

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний аграрний університет

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

**ДИДІВ АНДРІЙ ІГОРОВИЧ**

УДК 504.064:635.1/8

**ДИСЕРТАЦІЯ**  
**АГРОЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ НАГРОМАДЖЕННЯ ЙОНІВ**  
**КАДМІЮ І СВИНЦЮ У *Brassica oleracea var. capitata* L.**  
**ТА *Beta vulgaris* L. В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ**

03.00.16 – екологія  
Сільськогосподарські науки

Подається на здобуття наукового ступеня  
кандидата сільськогосподарських наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

\_\_\_\_\_ А. І. Дидів

Науковий керівник:

**Снітинський Володимир Васильович**  
доктор біологічних наук, професор,  
академік НААН

Львів – 2019

## АНОТАЦІЯ

*Дудів А. І.* Агроекологічні аспекти нагромадження йонів кадмію і свинцю у *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. в умовах Західного Лісостепу. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук за спеціальністю 03.00.16 «Екологія» (101 – Екологія). – Львівський національний аграрний університет Міністерство освіти і науки України, Львів, 2019.

Упродовж останніх десятиліть у зв'язку з бурхливим розвитком промисловості спостерігається значне зростання хімічного забруднення агробіоценозів важкими металами (ВМ). З поміж важких металів кадмій і свинець належить до небезпечних хімічних елементів I-го класу. Особливої актуальності набуває забруднення важкими металами ґрунту, як природного буфера і головного біоаккумулятора переміщення техногенних мас екополютантів. Території агрофітоценозів, на яких виявлено забруднення ґрунту важкими металами, потребують особливого підходу у системі удобрення, структури сівозміни, обробітку ґрунту та меліорації.

Збільшення вмісту важких металів у ґрунті веде до збільшення їх концентрації у рослинах та пригнічує їх ріст і розвиток. Стійкість системи “ґрунт – рослина” до транслокації ВМ складається зі здатності ґрунту зменшувати їх концентрацію у ґрунтовому розчині та толерантності самих рослин. З огляду на це перевищені рівні небезпечних рухомих форм  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ , особливо на кислих, бідних на вміст гумусу і глини, легкого гранулометричного складу ґрунтах, здатні знижувати урожайність, а найважливіше якість сільськогосподарської продукції.

За таких умов актуальним є питання вирощування якісної рослинної продукції, зокрема овочів. В Україні капуста білоголова (*Brassica oleracea var. capitata* L.) та буряк столовий (*Beta vulgaris* L.) є одними з найпоширеніших овочевих культур. Однак виростити екологічно безпечну овочеву продукцію є надзвичайно актуальним питанням, оскільки близько п'ятої частини

сільськогосподарських земель в Україні в значній мірі забруднені ВМ.

Тому сьогодні актуальними з наукових позицій і важливими з практичної точки зору є дослідження, направлені на розроблення агротехнічних заходів спрямованих на зменшення нагромадження йонів кадмію і свинцю в *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за допомогою хімічної детоксикації ґрунту з відновленням його родючості та одержання екологічно безпечної овочевої продукції.

У дисертаційній роботі вперше описано результати комплексних досліджень, які проводилися в умовах Західного Лісостепу України на темно-сірих опідзолених легкосуглинкових ґрунтах з вивчення рухомості йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у ґрунті та їх нагромадження в капусті білоголової та буряку столовому за використання добрив та кальцієвих меліорантів, а також їх вплив на ґрунтову біоту та рослини.

Доведено, що раціональне застосування органічних і мінеральних добрив на фоні вапнування ґрунту сприяє підвищенню інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту, активізує мікробіологічну та ферментативну активність ґрунту, зменшує токсичний вплив йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на ґрунтову біоту.

Новизною у роботі стало те, що вперше проаналізовано токсикодинаміку кадмію та свинцю за фазами вегетації, яка пов'язана з активністю пероксидази в листках *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L., як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ .

Проаналізовано процеси нагромадження йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в різних органах рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за змодельованих рівнів забруднення ґрунту цими важкими металами. Уперше здійснено порівняльну оцінку фітотоксичного впливу йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на біометричні та фітопродуктивні параметри рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за фенофазами росту і розвитку.

Доведено, що застосування органічних і мінеральних добрив на фоні вапнування ґрунту підвищують урожайність та якість капусти білоголової і буряка столового. Встановлено позитивний ефект від сумісного застосування органічних

добрив та меліорантів у хімічній детоксикації рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті та істотного зниження транслокації цих йонів важких металів у рослини *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. впродовж вегетаційного періоду.

У результаті аналізу встановлено, що в агрохімічних параметрах ґрунту за внесення добрив та меліорантів відзначали певні зміни, зокрема знизилась кислотність на 13,7-23,2%, зріс ступінь насичення ґрунту основами до 88,8-93,4%, а також підвищився на 5,1-9,2% у ґрунті вміст гумусу. Застосування органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування дозволило у більшій мірі забезпечити рослини *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. доступними елементами живлення (N, P, K, Ca, Mg і S), аніж внесення тільки міндобрив, що позитивно позначилося на ростових процесах.

Встановлено, що за змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем, відзначали більш токсичну дію на біологічну та ферментативну активність ґрунту, аніж кадмієм, що позначилося на меншій інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту та інтенсивності ґрунтових ферментів. Однак за використання органічних і мінеральних добрив на фоні вапнування значно знизилась токсична дія йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  на ґрунтові ферменти, а інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту збільшилась на 17-33%. Проаналізовано, що за ступенем чутливості до забруднення ґрунту Cd та Pb ґрунтові ферменти розташувалися у такий ряд: пероксидаза  $\leq$  поліфенолоксидаза  $\leq$  каталаза  $\leq$  дегідрогеназа  $\leq$  фосфатаза  $\leq$  інвертаза  $\leq$  уреаза.

Доведено, що при внесенні добрив та меліорантів, за вирощування *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L, концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті зменшилась на 15-67%, порівняно з контрольним варіантом (без добрив). Встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до зростання концентрації рухомих та валових форм важких металів у ґрунті на всіх варіантах дослідження. Застосування органо-мінеральної системи удобрення виявилось більш ефективне у зв'язуванні рухомих фракцій  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, аніж використання тільки мінеральної системи удобрення. Проте за використання органічної системи удобрення рухомі

форми  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті міцно закріплювалися ґрунтово-вбирним комплексом, порівняно з вищезгаданими варіантами. Вапнування ґрунту суттєво знижувало рухомість кадмію та свинцю у ґрунті. Найбільша концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  була на контролі (без добрив). Із зменшенням рухомості ВМ, збільшувалась концентрація їх валових фракцій у ґрунті, які переходили у більш стійкі та недоступні комплекси для ґрунтової біоти і рослин

Встановлено тісний кореляційний зв'язок ( $r = 0,81-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті за різних рівнів змодельованого забруднення та концентрацією цих елементів у *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. За внесення  $\text{CaCO}_3$  в нормі 5 т/га на 5–7 варіантах відзначали в 3-4 рази менше нагромадження йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  в рослини капусти білоголової та буряка столового, порівняно з іншими варіантами експерименту.

З'ясовано особливості акумуляції та розподілу йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  в окремих органах і тканинах *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. Встановлено, що найбільше кадмій та свинець концентрувався в підземній частині кореневої системи *Brassica oleracea var. capitata* L. (0,235 та 4,497 мг/кг), що більше 14-19 раз, аніж в головці. У зовнішньому качані концентрація Cd та Pb становила 0,081 та 1,946 мг/кг, а у внутрішньому качані головки 0,066 та 1,475 мг/кг. У внутрішніх листках головки капусти (їстівної частини) відзначали найменшу концентрацію Cd та Pb, відповідно 0,017 та 0,238 мг/кг. З'ясовано, що в рослинах *Beta vulgaris* L. найбільше кадмій та свинець нагромаджувалися у підземній частині коренеплоду (хвостіку), відповідно 0,324 та 1,465 мг/кг. У м'якуші коренеплоду концентрація Cd та Pb становила 0,027 та 0,517 мг/кг. В листовій пластині концентрація Cd була в 3,5 рази більша, аніж в коренеплоді, тоді як Pb, навпаки в 1,58 раз менша.

Вперше встановлено, що токсикодинаміка кадмію та свинцю пов'язана з активністю пероксидази в листках *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L., як індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$ . Доведено, що активність пероксидази в листках капусти білоголової та буряка столового змінювалася за основними фазами розвитку і залежала від концентрації кадмію та свинцю в рослинах, внесених норм та співвідношень добрив

і меліорантів, а також змодельованих рівнів забруднення ґрунту ВМ.

Отримані результати свідчать, із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем проявлялася фітотоксична дія йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на зменшення біометричних параметрів рослин *Brassica oleracea* var. *Capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за фенофазами розвитку, а в кінцевому результаті це вплинуло на зменшення урожайності та зниження якості продукції. Проте значний вплив на збільшення урожайності та підвищення якості капусти білоголової і буряка столового мали внесені добрива та кальцієві меліоранти.

Застосування органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту за вирощування капусти білоголової та буряка столового значно знизило рухомість катіонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту цими ВМ, а відтак зменшило їх токсичний вплив на ґрунтову біоту та транслокацію в овочеві рослини, а в цілому підтвердило ефективність проведених заходів з хімічної детоксикації змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Отримані результати дисертаційного дослідження в подальшому можуть бути практично використані у вирішенні проблеми детоксикації, збереженні та відновленні родючості забруднених важкими металами темно-сірих опідзолених ґрунтів, одержання екологічно-безпечної овочевої продукції, а також подані, як рекомендації по встановленні екологічної рівноваги в агроєкосистемах.

Запропоновано комплексне застосування органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту під буряк столовий в нормі Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га, а під капусту білоголову в нормі Біогумус 8 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та  $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га, що дасть можливість зменшити на 33–72% концентрацію рухомих форм  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у ґрунті та знизити 2,4–4,5 рази нагромадження йонів важких металів у рослинах *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L.

**Ключові слова:** важкі метали, забруднення ґрунту, біологічна активність ґрунту, капуста білоголова, буряк столовий, органічні та мінеральні добрива, вапнування ґрунту, детоксикація, ферменти, урожайність, якість врожаю.

## Список публікацій здобувача за темою дисертації

### Публікації у наукових фахових виданнях

1. Дидів О. Й., Дидів А. І. Екологічні особливості вирощування капусти білоголової пізньостиглої. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2008. № 12 (2). С. 64–67.
2. Дидів А. І. Заходи щодо нейтралізації важких металів у ґрунтах агроландшафту і зменшення їх транслокації в овочеві рослини. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2011. № 15 (1). С. 393–396.
3. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив системи удобрення на транслокацію іонів важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$ ) у буряк столовий. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2012. № 16. С. 105–109.
4. Дидів А. І. Транслокація іонів важких металів (Cd і Pb) в буряк столовий за використання різної системи удобрення. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник Інституту овочівництва і багтанництва*. 2012. №. 58. С. 157–162.
5. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив удобрення на транслокацію іонів кадмію в капусту білоголову на темно-сірому ґрунті. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. 2013. Вип. 183, ч. 1. С. 219–223.
6. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив удобрення на рухомість іонів важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$ ) у ґрунті за вирощування буряка столового. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2013. №17 (3). С. 23–28.
7. Дидів А. Екотоксикологічна оцінка якості капусти білоголової вирощеної на забрудненому важкими металами ґрунті залежно від системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2014. № 18. С. 41–46.
8. Снітинський В., Дидів А. Вплив кадмію та свинцю на біохімічний склад буряка столового за використання різної системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2015. № 19. С. 21–25.

