсів Львівської Обласної Державної адміністрації, 2022. 296 с.

45. Екологічний паспорт Львівської області у 2021 році. Львів: Департамент екології та природних ресурсів Львівської Обласної Державної адміністрації, 2022. 265 с.

46. Звіт про результати моніторингу природного довкілля Львівщини за 2021 рік. Львів: Департамент екології та природних ресурсів Львівської Обласної Державної адміністрації, 2021. 85 с.

47. Дубицька А. О., Качмар О. Й., Габриєль А. Й., Щерба М. М. Підвищення родючості ґрунтів Західного Лісостепу України: Науково методичні рекомендації для спеціалістів сільського господарства та фермерів. Львів-Оброшино: Інститут землеробства і тваринництва західного регіону НААН України, 2010. 12 с.

48. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І., Зуза С. Г., Зуза В. О. Спосіб ремедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами. *Агрохімія та ґрунтознавство*. 2013. Вип. 80. С.101–110.

49. Сердюк А. Г., Городній М. М., Каленський В. П., Бикін А. В. Відтворення родючості ґрунту та продуктивність сільськогосподарських культур. *Науковий вісник Національного аграрного університету*. Київ, 1998. №5. С. 212–224.

50. Дидів А. Вплив кадмію та свинцю на фітопродуктивність буряка столового за використання меліорантів та різних систем удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2017. № 21. С. 110–116.

51. Герасимчук Л. О. Канцерогенний і неканцерогенний ризики від споживання овочевих культур, вирощених на території агроселітебних ландшафтів м. Житомир. *Вісник Житомирського національного агроєкологічного університету*. 2015. № 1 (47), т. 1. С. 10–19.

52. Медведєв В. В., Лактіонова Т. М., Булігін С. Ю., Тимченко Д. О. та ін. Методика моніторингу земель, що перебувають у кризовому стані. НМЦ проблем ґрунтознавства, меліорації й охорони ґрунтів. Харків, 1998. 88 с.

53. Городній М. М., Бикін А. В., Сердюк А. Г. Агрохімічний аналіз: підручник. Київ: Арістей, 2007. 624 с.

54. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ, 2001. 247 с.

55. ДСТУ 4770.3:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук

кадмію в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.

56. Методи визначення показників якості рослинницької продукції / за ред. О. М. Гончара, А. В. Андрущенка. Київ: Алефа, 2000. 114 с.

57. Ткаченко М. А., Кондратюк І. М., Борис Н. Є. Хімічна меліорація кислих ґрунтів: монографія. Вінниця, ТОВ «ТВОРИ», 2019. 318 с.

58. Василенко О. А., Сенча І. А. Математично-статистичні методи аналізу у прикладних дослідженнях: навч. посіб. Одеса: ОНАЗ ім. О. С. Попова, 2011. 166 с.

59. Трахтенберг І. М., Кориґуй М. М., Чкбанова О. В. Гігієна праці Київ: Основа, 1995. 274 с.

60. Пістун І. П., Березовецький А. П., Березовецький С. А. Охорона праці в галузі сільського господарства (рослинництво): навч. посіб. Суми: ВТД «Університетська книга», 2009. 368 с.

61. Катренко Л. А., Кіт Ю. В., Пістун І. П. Охорона праці. Курс лекцій. Практикум: навч. посіб. Суми: Університетська книга, 2009. 540 с.

62. Колтунов В.А. Управління якістю овочевих коренеплодів. Київ: 2007. 174 с.