9. Снітинський В., Дидів А. Біохімічний склад капусти білоголової залежно від рівня забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання меліорантів та різних системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2016. № 20. С. 3–13.

10. 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.

### **Публікації у виданнях, що включені до міжнародних наукометричних баз**

11. Снитынский В. В., Дыдив А. И. Эффективность различной систем удобрения и мелиорантов на подвижность свинца в почве и его влияние на биохимический состав капусты белокочанной. *Овощеводство: сборник научных трудов. Национальная академия наук Беларуси*. 2016. Т. 24. С. 136–143.

12. 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.

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

14. Снітинський В., Дидів А., Качмар Н. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України: агрономія*. 2018. Вип. 286. С. 329–338.



## Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

15. Дидів А. І. Вплив системи удобрення на міграційну здатність іонів важких металів в овочеві рослини. *Екологізація сталого розвитку і ноосферна перспектива інформаційного суспільства*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, студентів, аспірантів і молодих учених, 3–5 жовтня 2012 р. Харків, 2012. С. 64–65.

16. Снітинський В. В., Дидів А. І. Транслокація важких металів у рослини столового буряка залежно від удобрення. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали тез Міжнародного науково-практичного форуму, 18–20 вересня 2013 року. Львів, 2013. С. 10–13.

17. Дидів А. І. Система удобрення – ефективний засіб зменшення рухомості кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування столових буряків. *Екологічний моніторинг, інноваційні та ресурсозберігаючі технології в системі захисту картоплі і овочевих культур від шкідливих організмів*: тез. доп. Всеукраїнської наук.-практ. конф., 29–30 травня 2014 року. Житомир, 2014. С. 25-29.

18. Дидів А. І. Рухомість кадмію і свинцю у ґрунті та їх транслокація у рослини капусти білоголової за різної системи удобрення. *Екологізація сталого розвитку інформаційного суспільства*: матеріали тез Міжнародної науково-практичної конференції, студентів, аспірантів і молодих учених, 5-6 листопада 2014 р., ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Харків, 2014. С. 65–67.

19. Снітинський В., Дидів А. Антагонізм та синергізм макро- та мікро елементів у формуванні якісного складу буряка столового за використання різної системи удобрення. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали XV Міжнар. наук.-практ. Форуму, 24–26 вересня 2015 р. Львів, 2015. С. 18–28.

20. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив рухомих форм свинцю на якість

капусти білоголової за використання різних систем удобрення та меліорантів. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVII Міжнародного науково-практичного форуму, 14–16 вересня 2016 р. Львів, 2016. С. 27–33.*

21. Дидів А. І. Нагромадження кадмію і свинцю в рослинах капусти білоголової залежно від системи удобрення. *Овочівництво і багтанництво (історичні аспекти, сучасний стан, проблеми і перспективи розвитку): матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму: Науковий тиждень у Крутах – 2016, 21–22 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.)* ДС «Маяк» ІОБ НААН. Ніжин: Лисенко М.М., 2016. Т. 2. С. 92–94.

22. Дыдив А. И. Эффективность удобрения и мелиорантов на подвижность кадмия и свинца в почве их влияние на качество капусты белокочанной. *Перспективы научного обеспечения овощеводства: Международная научно-практическая конференция, 21-24 июля 2016 года, аг. Самохваловичи-2016, РУП «Институт овощеводства» Беларусь. Самохваловичи, 2016. С. 62–64.*

23. Дыдив А. И. Влияние различной системы удобрения и мелиорантов на качественный состав столовой свеклы в зависимости от уровня загрязнения почвы кадмием и свинцом. *Почва – удобрение – урожай: Международная научно-практическая конференция посвященная 95-летию кафедр почвоведения и агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и 110- летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БССР, доктора с.-х наук, проф. Р. Т. Вильдфлуша, 11–12 октября 2016 г., г. Горки, Беларусь. Горки: БГСХА, 2016. С. 75–76.*

24. Снітинський В., Дидів А. Фітопродуктивність буряка столового залежно від рівнів забруднення ґрунту кадмієм за використання меліорантів та різних систем удобрення. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVIII Міжнародного наук.-практ. форуму, присвяченого пам'яті інженера Ярослава Зайшлого (м. Дубляни, 20-22 вересня 2017 р.).* Львів, 2017. С. 196–201.

25. Дидів А. І. Зменшення токсичності важких металів за використання

добрива та меліорантів при вирощуванні буряка столового. *Теорія і практика інноваційних розробок молодих вчених у ґрунтово-агрохімічній науці*: матеріали Всеукраїнського наук.-практ. круглого столу для молодих вчених (м. Харків, 18- 19 трав. 2017 р.). Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. С. 56–58.

26. Dydiv A. I., Kachmar N. V., Bahday T. V. Influence of fertilizer and ameliorants on the quality of beet root dining in case of soil contamination cadmium. *Пермакультура та екологічно-безпечне землеробство*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Ужгород, 24–25 лютого 2018 р.). Ужгород, 2018. С. 19–21.

## ABSTRACT

*Dydiv A. I.* Agroecological aspects of accumulation of cadmium and lead ions in *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. in the conditions of the Western Forest Steppe. – Qualification scientific work on the rights of manuscripts.

The dissertation for the scientific degree of Candidate of Agriculture on the specialty 03.00.16 “Ecology” (101 – Ecology). – Lviv National Agrarian University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2019.

Over the past decades, due to the rapid development of industry, there is a significant increase in the chemical pollution of agrobiocenoses by heavy metals (HM). Among the heavy metals cadmium and lead are dangerous chemical elements of 1-st class. Of particular urgency is the heavy metal pollution of soil as a natural buffer and the main of mass pollutants bioaccumulations. Territories of agrophytocenoses, in which soil contamination by heavy metals has been detected, require a special approach in fertilizer system, crop rotation, soil cultivation and melioration.

The increase of heavy metals in the soil leads to increased concentration in plants and inhibits their growth and development. The stability of the system "soil - plant" to translocation of heavy metals consists of the ability of the soil to reduce their concentration in the soil solution and tolerance of the plants. In view of this, the increased of levels of dangerous moving forms of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$ , especially acidic, poor in the content of humus and clay, light particle size distribution of soils, can reduce yields, and the most important quality of agricultural products.

Under such conditions the vital question is of growing high-quality plant products, including vegetables. In Ukraine white cabbage (*Brassica oleracea var. capitata* L.) and beetroot (*Beta vulgaris* L.) are among the most common vegetable crops. However, growing ecologically safe vegetable products is an extremely topical issue, since about one fifth of agricultural land in Ukraine is heavily contaminated with heavy metals.

So today to scientifically relevant and important from a practical point of view is research aimed at developing agrotechnical measures to reduce the accumulation of cadmium and lead ions in plants *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L.

with the help of chemical detoxification of the soil with the restoration of its fertility and the production of environmentally safe vegetable products.

In the dissertation for the first time the results of complex researches, which were carried out in the conditions of the Western Forest-Steppe of Ukraine on dark gray podzolized loamy soils, aimed at studying the mobility of ions  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in soil and their accumulation in white cabbage and beetroot by applying the different systems of fertilizers and calcium meliorants, and too their effects on soil biota and plants.

It is proved that the rational application of organic and mineral fertilizers against the background of liming soil contributes to increasing the intensity of the release of carbon dioxide from the soil, activates the microbiological and enzymatic activity of the soil, reduces the toxic effect of the ions of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  on the soil biota.

The novelty in the dissertation is that for the first time analyzed toxicodynamics cadmium and lead by phases of the growing season, which is related to the activity of peroxidase in leaves of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L., as an indicator of stress conditions of plants to phytotoxic action of ions  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$ .

Analyzed the processes of accumulation of ions of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in various organs of plants *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. at simulated contamination levels of soil by these heavy metals. For the first time a comparative estimation of the phytotoxic influence of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  ions on biometric and phytoproduction parameters of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. by phenophases of growth and development plants.

It is proved that application of organic and mineral fertilizers against the background of liming soil increases the yield and quality of white cabbage and beetroot. Established of positive effect of the combined use of organic fertilizers and meliorants in the chemical detoxification of mobile forms of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in the soil and a significant reduction of translocation of these ions of heavy metals in plants *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. during the growing season.

As a result of the analysis it was established, that in the agrochemical parameters of the soil by applying of fertilizers and meliorants, certain changes were noted, in particular, the acidity decreased by 13,7-23,2%, the degree of soil saturation with the

bases increased to 88,8-93,4%, and also increased by 5,1-9,2% soil humus content. The application of the organic and organo-mineral fertilizer system against the background of liming soil allowed to provide to a greater extent the plants of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. of available nutrients (N, P, K, Ca, Mg and S), rthan the applying of only mineral fertilizers, which positively affected the growth processes.

It was established, that at simulated contamination levels of soil by lead, mark a more toxic effect on the biological and enzymatic activity of the soil, than cadmium, which affected the lower intensity of carbon dioxide release from the soil and the lower intensity of soil enzymes. However, the toxic effect of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  ions on soil enzymes decreased significantly with the use of organic and mineral fertilizers against the background of liming, while the intensity of  $\text{CO}_2$  emissions from the soil increased by 17-33%. It was analyzed, that the soil enzymes are located at the degree of soil sensitivity to contamination of Cd and Pb were in such a row: peroxidase  $\leq$  polyphenoloxidase  $\leq$  catalase  $\leq$  dehydrogenase  $\leq$  phosphatase  $\leq$  invertase  $\leq$  urease.

Proved, that the concentration of mobile forms of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in the soil decreased on 15-67% by applying the fertilizers and meliorants, compared to the control (without fertilizers) at growing *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. It was established that, by increasing the simulated level of soil contamination by cadmium and lead from 1 to 5 MPC there was observed the only tendency to the increase of concentration mobile and gross forms of heavy metals in the soil on all variations of the experiment. The application of the organo-mineral fertilizer system proved to be more effective in binding the mobile fractions of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in the soil, rather than using only the mineral fertilizer system. However, by applying of organic fertilizer system, the moving forms of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  in the soil were firmly fixed by the soil absorbing complex, compared with the above-mentioned variants. The liming of soil significantly reduced the mobility of cadmium and lead in the soil. The highest concentration of the moving forms of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  was on the control (without fertilizers). With the decrease in the concentration of mobile forms of heavy metals, the concentration of their gross fractions in the soil increased, which became more stable and inaccessible complexes for soil biota and plants.

Establish, the of close correlation ( $r = 0,81-0,98$ ) between the concentration of mobile forms  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  in soil at different levels of simulated contamination and concentrations of these elements in plants of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. By applying of  $CaCO_3$  at norm 5 t/ha on 5-7 variants, 3-4 times less accumulation of the ions of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  in white cabbage plants and beetroot was noted, in comparison with other variants of the experiment.

The detected peculiarities of accumulation and dispensation of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  ions in separate organs and tissues of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. Research has established, that most of cadmium and lead concentrate in the underground part of the root system *Brassica oleracea var. capitata* L. (0,235 and 4,497 mg/kg), which is more than 14-19 times, than in the head. In the external stem the concentration of Cd and Pb was 0,071 and 1,946 mg/kg, while in the inner stalk of heads was 0,066 and 1,475 mg/kg. In inner leaf of heads cabbage (edible of part) marked the lowest concentration of Cd and Pb, respectively 0,017 and 0,238 mg/kg. It was found that in plants *Beta vulgaris* L. highest cadmium and lead accumulated in the underground part of root (tail), respectively 0,324 and 1,465 mg/kg. In the inside of root crop the concentration of Cd and Pb was 0,027 and 0,517 mg/kg. In the leaves the concentration of Cd was 3,5 times higher than in the root crop, while Pb, by contrast, was 1,58 times lower.