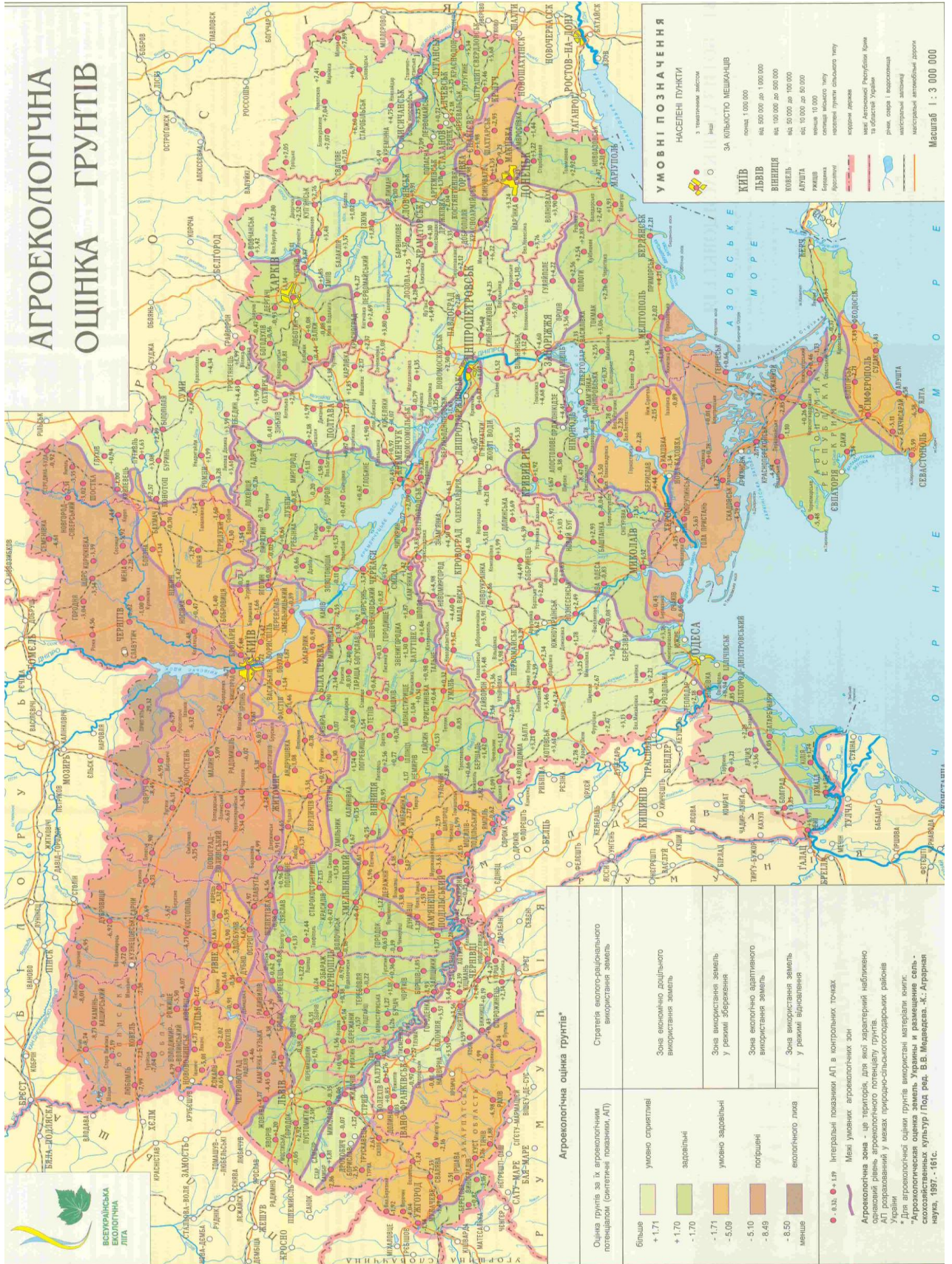
63. Пати́ка В. П., Макаренко Н.А., Моклячук Л.І. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія. Київ: Основа, 2005. 300 с.

64. Кундієв Ю.І., Яворовський О.П., Шевченко А.М. та ін. Гігієна праці: підручник (ВНЗ IV р. а.). Київ: "Медцина", 2011. 904 с.

ДОДАТКИ

Додаток А

Агроекологічна карта оцінки ґрунтів України



Додаток Б

Склад та характеристика органічного добрива Біоферм

Волога, %	40-60
pH вод.	6,5-7,5
Вміст на абсолютно суху речовину:	
Органічні речовини, %	65-70
Загального азоту, %	2,0-3,0
Фосфору (P ₂ O ₅), %	1,7-2,8
Калію (K ₂ O)	1,3-2
Кальцію (CaO), %	2-6

Універсальне органічне добриво «Біоферм» виробляється методом аеробної термофільної біоферментації курячого посліду, гною ВРХ, торфу, тирси. В камері ферментації температура біомаси досягає 70-75° С та утримується кілька діб, що є достатньою умовою для пастеризації біомаси, загибелі хвороботворних мікроорганізмів, яєць та личинок гельмінтів, втрати життєздатності насіння бур'янів.