It was first established, that toxicodynamics of cadmium and lead is related to the activity of peroxidase in the leaves of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. as an indicator of the stress state of plants to the phytotoxic activity of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  ions. Proved, that the peroxidase activity in leaves of white cabbage and beetroot varied by major phases of development and dependent on the concentration of cadmium and lead in plants, and too norm and alignment of fertilizers and meliorants, simulated levels of soil contamination with heavy metals.

The obtained results indicate, with an increase in the simulated levels of soil contamination cadmium and lead that the increased phytotoxic effects of  $Cd^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  ions on the reduction of biometric parameters of *Brassica oleracea var. capitata* L. and *Beta vulgaris* L. in the course of phenophases of growth, and in the end results it affected the reduction of yield and decrease of products quality. However, a significant impact on

increasing the yield and quality of white cabbage and beetroot were made fertilizers and calcium ameliorants.

The application of organic (var. 6) and organo-mineral (var 7) system of fertilizer against background of liming soil at growing white cabbage and beetroot significantly reduced the mobility of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  cations at different levels of simulated soil contamination of these heavy metals, and consequently reduced their toxicity effect on soil biota and lowered translocations in vegetable plants, and too in general, confirmed the effectiveness of the measures taken on chemical detoxification of contamination soil with cadmium and lead.

The obtained results of the dissertation research in the future can be practically used in solving the problem of detoxification, preservation and restoration of fertility of dark gray podzolized soils contaminated with heavy metals, production of ecologically safe vegetable products, and also presented as recommendations for establishing ecological equilibrium in agroecosystems.

Proposed complex applying of organic and organo-mineral fertilizer system together with liming soil for growing beetroot at norms Biohumus 4 t/ha +  $\text{CaCO}_3$  5 t/ha and  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Biohumus 2 t/ha +  $\text{CaCO}_3$  5 t/ha, and for growing white cabbage at norms Biohumus 8 t/ha +  $\text{CaCO}_3$  5 t/ha and  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Biohumus 4 t/ha +  $\text{CaCO}_3$  5 t/ha, which will reduce the concentration of mobile forms of  $\text{Cd}^{2+}$  and  $\text{Pb}^{2+}$  by 33-72% in the soil and reduce the 2,4-4,5 times accumulation of heavy metal ions in *Brassica oleracea* var. *capitata* L. and *Beta vulgaris* L.

**Key words:** heavy metals, soil contamination, biological activity of soil, white cabbage, beetroot, organic and mineral fertilizers, liming soil, detoxification, enzymes, yield, quality of products.



**List of publications by the external PhD student on the subject  
of the dissertation**

**Publications in specialized scientific journals**

1. Dydiv O. Y., Dydiv A. I. Ecological features of growing white cabbage. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2008. № 12 (2). P. 64–67.
2. Dydiv A. I. Measures to neutralization of heavy metals in soils of agrolandscapes and reduce their translocation to plant vegetables. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2011. № 15 (1). P. 393–396.
3. Snitynsky V. V., Dydiv A. I. Influence of fertilizing on translocation heavy metal ions ( $\text{Cd}^{2+}$  i  $\text{Pb}^{2+}$ ) in the beet. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2012. № 16. P. 105–109.
4. Dydiv A. I. Translocation of heavy metal ions (Cd and Pb) in beetroot at using of different fertilizer systems. *Interdepartmental thematic scientific collection of the Institute of Vegetable and Melons*. 2012. №. 58. P. 157–162.
5. Snitynsky V. V., Dydiv A. I. Effect of fertilizers on translocation of cadmium ions in white cabbage on a dark-gray soil. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. agronomy*. 2013. №. 183, part 1. P. 219–223.
6. Snitynsky V. V., Dydiv A. I. Influence of fertilizing on mobility of the heavy metal ions ( $\text{Cd}^{2+}$  i  $\text{Pb}^{2+}$ ) in soil at growing of beetroot. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2013. №17 (3). P. 23–28.
7. Dydiv A. Ecotoxicological assessment of the white cabbage farmed on contaminated soil by heavy metals depending of fertilizer system. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2014. № 18. P. 41–46.
8. Snitynsky V., Dydiv A. Influence of cadmium and lead on the biochemical composition of table beet when using the different systems of fertilization. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2015. № 19. P. 21–25.
9. Snitynsky V., Dydiv A. Biochemical composition of white cabbage depending on the level of soil contamination with cadmium and lead by applying the meliorants and

different systems of fertilizing. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2016. № 20. P. 3–13.

10. Dydiv A. The influence of cadmium and lead on the phytoproductivity of beetroot by applying the meliorants and different of fertilizers systems. *Herald of Lviv National Agrarian University: agronomy*. 2017. № 21. P. 110–116.

### **Publication included to the international science journals bases**

11. Snitynsky V., Dydiv A. The effectiveness of various systems of fertilizer and ameliorants on mobility of lead in the soil and its effect on the biochemical composition of white cabbage. *Vegetable: a collection of scientific papers. The National Academy of Sciences of Belarus*. 2016. Vol. 24. P. 136–143.

12. Dydiv A. Influence of fertilizers and ameliorants on the quality of beet root dining in case of soil contamination cadmium. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: agronomy*. 2017. №. 269. P. 234–241.

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

14. Snitynsky V., Dydiv A., Kachmar N. Influence of fertilizers and meliorants on the phytoproductivity of white cabbage dining in case of soil contamination lead. *Scientific Herald of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: agronomy*. 2018. №. 286. P. 329–338.

### **Publication, certifying approbation of the dissertation materials**

15. Dydiv A. I. Influence of fertilizer system on translocation ability of ions heavy metals in the vegetables plants. *Ecologization of sustainable development and the noosphere perspective of the information society: theses of the International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists, 3–5 October*

2012. Kharkiv, 2012. P. 64–65.

16. Snitynsky V. V., Dydiv A. I. Translocation of heavy metals in plants of beet depending of fertilization. *Theoretical bases and practical aspects of using resource-saving technologies for increasing the efficiency of agricultural production and development of rural territories*: materials of theses of the International scientific-practical forum, 18–20 September 2013. Lviv, 2013. P. 10–13.

17. Dydiv A. I. System of fertilizer - effective means of reducing cadmium and lead in the soil when growing beets. *Ecological monitoring, innovative and resource-saving technologies in the system of protection of potatoes and vegetable crops from harmful organisms*: theses of the reports of the Ukrainian scientific-practical conference, 29–30 May 2014. Zhytomyr, 2014. P. 25-29.

18. Dydiv A. I. Mobility of cadmium and lead in the soil and their translocation in white cabbage plants at different fertilizer system. *Ecologization of the sustainable development of the information society*: materials of theses of the International scientific-practical conference of students, graduate students and young scientists, 5-6 November 2014., KhNAU im. V.V. Dokuchaieva. Kharkiv, 2014. P. 65–67.

19. Snitynsky V., Dydiv A. Antagonism and synergy of macro and micro elements in the formation of qualitative composition of beet by applying different systems of fertilizing. *Theoretical bases and practical aspects of using resource-saving technologies for increasing the efficiency of agro-industrial production and development of rural territories*: materials of the XV International scientific-practical forum, 24–26 September 2015. Lviv, 2015. P. 18–28.

20. Snitynsky V. V., Dydiv A. I. The impact of mobile forms of lead on quality of white cabbage by using of different system of fertilizer used and ameliorants. *Theory and practice of development of agro-industrial complex and rural territories*: materials of the XVII International scientific-practical forum, 14–16 September 2016. Lviv, 2016. P. 27–33.

21. Dydiv A. I. The accumulation of cadmium and lead in plants of cabbage, depending on the fertilizer system. *Vegetable and Melon Growing (historical aspects, current state, problems and prospects of development)*: materials of the II International scientific-practical conference (within the framework of the 1-st scientific forum:

*Scientific week in Kruty – 2016*, 21–22 March 2016., s. Kruty, Chernihivska obl.) DS «Maiak» IOB NAAN. Nizhyn: Lysenko M.M., 2016. Vol. 2. P. 92–94.

22. Dydiv A. I. The effectiveness of fertilizers and ameliorants on mobility of cadmium and lead in the soil, their influence on the quality of white cabbage. *Prospects for scientific support of vegetable growing*: International scientific-practical conference, 21-24 July 2016, Samokhvalovychy-2016, RUP «Institute of Vegetable» Belarus. Samokhvalovychy, 2016. P. 62–64.

23. Dydiv A. I. The influence of various systems of fertilizer and ameliorants on the quality of the composition of beet, depending on the level of soil contamination by cadmium and lead. *Soil - fertilizer - harvest*: International scientific-practical conference dedicated to the 95th anniversary of the departments of soil science and agrochemistry of the Belarusian State Agricultural Academy and the 110th anniversary of the birth of the honored scientist, doctor of agricultural sciences, prof. R. T. Vyldflusha, 11–12 October 2016, Gorki, Belarus. Gorki: BHSKhA, 2016. P. 75–76.

24. Snitynsky V., Dydiv A. Phytoproductivity of beet depending on the levels of soil cadmium contamination for the use of meliorants and various fertilizer systems. *Theory and practice of development of agro-industrial complex and rural territories*: materials of the XVIII International scientific-practical forum, dedicated to the memory of engineer Yaroslav Zayshly (Dubliany, 20-22 September 2017). Lviv, 2017. P. 196–201.

25. Dydiv A. I. Reducing the toxicity of heavy metals by using fertilizers and ameliorants at growing beet. *The theory and practice of innovative developments of young scientists in soil-agrochemical science*: theses of the reports of the Ukrainian scientific-practical conference for young scientists (Kharkiv, 18- 19 May 2017). Kharkiv: FOP Brovin O.V., 2017. P. 56–58.