Фізичний стан: Сипуча маса коричневого кольору, розмір часток 5-10 мм. Об'ємна вага продукту – 0,45-0,6 т/м³.

Агрохімічні характеристики: «Біоферм» є комплексним добривом, що містить всі макро- (азот, фосфор, калій, кальцій) та мікроелементи (мідь, цинк, магній, бор, молібден, марганець, залізо, кобальт), гумусові речовини, спори ґрунтових корисних організмів.

В залежності від вихідної сировини в 1 тонні «Біоферму» міститься 35-50 кг діючої речовини, в тому числі азоту – 10-15 кг, фосфору – 9-14 кг, калію – 6-10 кг, кальцію (CaO) – 10-30 кг. За вмістом діючої речовини 1 тонна «Біоферму» еквівалентна 3-5 тоннам підстилкового гною.

Наявність у складі «Біоферму» кальцію сприяє зниженню кислотності ґрунту. За своїми агрохімічними властивостями добриво є комплексним, вологоутримуючим, теплоізоляційним, легко піддається грануляції, покращує фізичні та агрохімічні властивості ґрунту.

«Біоферм» використовується: для основного удобрення всіх сільгоспкультур; для підживлення (кореневого) рослин у процесі вегетації; для приготування ґрунтосумішей для вирощування розсади овочевих рослин в якості поживного компонента; при створенні пасовищ, газонів, дитячих майданчиків, футбольних полів та їх підживлення.

Дія, вплив:

- підвищує врожайність на 30-60 %;
- стимулює проростання насіння, ріст та розвиток рослини;
- підвищує імунітет рослин до різних захворювань;
- посилює стійкість рослин до дії стресових факторів;
- стимулює розвиток корисної мікрофлори ґрунту, вермибіоти;
- зменшує накопичення нітратів, важких металів та радіонуклідів у с/г продукції.

Переваги та ефективність застосування:

- покращує фітосанітарний стан посівів;
- відновлює деградовані ґрунти, підвищує вміст гумусу;
- у складі добрива відсутні патогенні мікроорганізми, насіння бур'янів;
- тривалий термін дії добрива (до 3-х років);
- вирощена продукція є екологічно чистою з високими смаковими якостями.

Сумісність: Комбінується з усіма видами мінеральних добрив, ЗЗР, позакореневим підживленням.

Виробник: ПП «Дослідно-виробничий комплекс «Біоз-Волинь», 44720, Україна, Волинська область, Володимир-Волинський район, с. Овадне, вул. Перемоги, 48.

Додаток В

Склад та характеристика комплексного мінерального добрива
Нітроамофоска-М

Товариство з обмеженою відповідальністю

«ТЕТРА-АГРО»

Україна 80100 Львівська обл. м. Червоноград, вул. Львівська 71.
Тел. +380324943420, Тел.моб.+380931349406, +380673137717,
+380661332677

E-mail: tetra-agro@ukr.net ЄДРПОУ 33775353

ПАСПОРТ ЯКОСТІ № 01/10-23-3

від 10 січня 2023 року

1. Об'єкт випробувань: Нітроамофоска – М ТУ У 20.1-33775353-001:2020.
2. Пакування : біг – бег 1 (одна) т., мішок п/е 25 кг, мішок п/е 5 кг.
3. Мета випробування: Визначення якості.
4. Дата та місце відбору: 17.10.2022р., ТзОВ «Тетра-Агро».
5. Назва та адреса виробництва: ТзОВ «Тетра-Агро», вул. Львівська, 71, м. Червоноград, Львівська область, Україна, 80100.
6. Термін проведення випробувань: 17.10.2022– 01.11.2022р.