26. Dydiv A. I., Kachmar N. V., Bahday T. V. Influence of fertilizer and ameliorants on the quality of beet root dining in case of soil contamination cadmium. *Permaculture and ecologically safe agriculture*: materials of the International scientific-practical conference (Uzhgorod, 24–25 February 2018 p.). Uzhgorod, 2018. P. 19–21.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	24
ВСТУП.....	25
<b>РОЗДІЛ 1. ЗАБРУДНЕННЯ АГРОБІОЦЕНОЗІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЗАХОДИ З ДЕТОКСИКАЦІЇ ҐРУНТУ (огляд літератури).....</b>	<b>31</b>
1.1. Масштаби техногенного забруднення кадмієм і свинцем.....	31
1.2. Взаємодія йонів кадмію і свинцю з ґрунтом та іншими речовинами...	35
1.3. Фітотоксичність сполук кадмію та свинцю.....	42
1.4. Заходи з детоксикації ґрунту забрудненого важкими металами.....	45
1.4.1. Вапнування ґрунту.....	51
1.4.2. Збагачення ґрунту органічною речовиною та відтворення його родючості за використання добрива Біогумус.....	54
Висновки до розділу 1.....	57
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1.....	58
<b>РОЗДІЛ 2. УМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОФІТОЦЕНОЗАХ...</b>	<b>70</b>
2.1. Кліматичні умови у роки проведення досліджень.....	70
2.2. Характеристика ґрунту дослідної ділянки.....	75
2.3. Методика польових і лабораторних досліджень.....	83
Висновки до розділу 2.....	95
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2.....	95
<b>РОЗДІЛ 3. ЗМІНИ АГРОХІМІЧНИХ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ҐРУНТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР І ВАПНУВАННЯ.....</b>	<b>101</b>
3.1. Агрохімічні показники ґрунту за вирощування капусти білоголової.....	101
3.2. Агрохімічні показники ґрунту за вирощування буряка столового.....	104

3.3. Вплив йонів кадмію та свинцю на біологічну та ферментативну активність ґрунту.....	107
3.3.1. Інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування капусти білоголової.....	107
3.3.2. Ферментативна активність ґрунту за вирощування капусти білоголової.....	111
3.3.3. Інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування буряка столового.....	117
3.3.4. Ферментативна активність ґрунту за вирощування буряка столового.....	121
Висновки до розділу 3.....	126
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3.....	127
<b>РОЗДІЛ 4. РУХОМІСТЬ КАДМІЮ І СВИНЦЮ У ҐРУНТІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ Й ВАПНУВАННЯ..</b>	<b>130</b>
4.1. Концентрація валових та рухомих форм кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової.....	130
4.2. Концентрація валових та рухомих форм кадмію і свинцю у ґрунті за вирощування буряка столового.....	139
Висновки до розділу 4.....	148
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4.....	150
<b>РОЗДІЛ 5. ТРАНСЛОКАЦІЯ КАДМІЮ ТА СВИНЦЮ З ҐРУНТУ У РОСЛИНИ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО.....</b>	<b>152</b>
5.1. Нагромадження та розподіл кадмію і свинцю у рослинах капусти білоголової.....	152
5.2. Фенологічна динаміка активності пероксидази у листках капусти білоголової як індикатор стресу в рослинах за дії йонів кадмію та свинцю	164
5.3. Нагромадження та розподіл кадмію і свинцю у рослинах буряка столового.....	168

5.4. Фенологічна динаміка активності пероксидази у листках буряка столового як індикатор стресу в рослинах за дії йонів кадмію та свинцю...	178
Висновки до розділу 5.....	182
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 5.....	184
<b>РОЗДІЛ 6. ВПЛИВ КАДМІЮ ТА СВИНЦЮ НА РІСТ І РОЗВИТОК</b>	
<b>РОСЛИН КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО ЗА</b>	
<b>ВИКОРИСТАННЯ ДОБРІВ І ВАПНУВАННЯ ҐРУНТУ.....</b>	
	187
6.1. Біометричні параметри рослин капусти білоголової залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.....	187
6.2. Біометричні параметри рослин буряка столового залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.....	190
Висновки до розділу 6.....	193
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 6.....	194
<b>РОЗДІЛ 7. ВПЛИВ ДОБРІВ ТА МЕЛІОРАНТІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ І</b>	
<b>ЯКІСТЬ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО ЗА РІЗНИХ</b>	
<b>РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ КАДМІЄМ І СВИНЦЕМ.....</b>	
	195
7.1. Урожайність і товарність капусти білоголової.....	195
7.2. Біохімічний склад продукції капусти білоголової.....	198
7.3. Урожайність і товарність буряка столового.....	201
7.4. Біохімічний склад продукції буряка столового.....	205
Висновки до розділу 7.....	209
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 7.....	210
ВИСНОВКИ.....	212
ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ.....	215
ДОДАТКИ.....	216

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

Å	– ангстрем, позасистемна одиниця вимірювання довжини, дорівнює $10^{-10}$ метра, або одній десятимільйонній міліметра;
ААБ	– ацетатно-амонійний буферний розчин;
ВМ	– важкі метали;
ГДК	– гранично допустима концентрація;
ГВК	– ґрунтовий вбиральний комплекс;
мг.-екв	– міліграм-еквівалентах;
мг/кг	– міліграм на кілограм речовини;
$K_{бп}$	– коефіцієнт біологічного поглинання;
$K_n$	– коефіцієнт небезпеки;
МД	– мінеральні добрива;
ЄКО	– ємність катіонного обміну;
$Cd^{2+}$	– рухома форма катіону кадмію з валентністю 2+;
$Pb^{2+}$	– рухома форма катіону свинцю з валентністю 2+;
НРК	– азот, фосфор, калій;
$Hr$	– гідролітична кислотність;
$pH$	– від’ємний десятковий логарифм концентрації йонів водню ( $H^+$ );
$pH_{сол.}$	– показник концентрації іонів водню сольової витяжки.
$S$	– сума ввібраних основ;
$T$	– ємність вбирання;
$V$	– ступінь насичення ґрунту основами;
$НІР_{05}$	– найменша істотна різниця за 5% рівня значущості;
$R^2$	– коефіцієнт детермінації;
$r$	– коефіцієнт парної кореляції;
$p$	– значення критерію вірогідності.



## ВСТУП

**Актуальність теми.** Підприємства України щороку викидають в атмосферу близько 16 млн т. шкідливих речовин, у тому числі важких металів (ВМ), велика кількість яких потрапляє на поверхню землі та акваторій. За оцінками вчених Української академії аграрних наук, понад 20% сільськогосподарських земель України тією чи іншою мірою забруднені ВМ, такими як Cd, Pb, Hg, Zn, Ni, Co, Cr, Cu, Sn та ін. [50]. Забруднення агрофітоценозів важкими металами негативно впливає на екологічні функції ґрунту, а відтак змінює його фізико-хімічні властивості та пригнічує мікробіологічні процеси, погіршуючи тим самим родючість, що загалом зумовлює зниження врожайності і якості продукції рослинництва [1, 96].

З-поміж важких металів об'єктом постійної уваги агроекологічного моніторингу є кадмій та свинець, які характеризуються значною стійкістю, високою токсичністю, вираженими кумулятивними властивостями. Особливо небезпечними є рухомі форми  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у ґрунті, котрі й визначають рівень небезпечності для рослин, а в підсумку – для людини [48, 60, 85].

За умов хімічного забруднення агрофітоценозів важкими металами важливим питанням є забезпечення населення якісними продуктами харчування, важливе місце серед яких посідають овочі. Одними з найпоширеніших овочевих культур в Україні є капуста білоголова (*Brassica oleracea var. capitata* L.) та буряк столовий (*Beta vulgaris* L.). Проте біологічна стійкість (толерантність) цих овочевих рослин до токсичної дії йонів ВМ є незначною, що зумовлено генетично [97].

Тому сьогодні актуальне питання розробки, вивчення та практичного впровадження у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах ефективної і доступної, екологічно безпечної системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами, завдяки якій відбувається швидкодіюча детоксикація окультуреного ґрунту, забрудненого важкими металами, з відновленням його родючості, збільшенням захисних і буферних властивостей ґрунтової системи, та одержання екологічно безпечної продукції капусти білоголової і буряка столового [62].

### **Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.**

Дисертаційні дослідження є частиною науково-дослідної роботи, що велася упродовж 2009–2011 рр. кафедрою екології Львівського національного аграрного університету за темою «Дослідити стан і динаміку природних компонентів агроєкосистем Західного регіону України та розробити заходи щодо оптимізації їх ефективного функціонування в умовах антропогенезу» (номер державної реєстрації 0111U001253).

**Мета і завдання дослідження.** Метою досліджень було з'ясувати агроєкологічні аспекти нагромадження йонів кадмію і свинцю в рослинах капусти білоголової та буряка столового за використання добрив і кальцієвих меліорантів для підвищення урожаю і якості овочевих культур та підвищення родючості ґрунту.

Для досягнення поставленої мети були визначені такі завдання:

- дослідити трансформацію та розподіл кадмію і свинцю на темно-сірих опідзолених легкосуглинкових ґрунтах Західного Лісостепу України та визначити фактори, які їх спричиняють в умовах посиленого техногенного впливу на агроєкосистеми;

- встановити вплив добрив і меліорантів на агрохімічні параметри ґрунту та його мікробіологічний стан за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd і Pb;

- з'ясувати особливості процесів транслокації йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  з ґрунту у рослини капусти білоголової та буряка столового, а також їх розподіл та нагромадження в різних органах рослин у модельних відкритих системах з урахуванням рівнів забруднення ґрунту ВМ за використання добрив та кальцієвих меліорантів;

- дати оцінку фітотоксичності важких металів за показниками коефіцієнтів небезпеки та біологічного поглинання йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  рослинами *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за використання різної системи удобрення та вапнування ґрунту;

- визначити токсикодинаміку кадмію і свинцю за активністю пероксидази в листках капусти білоголової та буряка столового за фенофазами розвитку, як

індикатора стресових станів рослин до фітотоксичної дії йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$ ;

– встановити вплив йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  на біометричні параметри *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за фенофазами росту і розвитку рослин;

– облікувати урожай та визначити біохімічні показники якості продукції капусти білоголової та буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем за використання добрив та кальцієвих меліорантів;

– дати екологічну оцінку застосування карбонату кальцію, нітроаммофоски та Біогумусу в детоксикації темно-сірого опідзоленого ґрунту при змодельованих рівнях забруднення Cd і Pb для одержання екологічно-безпечної продукції буряка столового і капусти білоголової;

– обґрунтувати економічну ефективність та біоенергетичну оцінку застосування добрив і меліорантів за вирощування капусти білоголової та буряка столового;

– встановити кращі варіанти та подати пропозиції виробництву.

**Об’єкт досліджень** – процеси трансформації, акумуляції і транслокації йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у системі «ґрунт-рослина» під впливом природних чинників, добрив, кальцієвих меліорантів, а також рівнів змодельованого забруднення ґрунту цими важкими металами.

**Предмет досліджень** – закономірності впливу екологічного стану темно-сірого ґрунту на урожайність і якість капусти білоголової (*Brassica oleracea var. capitata* L.) та буряка столового (*Beta vulgaris* L.) при різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання добрив та кальцієвих меліорантів.

**Методи досліджень.** У процесі виконання поставлених завдань використано такі методи досліджень: польові (проведення польових мікроділяночних дослідів, відбір ґрунтових та рослинних зразків); лабораторні (фізико-хімічні, агрохімічні, біохімічні та мікробіологічні методи кількісних і якісних характеристик ґрунту і рослин); статистичні (встановлення достовірності

результатів досліджень); моделювання (змодельовані рівні забруднення ґрунту важкими металами у польових умовах).

**Наукова новизна одержаних результатів.** Основні наукові положення дисертаційних досліджень, що визначають новизну одержаних наукових результатів, полягають у такому:

*вперше:*

– проаналізовано фенологічну динаміку активності пероксидази у листках *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L., як індикатора стресу в рослинах за дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ ;

– з'ясовано процеси нагромадження та акумуляції йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у різних органах рослин *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за використання добрив та кальцієвих меліорантів;

– здійснено порівняльну оцінку фітотоксичного впливу йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на біометричні та фітопродуктивні параметри рослин *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за основними фенофазами росту і розвитку;

– доведено позитивний ефект від сумісного застосування органічних добрив та кальцієвих меліорантів у хімічній детоксикації рухомих форм кадмію та свинцю у ґрунті та істотного зменшення нагромадження йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у рослинах *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. впродовж вегетаційного періоду.

*удосконалено:*

– систему застосування добрив та вапнування за вирощування капусти білоголової та буряка столового для підвищення урожайності і якості продукції, зменшення рухомості важких металів та покращання родючості ґрунту;

*отримали подальший розвиток:*

– засади хімічної детоксикації, збереження та підвищення родючості забруднених важкими металами темно-сірих опідзолених ґрунтів Західного Лісостепу України та одержання екобезпечної овочевої продукції й встановлення екологічної рівноваги в агроєкосистемах.

**Практичне значення отриманих результатів.** За результатами досліджень автором розроблено, обґрунтовано та запропоновано виробництву комплексне

застосування органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту для капусти білоголової в нормі Біогумус 8 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га та  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га, а для буряка столового в нормі Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га та  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га, що дало змогу зменшити на 33–72% концентрацію рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, знизити у 2,4–4,5 рази нагромадження йонів важких металів у рослинах та одержати екобезпечну овочеву продукцію високої якості.

Основні результати досліджень пройшли виробничу перевірку та впроваджені у ФГ «Мелешка В. П.» Миколаївського району Львівської області (2012-2013 рр.), у ТзОВ «Зорепад» Жовківського району Львівської області (2014-2015 рр.), у ФГ «ЛІМ» Кам'яно-Бузького району Львівської області (2016-2017 рр.).

Результати впровадження засвідчили високу ефективність проведення хімічної меліорації у поєднанні з внесенням органічних і мінеральних добрив та одержання екобезпечної продукції капусти білоголової та буряка столового, що підтверджено довідкою.

Отримані дані дисертаційної роботи були використані при читанні лекцій з таких дисциплін, як «Екологічні основи застосування добрив», «Охорона ґрунтів», «Токсикологія», «Овочівництво», «Агроекологія», про що подано відповідну довідку.

**Особистий внесок здобувача.** Усі наукові результати, викладені в дисертації і винесені на захист, отримані автором особисто за методичного консультування наукового керівника. Дисертант здійснив пошук інформації та аналіз літературних матеріалів за темою роботи. Проведено лабораторно-польові дослідження, а також статистично опрацьовано і теоретично узагальнено одержані результати, які відображені у дисертації, наукових публікаціях та конференціях. Виконано науковий супровід впровадження результатів досліджень у виробництво.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення та результати дисертаційного дослідження були представлені та обговорені на: Міжнародній науково-практичній конференції, студентів, аспірантів і молодих учених «Екологізація сталого розвитку і ноосферна перспектива інформаційного

суспільства» (Харків, 2012 р.); Міжнародному науково-практичному форумі «Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва і розвитку сільських територій» (Львів, 2013, 2015 рр.); Міжнародній науково-практичній конференції «Перспективи наукового забезпечення овочівництва» (Білорусь – Самохваловичі, 2016 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Ґрунт – добриво – врожай» (Білорусь – Горки, 2016 р.); Всеукраїнському науково-практичному круглому столі для молодих учених «Теорія і практика інноваційних розробок молодих вчених у ґрунтово-агрохімічній науці» (Харків, 2017 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Пермакультура та екологічно-безпечне землеробство» (Ужгород, 2018 р.).

**Публікації.** За результатами дисертаційного дослідження опубліковано 26 наукових праць, з них 10 статей у наукових фахових виданнях України, 4 статті у фахових виданнях, що належать до міжнародних наукометричних баз, 12 статей у матеріалах і тезах міжнародних та вітчизняних наукових конференцій.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, пропозицій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Робота викладена на 263 сторінках друкованого тексту, ілюстрована 41 рисунком, містить 15 таблиць та 8 додатків. Основний текст дисертації викладено на 161 сторінці. Список використаних джерел налічує 264 найменувань, у тому числі 29 латиницею.

## РОЗДІЛ 1

### ЗАБРУДНЕННЯ АГРОБІОЦЕНОЗІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ТА ЗАХОДИ З ДЕТОКСИКАЦІЇ ҐРУНТУ (огляд літератури)

#### 1.1. Масштаби техногенного забруднення кадмієм і свинцем

Зростаючий вплив господарської діяльності людини на природне середовище сьогодні досяг рівня, за якого відбуваються істотні зміни в усіх компонентах біосфери, які часто мають незворотній характер, внаслідок чого порушується кругообіг речовин і енергії, що є основою динамічної рівноваги і стійкості біосфери. Сьогодні проблеми стану довкілля гостро ставлять перед людством низку життєво важливих питань якості повітря, води, ґрунту і продуктів харчування [3, 16].

Багато технологічних процесів є недосконалими і часто виходять з під контролю, виникають нові техногенні катастрофи, через це відбувається стрімке нагромадження, невластиве для біосфери, великого спектру забруднювачів: радіонуклідів, нафтопродуктів, пестицидів, нових токсичних хімічних сполук, провідне місце серед них займають важкі метали [17, 18].

Від 60-тих років ХХ ст. особливу увагу приділяли групі елементів, уміст яких у природних компонентах менше 0,01% і яку умовно називали в “важкими” металами. До важких металів належать більше 40 елементів з щільністю понад 5 г/см<sup>3</sup> та атомною масою понад 50 одиниць: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi та ін. Згодом групу доповнили іншими рідкоземельними (розсіяним) елементами, яким властива сильна токсичність, мутагенний і канцерогенний ефекти [2, 15]. Для їх ідентифікації використовують такі критерії: атомну масу, питому густину, токсичність, розповсюдженість та швидкість нагромадження у біосфері. Замість терміну «важкі метали» в науці часто говорять «розсіяні елементи», «trace elements» – елементи-сліди, мікроелементи, а також «поллютанти» – (від. англ. pollutant – забруднювач) [28, 29].

Серед важких металів особливої уваги привертають кадмій (Cd) і свинець

(Pb), які вважаються пріоритетними супертоксикантами, через те відносяться до першого класу небезпечності за санітарно-гігієнічними нормами [21]. На відміну від інших елементів вони швидше акумулюються у живих організмах, порушують процеси метаболізму, потрапляють в біогеохімічний кругообіг і викликають деградацію та руйнування природних екосистем [13, 14, 20]. Їх негативний вплив проявляється на функціонуванні агроекосистеми, спричиняючи кількісні та якісні змін у ній, які позначаються на зменшенні врожайності і погіршення якості сільськогосподарської продукції, а це відображається на незадовільному стані здоров'я людей [12, 19, 50].

Токсичність кадмію і свинцю відносно біологічних об'єктів визначається здатністю до акумуляції та компліментарності з біорецепторами організму. Ці властивості, в першу чергу, залежать від фізико-хімічних характеристик кадмію і свинцю, які токсичні для більшості реципієнтів.

Кадмій (Cd) – Елемент II групи періодичної системи, який має на зовнішньому енергетичному рівні  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^2 3p^6 3d^{10} 4s^2 4p^6 4d^{10} 5s^2$  два електрона, через те найбільш розповсюджені двовалентні сполуки  $Cd^{2+}$ . Атомний номер – 48; атомна маса – 112,41; іонний радіус – 0,99 Å; щільність – 8,604 г/см<sup>3</sup>. Розчини солей кадмію мають кисле середовище. Кларк кадмію у літосфері становить  $1,3 \cdot 10^{-5}\%$ , в земній корі – 0,13 мг/кг, а в ґрунтах – 0,5 мг/кг [23, 78].

Плюмбум, свинець (Pb) – елемент IV групи періодичної системи відмий з давніх часів. Найстійкіший у вигляді  $Pb^{2+}$  та можливий у стані окислення +4, що визначається характером взаємозв'язків, оскільки в основному стані електронна конфігурація зовнішньої оболонки атома свинцю  $6s^2 6p^2 6d 6f$ , орбіталі  $6p^2 6d$  та  $6f$  є незаповненими, що обумовлює його здатність вступати у реакції та створювати хімічні сполуки [31, 33]. Атомний номер 82; атомна маса – 207,19; іонний радіус – 1,26 Å; щільність – 11,34 г/см<sup>3</sup> [32].

Токсичний вплив кадмію і свинцю на людину не залежить від їх форми надходження в організм, а пов'язаний з кількістю вільних іонів та їх концентраціями. Іони Cd і Pb утворюють із сульфгідрильними групами SH - вмісних ферментів стійкі меркаптиди (з міцними ковалентними зв'язками) і цим



самим блокують ферментні системи та інгібують їх активність, порушують окислювально-відновні процеси у клітині [34]. Кадмій викликає біль в кістках, захворювання “Ітаї-Ітаї”, протеїнурію, остеомаліцію, порушення серцево-судинної діяльності та функцій статевих органів [10]. Такі ознаки отруєння можна спостерігати за загальною кількістю кадмію в організмі 15 мг, або 0,2-0,4 мг/кг маси тіла. Сполуки кадмію володіють сильним тератогенним та мутагенним ефектом при концентрації  $\text{CdCl}_2$  у розчинах 2,10 мг/л [26, 40].

Свинець пошкоджує судини, кісткову тканину (депонується 92% у кістках у вигляді нерозчинного трифосфату), порушує синтез білка, кровотворення, викликає анемію, сатурнізм, хвороби “гальваніків”, гальмує розумовий та фізичний розвиток дітей, підвищує кров’яний тиск [16, 35]. Гранично допустимі концентрації Cd і Pb, які чинні в Україні наведено в таблиці 1.1 [21, 36, 37].

Таблиця 1.1

### Гранично допустимі концентрації Cd і Pb у різних середовищах та овочах

Середовище	Cd (кадмій)	Pb (свинець)
Повітря (середньо добове значення для житлових населених пунктів / робочої зони), мг/м <sup>3</sup>	<u>0,0003</u> 0,05	<u>0,0001</u> 0,01
Вода (для пиття / прісних водойм, річок, озер), мг/л	<u>0,001</u> 0,005	<u>0,01</u> 0,03
Ґрунт (рухомі форми / валові), мг/кг повітряно-сухого ґрунту	<u>0,7</u> 3,0	<u>2,0</u> 32
Овочі (свіжі для споживання), мг/кг сирої маси	0,03	0,5

Важкі метали швидко мігрують по харчових трофічних ланцюгах у системі “повітря-ґрунт-вода-рослина-тварина-людина” [26, 27]. Можливі такі схеми надходження ВМ: ґрунт → рослина → людина; повітря → людина; вода → рослина → тварина → людина та ін. (рис. 1.1).

Основна кількість (30-80%) важких металів, в тому числі Cd і Pb потрапляє

до організму людини внаслідок досягнення ними вершини трофічних ланцюгів, через продукти харчування (рослинного і тваринного походження) та питну воду, дещо менше (до 30%) з повітрям [22, 25].

Джерела емісії важких металів і шляхи їх надходження в навколишнє середовище мають як антропогенне так і природне походження [8, 52]. З природних джерел виділяють вивітрювання гірських порід і мінералів, ерозію ґрунтів, вулканічну діяльність, дим лісових пожеж, морські аерозолі, метеоритний пил [5, 6, 7].



Рис. 1.1. Шляхи надходження важких металів до організму людини

Серед антропогенних джерел основними шляхами забруднення ВМ є діяльність хімічної і гірничо-видобувної промисловості, дим і пил чорної та кольорової металургії, теплових електростанцій, цементних заводів, скловарних заводів, лакофарбових, автотранспорту, комунальні відходи, стічні води міської каналізації і тваринницьких комплексів, виробництво гальванічних

елементів, акумуляторів, застосування і виробництво мінеральних добрива, пестицидів та інші хімічні препарати [4, 16, 18, 33]. Загальна маса ВМ, яка поступила від антропогенних джерел значно більша за природні: свинцю – в 17,2; кадмію – 8,8 рази [11].