Назва показників, одиниці вимірювань	Фактичний вміст
pH 1% водн. розч., од. pH	6,0
Масова частка вологи %, не більше	2,0
Масова частка азоту загального (N), %	9,0 ±1
Масова частка фосфору загального (P ₂ O ₅), %	18,0 ±1
Масова частка калію загального (K ₂ O), %	22,0 ±1
Масова частка сірки (SO ₃), %	1,5 ±0,5
Масова частка кальцію (CaO), %	20,0 ±1
Масова частка магнію (MgO), %	0,2
Масова частка заліза (Fe), %	0,2
Вміст мікроелементів, мг/кг:	
Цинк (Zn)	100,0
Марганець (Mn)	50,0
Бор (B)	200,0
Гранулометричний склад, %	
Від 4 до 6 мм	98,0
Від 1 до 4 мм	2,0

Внесено в державний реєстр пестицидів та агрохімікатів реєстр. № 13306, серія №А 08285.

Термін агрохімічної придатності – необмежений.

Добрива зберігаються в критих складських приміщеннях, захищених від потрапляння атмосферних опадів (дощ, сніг), ґрунтових вод та прямого сонячного проміння при температурі від 5°C до 20°C.

Гарантійний термін зберігання добрив – 3 роки з дня виготовлення.

Виробник гарантує відповідність добрив вимогам технічних умов при дотриманні споживачем умов транспортування та зберігання.

Якісні показники вказані на підставі протоколу випробувань № 3301-22-S від 24.10.2022р, виданого ТОВ «УКРАВІТ САЙЕНС ПАРК» ВСП «Інститут здоров'я рослинництва і протекції рослин» за протоколом випробувань №158-16/03/262 від 01.11.2022р, виданого Рівненським обласним філією «Держзгрунтоохорона» ДУ «Інститут охорони ґрунтів України».

Аналізи виконані по пред'явленому зразку. За відсутності зауважень відповідальність несе виробник.

Директор ТзОВ «Тетра-Агро»



Сергій Прокопенко

Додаток Г

Склад та характеристика кальцієвих меліорантів*

Найменування показника	Вапнякове (доломітове) борошно марки А
Межа міцності вихідної карбонатної породи при стисканні в насиченому водою стані	Більше 60 МПа
Сумарна масова частка карбонатів кальцію CaCO_3 та MgCO_3 , %, не менше	87,7
Додатково мінерали та мікроелементи, %:	
- окис заліза Fe_2O_3	0,4
- окис сірки SO_3	6,3
- окис кальцію CaO	46,2
- окис магнію MgO	0,6
Зерновий склад повні залишки на ситах:	
- 5 мм не більше	0
- 3 мм не більше	1
- 1 мм не більше	3
Масова частка вологи, %, не більше	0,2-0,5
Масова частка домішок, %, не більше	
- кадмію	0,0001
- свинцю	0,002
Показник АДР (активно діючої речовини), %, не менше:	82
Відповідає вимогам:	ДСТУ 7446:2011, ГОСТ 14050-93

Примітка:* Вапняк, який є найпоширенішим різновидом карбонату кальцію, є осадовою гірською породою, що складається переважно з кальциту (CaCO_3). Вапняне борошно, яке отримують шляхом розмелювання вапняку, є мінеральним порошком. Це борошно має низьку розчинність у воді, тому його ефективність значно залежить від ступеня розмелу. В складі вапняного борошна більше 85% становлять карбонати кальцію і магнію, відносно CaCO_3 . Вологість вапняного борошна не менше 2%, часточки розміром 0,25 мм становлять не менше 60%, а ті, що перевищують 1 мм, не перевищують 10%. На добре забезпечених магнієм ґрунтах вапняне борошно проявляє подібну дію на властивості ґрунту і врожай сільськогосподарських культур, що й доломітове борошно.

Згідно з результатами широкомасштабного агрохімічного обстеження в Україні понад 20% земель мають підвищену кислотність і низький рівень рН. Це свідчить про низьку родючість цих земель, а внесення добрив має обмежений ефект. У результаті, у сівозмінах переважають культури, які можуть переносити кислотні ґрунти, але їх урожайність буде меншою. Це призводить до зменшення ефективності землеробства. Таким чином, підвищена кислотність ґрунту негативно впливає на більшість сільськогосподарських культур, тоді як вапнування має позитивний ефект. Високий рівень кислотності сприяє розвитку грибів у ґрунті, серед яких є багато паразитів і патогенів рослин, які спричиняють різні хвороби.