Основними джерелами атмосферного забруднення ВМ в результаті діяльності людини 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 %), а також підприємства з видобування і виготовлення будівельних матеріалів (8,1 %) [40, 41].

Сильно забрудненими є ґрунти урболандшафтів та селітебні території, в яких вміст ВМ та інших токсичних речовин у повітрі, водоймах і фітоценозах перевищує ГДК у десятки і більше разів [2]. На відмінну від антропогенних – у природних

геохімічних аномаліях вміст мікроелементів у верхньому гумусному горизонті не високий, але чітко прослідковується із збільшення їх концентрації у глибину ґрунтового профілю, де присутні металовмісні мінерали (сульфіди, сульфати, фосфати, карбонати та ін.) [20].

Найбільше забрудненні ґрунти кадмієм і свинцем, 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, 42, 71].

## **1.2. Взаємодія йонів кадмію і свинцю з ґрунтом та іншими речовинами**

Всі основні цикли міграції важких металів у біосфері (водні, атмосферні, біологічні) починаються у ґрунті. Саме в ґрунті відбувається їх мобілізація і утворення різних міграційних форм. Переважна більшість ВМ, які потрапили на поверхню ґрунту, закріплюються у верхніх гумусових горизонтах [96].

Ґрунт – специфічний компонент біосфери, оскільки він акумулює забруднювачі та виступає як природний буфер, що контролює переніс хімічних елементів та різних сполук в атмосферу, гідросферу і живу речовину [55]. Близько 90 % ВМ, що потрапили у довкілля, акумулюються ґрунтами, забруднюючи суміжні середовища та вищі рослини. Надходження Cd і Pb в агроєкосистеми значно переважає винос [49, 56].

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 [46, 70].

У ґрунтах України вміст свинцю коливається від 6 мг/кг в ґрунтах Полісся до 168-240 мг/кг в ґрунтах Карпатської зони (Передкарпаття, Карпати й Закарпаття).

Середній вміст свинцю відповідає 8-12 мг/кг ґрунту. В Лісостепу України підвищення вмісту мікроелементів у ґрунті спостерігається у напрямку з північного заходу на південний схід [66, 89]. У верхньому гумусному горизонті, який зазнає максимального антропогенного впливу, нагромаджується більшість хімічних елементів, в тому числі Cd і Pb, концентрація яких поступово зменшуються вниз за профілем [39, 68].

Нагромадження кадмію і свинцю в агроландшафтах залежить від багатьох факторів, як природного так і техногенного характеру. Основні з них: характер ґрунтоутворюючих порід та генетичні особливості ґрунтів, клімат, рослинність, рельєф місцевості, особливості розташування техногенних джерел ВМ регіону, тип водного режиму, метеорологічних умов та ін. [3]. До основних ґрунтово-екологічних факторів, які визначають рухливість і міграційну здатність ВМ відносяться: вміст гумусу, наявність органічних та неорганічних лігандів, ґрунтових колоїдів, кислотність ґрунту рН, гранулометричний і мінеральний склад, щільність ґрунту, кислотно-основні і окисно-відновлювальні умови ґрунтового середовища, вміст макро- і мікроелементів, форми знаходження ВМ у ґрунті [6, 13, 39, 42].

У ґрунті ВМ можуть знаходитись у шістьох компартментах (рис. 1.2). Розподіл важких металів між різними компартментами ґрунту не є фіксованим і з плином часу змінюється. Так, безперервно, але з різними швидкостями елементи переходять з однієї форми в іншу у напрямку зменшення енергії їх утримання, доки нарешті не досягнуть ґрунтового розчину, або ж не виділяться в атмосферу, на що істотно впливають зовнішні чинники (зміни рН, ступінь аерації, температура, гідратація, хімічне оточення) [54].

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 найчастіше визначають валові (кислото розчинні) та рухомі (екстрагуються ААБ, рН 4,8) форми важких металів. В одному і тому самому ґрунті

ВМ можуть міститися в різних по розчинності та рухливості формах [58].

Співвідношення між вмістом валових та рухом форм ВМ у ґрунті обумовлюються реакцією ґрунтового розчину, кількістю органічної речовини, біологічним кругообігом елементів, генезисом та гранулометричним складом ґрунтів тощо [1, 57].



Рис. 1.2. Різні форми і локалізація важких металів у ґрунті

При різних рівнях вмісту валових і рухомих форм ВМ, для всіх ґрунтів спостерігається єдина тенденція. На фоні зростання валових запасів важких металів (від дерново-підзолистих ґрунтів до чорноземів), кількість металів у рухомих формах зменшувалася. 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 [44, 56].

Рухомість важких металів у ґрунтах залежить від багатьох факторів, серед яких домінують хімічна природа самих металів, фізико-хімічні характеристики ґрунтів та агрометеорологічні умови конкретної природної зони [59]. Ступінь рухомості важких металів залежить від геохімічних обставин і рівня техногенного впливу на середовище [96].

Велике значення, що характеризує оцінку потенційної рухомості хімічного елемента та визначає його міграційну здатність в об'єктах природного середовища є відношення між величиною заряду ядра атома, тобто його валентністю ( $Z$ ) та розміром іонного радіусу ( $R_i$ ), яке виражається через величину іонного потенціалу ( $\mu$ ) – силу поля, що виникає навколо іона (2.1):

$$\mu = \frac{Z}{R_i} \quad (2.1)$$

Так, наприклад, іонний радіус для  $Cd^{2+}$  буде становити 0,99 Å, тоді як для  $Pb^{2+}$  – 1,26 Å (по Белову і Бокію). З цього випливає, що іонний потенціал для  $Cd^{2+}$  становить 2,02, а для  $Pb^{2+}$  – 1,59. Отже, чим більша валентність (заряд) іона і чим менший його радіус, тим більший його іонний потенціал, а отже більша його рухомість, тобто швидкість реакції на певну ситуацію, що виникла [63, 74]. З огляду на вищесказане, важкі метали можна розташувати відносно величини іонного потенціалу у певній послідовності, яка визначатиме їх потенційну рухомість у природних системах:  $Cu^{1+}_{(1,02)} > Pb^{2+}_{(1,59)} > Hg^{2+}_{(1,78)} > Cd^{2+}_{(2,02)} > Zn^{2+}_{(2,40)} > Cu^{2+}_{(2,50)} > Co^{2+}_{(2,56)} > Ni^{2+}_{(2,70)} > Ni^{3+} > Co^{3+}_{(4,68)} > Pb^{4+}_{(5,26)} > Cr^{6+}$  [11, 14].

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 [45].

Вплив техногенезу на агрокосистеми проявляється, перш за все, накопиченням важких металів (ВМ) в ґрунтовому розчині, де вони розподіляються між твердою і рідкою фазами ґрунту. Основний процес, що контролює розподіл ВМ між рідкою та твердою фазами ґрунтів є адсорбція – поглинання іонів ВМ поверхнею твердих фаз. Адсорбція Cd і Pb описується рівнянням Фрейдліха та Ленгмюра і має тісну залежність з ємністю катіонного обміну, вмістом органічної

речовини та мулу, а також із рН середовища [24, 74].

Гранулометричний і мінеральний склад ґрунтів впливає на ємність катіонного обміну і міграційні властивості ВМ. Ґрунти важкого механічного складу мають велику площу поверхневих частин, що збільшує ємність катіонного обміну і зменшує рухливість токсикантів [1].

Найбільш високе поглинання важких металів (80-90%) відбувається при нейтральній або слаболужній реакції середовища (рН близько 7) на сорбентах з ЄКО вище 24 мг екв/100 г ґрунту, що містять 4% вільних карбонатів. За кількістю поглинання всіма мінералами і ґрунтами ВМ вишиковуються у ряд: Pb > Cu > Zn > Cd. Тобто, кадмій має найбільшу міграційну здатність і найменше утримується ґрунтом, порівняно із свинцем [43, 67].

Органічна речовина є одним з найважливіших компонентів ґрунту, від якої залежить його родючість та перерозподіл і визначальна поведінка кадмію і свинцю у ґрунті. Багато дослідників відзначають, що гумусні горизонти ґрунтів забруднених територій значно збагачені ВМ, так як гумус являється найважливішим акумуляційним бар'єром, який стримує транслокацію важких металів у рослини [77].

Механізми взаємозв'язку ВМ з органічною речовиною може бути різним: важкорозчинні сполуки типу солей з гумусовими кислотами, адсорбція на поверхні молекул гумусових кислот за рахунок електростатичних сил чи з утворенням хімічних зв'язків (хемосорбція), іонного обміну, утворення комплексних сполук з органічною речовиною, коагуляція, пептизація [38, 72].

Особлива увага у закріпленні кадмію і свинцю у ґрунті належить гуміновим та фульвокислотам. Із збільшенням молекулярних мас органічних речовин міцність комплексів їх з металами зростає [69, 99]. Так, комплексоутворення металів з органічними кислотами, втому числі з гуміновими і фульвокислот, залежить від молекулярної маси органічних сполук, від концентрації металів і лігандів, від рН. Дво- та тривалентні іони найбільш активно зв'язуються в комплекси з органічними речовинами, що мають молекулярну масу 500-700 дальтон [81, 82].

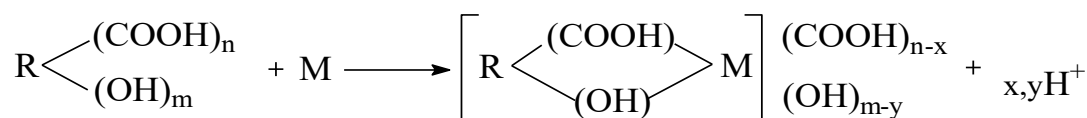
Мінімальна молекулярна маса фульвокислот становить 400-450, тоді як для

гумінових кислот – 900-1400 і може варіюватися >80 тисяч внаслідок їх полідисперсності та гетерогенності [73]. Ємність поглинання фульвокислот 800-1250 мг-ек/100 г, а гумінових кислот – 180-500 мг-ек/100 г сухої речовини [83].

Органічні речовини є важливими для переносу і нагромадження йонів металів, які є присутні в ґрунтах та водах у вигляді хелатів з різною стійкістю поступлення цих йонів у корені рослин. Тому величини констант стійкості відображають здатність гумінових кислот утворювати комплекси з металами [79, 80].

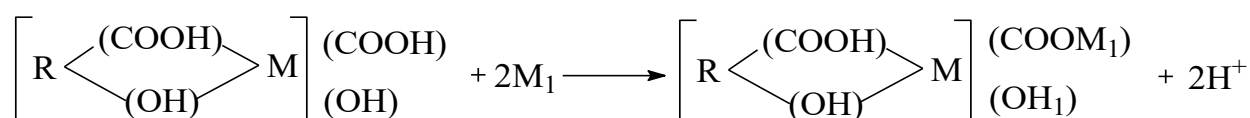
Комплекси металів з фульвокислот, що мають більш низькі константи стійкості, зазвичай краще розчинні і тому більш доступні для коріння рослин. Найбільше значення константи стійкості (8,9) для гумінових кислот було встановлено у комплексі з  $\text{Cd}^{2+}$  при рН 7 [38]. Константа стійкості металів з гуміновими кислотами вищі, аніж з фульвокислотами, а в нейтральному і слабкокислому середовищі вищі, аніж в сильнокислому. Константи стійкості металів з фульвокислотами у кислотному середовищі утворюють ряд:  $\text{Fe}^{3+} > \text{Al}^{3+} > \text{Cu}^{2+} > \text{Co}^{2+} > \text{Pb}^{2+} > \text{Zn}^{2+} > \text{Mn}^{2+}$  [82].

Адсорбція важких металів гумусом відбувається за участі карбоксильних (-COOH) і фенольних (-OH) груп, заміщенням водню на іони металу. При цьому утворюються хелати, в яких метал входить в аніонну частину молекул органічних речовин. В цьому випадку метал з'єднаний з координаційними (гемеополлярними) зв'язками і не проявляє себе як катіон:



де  $\text{M} - \text{Fe}(\text{OH})_2^+$ .

Комплекс також може приєднувати метал в обмін на  $\text{H}^+$  у зовнішніх функціональних групах:



де  $\text{M}_1$  – обмінно-вбірний катіон.

Внаслідок чого метали можуть входити як у аніонну, так і в катіонну частину



молекул гумусових кислот [86, 87].

Надходження надлишкової кількості ВМ у рослини порушує рівновагу в надходженні мікро- і макроелементів. Антагонізм може існувати як між окремими важкими металами, так і між макроелементами (кальцій, магній, калій) [92].

Регулюючи співвідношення біогенних елементів можна впливати на явище антагонізму і синергізму при живленні рослин. Вносячи у ґрунт елементи-антагоністи з добривами та меліорантами (у багатьох випадках Са, Р, К, Mg, S) можна знизити надходження в рослини багатьох важких металів, а за допомогою елементів-синергістів збільшити виніс забруднювачів з рослин. Остання обставина використовується для фітосанації, а також для фітомеридіації ґрунту забрудненого важкими металами [94].

Іон водню являється енергетичним конкурентом для кадмію і свинцю за обмінні місця і сприяє переходу іонів важких металів із сорбованого стану у розчин [74]. Тому важливим фактором від якого залежить рухомість важких металів, адсорбція, стійкість сполук, здатність до комплексоутворення є реакція ґрунтового розчину (показник рН) [43, 84, 175]. В інтервалі рН 4–7,7 сорбційна ємність ґрунтів щодо поглинання зростає приблизно втричі при збільшенні рН на одиницю [38].

Рухливість ВМ зменшується в ґрунтах, які мають реакцію рН близьку до нейтральної (6,8-7,2). Збільшення кислотності в ґрунті або лужності сприяє збільшенню міграційної здатності ВМ. [1]. Значною міграційною здатністю і рухливістю в кислому середовищі володіє Cd і Pb. При зменшенні рН на 2 одиниці (в сторону кислого середовища) збільшується рухливість кадмію – в 4-8 рази, свинцю – в 3-6 рази [51, 75].

Важкі метали мають токсичний вплив на мікрофлору ґрунту, що проявляється у пригніченні діяльності мікроорганізмів та ферментативної активності, особливо чутливих інвертази, пероксидази та дегідрогенази. За токсичної дії йонів ВМ інгібують процеси, що відбуваються за участі ДНК, перешкоджають симбіозу мікроорганізмів і рослин, обмежують ензимну активність мікробіоти, що затримує розклад органічної речовини, пригнічуючи біологічне відновлення азоту та інших необхідних елементів живлення [38, 51].

Ґрунтові мікроорганізми з великою швидкістю накопичує кадмій і свинець. Найбільш стійкими є мікроміцети і бацили, чутливими – стрептоміцети та бактерії, які асимілюють органічний азот [5].

### 1.3. Фітотоксичність сполук кадмію та свинцю

Фітотоксичність і акумуляція важких металів рослинами, зокрема овочами, залежить від того як сильно полютанти вбираються і утримуються ґрунтом і в якій формі знаходяться. Чим більше і сильніше ґрунт може утримувати ВМ, тим активніше він видаляє їх із ґрунтового розчину у склад з'єднань твердої фази. При цьому на ґрунтах легкого гранулометричного складу депресивна дія ВМ проявляється значно сильніша, аніж на більш зв'язаних. Степінь фітотоксичності залежить від властивостей і концентрації забруднювача в ґрунті, властивостей самого ґрунту, а також від біологічних особливостей рослин [64, 77, 98].

Корінь є першим біологічним бар'єром на шляху транспорту ВМ з ґрунту в рослини. Деякі ВМ на поверхні кореня зв'язуються з карбоксильними групами поліуронових кислот слизу. Здатність слизу зв'язувати ВМ залежить від природи катіона, у порядку спадання їх можна розмістити у такий ряд:  $Pb^{2+} > Cu^{2+} > Cd^{2+} > Zn^{2+}$ . Зв'язування зі слизом обмежує надходження ВМ до кореня і може бути важливим компонентом бар'єрної функції кореневої системи, що контролює надходження катіонів ВМ до рослин [104].

Клітинна стінка, плазмолема виступає вагомим бар'єром на шляху важких металів у клітину. Зміна проникності мембран під впливом ВМ порушує йонний баланс, водний баланс, водний режим, активність ферментів, фотосинтез та інші процеси в рослинному організмі. Кадмій може викликати розрив клітинних мембран [13, 100]. Свинець сприяє зменшенню еластичності клітинних стінок шляхом утворення поперечних зв'язків з карбоксильними групами пектинів [97].

Одним із важливих механізмів стійкості рослин до токсичної дії іонів важких металів є їх детоксикація, яка проявляється в нейтралізації їх хімічної активності, а відповідно і токсичності, в результаті внутрішньоклітинного хелатування з

органічними сполуками, металозв'язуючими білками низької молекулярної маси – фітохелатинами (цистеїнозбагаченими поліпептидами). Фітохелатини зв'язують іони Cd і Pb в цитоплазмі через SH-групи у вигляді тіолатних комплексів, хімічна структура яких підтверджує їх високу спорідненість до глутатіону [103].

Вміст Cd та Pb рослинах вирощених в мінералізованих зонах, в загальному, сильно корелюють з концентрацією цих ВМ у ґрунті. Кадмій ефективно поглинається як кореневою так і листовою системою, а також високо накопичуються в ґрунтових організмах. Значна частина Cd пасивно поглинають корінням, але Cd також абсорбується метаболічно [55].

Кадмій нагромаджується в міжклітинному просторі та в структурах клітинних стінок і має здатність поширюватись радіально в усі тканини кори та епідермісу, тоді як свинець переважно нагромаджується в периферійних шарах кори та центральній групі апікальних клітин меристеми [101].

Свинець і кадмій нерівномірно розподіляються між окремими органами рослин. В основному Cd і Pb у рослині нагромаджуються в корені. З ґрунтового розчину ВМ надходять в корінь в основному шляхом дифузії [57, 61]. Свинець надходить в корені слабше ніж кадмій, тому його рухливість у тканинах кореня дещо обмежена [65]. Базальній частини коренів нагромаджують значно більші концентрації важких металів, аніж апікальній. Відзначають високий ступінь нагромадження Cd і Pb в меристематичних клітинах. Значна частка катіонів металів затримується на периферії коренів у зоні пояса Каспарі [97].

Під впливом полютантів у клітинах змінюється рН, концентрація розчинних речовин, а також склад низькомолекулярних сполук, міцність зв'язку білків з іншими речовинами, локалізація ферментів. Все це дає можливість рослинам в умовах, коли в клітині змінюються певні параметри, адаптуватись і ефективно функціонувати завдяки внутрішньоклітинним саморегулюючим системам [202].

За токсичної дії катіонів ВМ в овочевих рослинах відзначають підвищенні рівні нітратів, які можуть бути наслідком впливу  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на зміни у поглинанні рослинами азоту, а також через інгібуючу (токсичну) дію цих важких металів на активність ряду ферментів, зокрема нітратредуктази, через взаємодії іонів з SH-

групами, яка власне і відповідає на першому етапі за відновлення  $\text{NO}_3^-$  до аміаку, і як наслідок неповного синтезу нітратів в білки, а також нестачею деяких мікроелементів, які беруть участь в даному процесі у якості каталізаторів (коферментів), в наслідок складних процесів антагонізму та синергізму між макро- та мікро елементами [1, 97].

При надлишку свинцю в ґрунті в рослинах різко зменшується кількість P, Ca, Mg, тоді як за підвищених концентрацій кадмію хімічний склад менше змінюється [102]. Кадмій має здатність значно пригнічувати поглинання коренями калію, витісняючи його з органідів клітини, а також затримує пересування заліза в надземну частину, не знижуючи його поглинання, є антагоністом цинку [22, 101]. Свинець викликає хлороз, обумовлений порушенням надходження заліза [13]. Також свинець гальмує надходження в рослини K і P, знижує пересування основних елементів живлення з коренів у проростки [79].

У результаті надлишкового вмісту іонів свинцю і кадмію в ґрунтового середовищі зменшується висота рослин, скорочуються розміри органів, зменшується біомаса [104]. Пригнічення ростових процесів під дією іонів Cd та Pb відбувається внаслідок інгібування мітотичної активності і зменшення кількості клітин в усіх фазах мітозу [19, 101]. Стійкість рослин до дії ВМ (толерантність) визначається сукупністю клітинно-молекулярних механізмів, що підтримують гомеостаз і цілісність клітини, організму і популяції в цілому [93].

Агрокультури характеризуються різною толерантністю (стійкістю) до іонів важких металів, що виражається в здатності не знижувати або порівняно слабо знижувати свою продуктивність за високих концентрацій ВМ у ґрунті. При сильному забрудненні ґрунту рослини припиняють свій розвиток і гинуть [30].

Толерантність природних популяцій рослин до важких металів переважно високоспецифічна і успадковується генетично. Відзначають високотолерантні (озиме жито, райграс, рис, горох, соя, томати) та низькотолерантні (овес, столовий буряк, пшениця, квасоля) культури, для яких характерний різний рівень концентрації ВМ у тканинах та не однакою здатність поглинання забруднювачів з ґрунту та їм протистояти. У межах одного виду рослини буряка столового різних

сортів здатні нагромаджувати Cd у кількостях, що відрізняється більше, ніж в 2 рази, через те відзначають видову і сортову специфіку толерантності [97, 105].

За вмістом Zn, Cd, Cu і Pb у основній продукції овочеві культури складають наступний ряд: буряк > капуста > цибуля > картопля [219]. Проте зустрічається і інший порядок: буряк > картопля > морква > томати, цибуля > капуста [19]. З поміж овочевих культур вирощених у зоні впливу цинкоплавильного заводу найбільший вміст ВМ (Cd, Pb, Cr, Zn, Cu, Ni) відзначали в буряках столових, моркві, цибулі, а найменший – в капусті [85]. Необхідно уникати виробництва зеленних овочів (салат, шпинат, цибуля на перо, петрушка, кріп), які нагромаджують ВМ у великих кількостях навіть на слабо забруднених ґрунтах [43, 57, 96].

Нагромадження важких металів зменшується в ланцюгу корінь – надземні органи – генеративні органи. Тобто спостерігається акропетальний розподіл за рахунок існування певних бар'єрів, що обмежують надходження поллютантів з висхідним потоком речовин [104]. Вміст кадмію і винцю в овочевих рослинах змінюється протягом вегетаційного періоду. Концентрація металів зростає у тканинах рослин із весни до осені [41, 79].

#### **1.4. Заходи з детоксикації ґрунту забрудненого важкими 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].

Комплекс заходів ремедіації (очищення, відновлення, рекультивації) забруднених ґрунтів ВМ складається з реалізації певних типів заходів (локалізація, екранування, перекидання міграції забруднювачів, деконтамінація, захоронення), процедур (обмеження використання, консервація, моніторинг, капсулювання, іммобілізація, екстракція, адсорбція, відновлення, окислення, осадження тощо) та додаткових заходів (контроль, моніторинг, екранування тощо) [62].

Для інактивації (детоксикації) токсичності ВМ в системі «ґрунт – рослина»

необхідним є проведення ранжування (визначення напряму подальшого використання) ґрунтів техногенезу на категорії: ґрунти для сільськогосподарського використання без обмежень; ґрунти, які вимагають проведення заходів щодо зменшення надходжень ВМ у продукцію агроценозів; ґрунти, непридатні для сільськогосподарського використання, що вимагають проведення деконтамінації і зміни напрямку використання та вартісної оцінки шкоди від забруднення [108].

Оцінка обсягів екологічної небезпеки складається з встановлення ступеню забруднення ґрунту, оцінки небезпеки водної міграції, оцінки небезпеки транслокації, оцінки небезпеки за загально санітарним показником, оцінки небезпеки деградації ґрунту, оцінки небезпеки внаслідок багатокомпонентності складу забруднювачів, прогнозу тривалості періоду самоочищення ґрунту від забруднюючих речовин. Таким чином, оцінка небезпечності техногенного забруднення є основою для рішення щодо необхідності проведення меліорації ґрунтів [62, 88].

Застосовують також орієнтовну оціночну шкалу небезпеки забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення важкими металами (дод. А табл. А.1). Така шкала включає: категорію забруднення ґрунтів, сумарний показник забруднення ( $Z_c$ ), вміст елементів відносно ГДК, можливість використання земель та зміну показників здоров'я населення в осередках забруднення [115].

Класифікацію ґрунтів за ступенем забруднення важкими металами, згідно ГОСТ 17.4.3.06-86, проводять за гранично допустимою концентрацією (ГДК) та за фоновим вмістом у ґрунті. Згідно вищезазначеного нормативного документу за ступенем забруднення ґрунти поділяються на: 1) сильно забруднені (вміст ВМ в декілька разів перевищує ГДК, мають низьку біологічну продуктивність, суттєві зміни фізико-хімічних, хімічних та біологічних характеристик, внаслідок чого вміст ВМ у рослинній продукції перевищує встановлені норми); 2) середньо забруднені (встановлено перевищення ГДК без видимих змін властивостей); 3) слабо забруднені (вміст ВМ в яких не перевищує ГДК, але вищий за природний фон) [114].

Однак питання щодо нормування ВМ у ґрунті залишається відкритим, оскільки існуючі на даний час ГДК важких металів у ґрунті охоплюють лише санітарно-гігієнічний аспект проблеми, а такий підхід не відображає об'єктивності щодо забруднення ґрунтами суміжних середовищ, стійкість самих рослин, регіональні кларки, геохімічні провінції скупчення елементів, індивідуальну специфіку кожного типу ґрунту, його фізико-хімічні властивості та буферну стійкість до важких металів [48, 96].

Крім того ґрунти слід диференціювати за призначенням, а саме вирощувати на забруднених ґрунтах ВМ декоративні рослини, або ж навпаки, створювати екологічно безпечні сировинні зони для вирощування продукції дитячого і дієтичного харчування, на придатних для цього ґрунтах, які повинні відповідати цілому ряду вимог. Тим більше, що до уваги слід брати не тільки валові форми ВМ у ґрунті чи кларки елементів, або ж фонові значення, а в першу чергу особливо небезпечні рухомі форми (найбільш доступні рослинам і ґрунтовій біоті), які будуть і визначати рівень небезпеки для рослини, а в кінцевому результаті і для людини [110, 111, 112].

Для визначення ступеня забруднення ґрунтів хімічними речовинами також використовують «Методические указания по оценки степени опасности загрязнения почвы химическими веществами» [109]. У вищезгаданих рекомендаціях застосовується принципова схема, яка включає: категорію забруднення ґрунтів, характеристику забруднення, можливе використання території, а також запропоновані заходи (дод. А табл. А.2).

Науковцями Національного наукового центру “Інституту ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського” [62] розроблені заходи детоксикації та можливі шляхи використання ґрунтів з різним ступенем забруднення важкими металами (дод. А табл. А.3).

Методи поліпшення екологічного стану техногенно забруднених земель включають: організаційні; біологічні; хімічні та фізико-хімічні; технічні. Наразі на забруднених важкими металами ґрунтах використовують такі основні методи детоксикації: 1) фізичні – видалення забрудненого шару ґрунту та його

захоронення; 2) хімічні – інактивація, або зниження токсичної дії забруднювачів з допомогою вапнування, внесення органічних і мінеральних добрив тощо; 3) біологічні – вирощування культур, які є стійкими до забруднення і здатні виносити з ґрунту токсичні речовини [96].

Проте їх умовно діляться на фізичні, хімічні та біологічні. Вони мають рекомендаційний характер і їх проведення нині не регламентовано в Україні. При виборі способу детоксикації ураховують специфіку забруднення, властивості ґрунту та металів-токсикантів, особливості застосування детоксикантів [62].

Отож основні заходи з детоксикації забруднених ґрунтів важкими металами включають:

- внесення у ґрунт адсорбентів органічної та мінеральної природи (органічних добрив, торфу, сапропелю, активованого вугілля, цеолітів, вапна, комплексних адсорбентів, залізо-кальцієвих відходів виробництва), які утворюють з ВМ різної міцності органо-мінеральні комплекси;

- глинування легких ґрунтів для зменшення рухомості ВМ і включення їх біотичний колообіг, оскільки глинисті мінерали їх інтенсивно поглинають;

- внесення фосфорних та калійних мінеральних добрив, а також складних комплексних фізіологічно-нейтральних мінеральних добрив пролонгованої дії;

- внесення у ґрунт соломи для зниження рухомості ВМ;

- внесення біопрепаратів для фіксації ВМ біомасою бактерій;

- внесення флоталю і глоталю, що підвищують розчинність сполук ВМ, з наступним їх вимиванням у нижні горизонти ґрунту;

- регулювання гідрологічного режиму ґрунту;

- підтримання оптимального фізико-хімічного стану ґрунту, утворення агрономічно цінних руд, уникати ущільнення;

- уникати вирощування зелених овочів (гіперакумуляторах) на слабо забруднених ґрунтах (петрушка, кріп, салат та ін.);

- підбір культур, які здатні менше накопичувати ВМ на слабо забруднених ґрунтах (озиме жито, яра пшениця), або ж в крайньому випадку насінників чи технічних культур (льон, цукровий буряк), плодових дерев;



– вирощування на забруднених ґрунтах толерантних рослини, які посилено акумулюють ВМ і здатні виносити їх з урожаєм (наприклад люцерна, соя, ріпак, багаторічні трави, а також дерев'янисті та деякі декоративні рослини) з метою вивезення біомаси та її подальшої утилізації, або ж відведення під паркові чи лісові насадження (фіторе mediaція);

– зняття, видалення та захоронення верхнього сильно забрудненого ВМ шару ґрунту, насипання поверх нового (30 см) шару ґрунту, або проведення глибокої плантажної оранки (деконтамінація) [1, 55, 62, 95].

Сьогодні в сільському господарстві широкого застосування набули хімічні та фізико-хімічні методи детоксикації спрямовані на зв'язування забруднюючих речовин безпосередньо у ґрунті, зменшення їх рухомості та, як наслідок – зниження надходження до рослин і природних вод. Зокрема, перехід більшості ВМ у малодоступний для рослин стан відбувається при взаємодії з органічною речовиною, карбонат- і фосфат іонами. Це досягається внесенням органічних і мінеральних добрив та вапнуванням ґрунту. При цьому необхідно контролювати якість добрив та меліорантів задля унеможливлення вторинного забруднення ґрунту, рослин та підґрунтових вод, користуючись відповідними агротехнічними прийомами, наприклад регламентуючи форми, норми, способи і строки їх внесення [51, 53, 76].

З проведення детоксикації ґрунт залишається дипонуючим середовищем для забруднення. Ефект інактивації та детоксикації ВМ триває 2-3 роки і досягається за рахунок хімічного зв'язування токсикантів до малорозчинних сполук, адсорбцією мінералами з високою поглинальною здатністю або органічними речовинами, підвищення рН ґрунтового розчину [95].

Досягнення об'єктивності у визначенні ризику одержання неякісної агропродукції повинно проводитися з урахуванням шляхів надходження-токсикантів, толерантності рослин і буферності ґрунтів (здатності ґрунтів затримувати певні речовини, не допускаючи їх надходження до суміжних середовищ, зокрема в сільськогосподарські рослини [62].

Застосування того чи іншого прийому щодо зниження рухомості ВМ у ґрунті і зменшення нагромадження їх в рослинницькій продукції повинно базуватися,

перш за все на обліку рівня забруднення території і фізико-хімічних властивостей ґрунту (гранулометричний склад, степінь гідрофізми, кислотності ґрунту і вміст у ньому гумусу), типу сільськогосподарського використання агроєкосистеми (наприклад, ґрунти для вирощування зернових культур чи кормових культур). В кожному конкретному випадку заплановані заходи повинні носити індивідуальний характер. Ефективність різних агроприйомів на зниження нагромадження ВМ в сільськогосподарських культурах наведено в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

**Ефективність різних агроприйомів на зниження нагромадження важких металів в сільськогосподарських культурах [1]**

Прийоми (фактори), які знижують нагромадження важких металів в рослинах	Зниження вмісту ВМ в рослинах, в середньому раз			
	Cd	Pb	Zn	Cu
Підбір культур	10	3,3	6	3,0
Підвищення родючості ґрунту	4,2	2,4	5,0	2,1
В т.ч.				
- вапнування кислих ґрунтів	1,7	1,5	2,1	1,4
- спільне внесення органічних добрив та вапнякових матеріалів	1,8	1,8	3,0	1,5
- внесення органічних добрив та органічних меліорантів	1,6	1,6	1,7	1,4
Регулювання водного режиму ґрунтів	2,2	1,8	1,8	

В умовах техногенного забруднення ґрунту при обмеженій можливості виробництва рослинної продукції, яка б відповідала медико-біологічним вимогам, рекомендується вирощувати технічні культури (льон, цукровий буряк), насінники багаторічних трав, або саджанці плодкових дерев, квітників. Слід уникати вирощування зеленних овочевих культур, здатних нагромаджувати ВМ у великих кількостях, навіть на слабо забруднених ґрунтах, що споживаються у свіжому

вигляді (салат, шпинат, цибуля на перо, петрушка, кріп та ін.) [65].

Здоров'я людей певною мірою визначається екологічним станом ґрунтів, що має прямий вплив на якість вирощеної рослинницької продукції у певній місцевості проживання, оскільки токсичні речовини потрапляють в організм людини за харчовими ланцюгами «ґрунт-рослина-тварина-людина». Як сказав видатний французький ґрунтознавець Ф. Дюшафур: «Людини є біогеохімічною фотографією ґрунту» [116].

Тому сьогодні важливо підтримувати родючість окультуреного ґрунту, приймати заходи з детоксикації забруднених ґрунтів важкими металами, радіонуклідами та іншими поллютантами, протидіяти ерозійним процесам, постійно проводити агроекологічний моніторинг ґрунту та рослинницької продукції на вміст полютантів.

#### **1.4.1. Вапнування ґрунту**

В Україні ґрунти з підвищеною кислотністю ( $\text{pH} < 6$ ) займають близько 9 млн. га, в тому числі до 8,5 млн. га орних земель. Сьогодні в господарствах України різко зменшилось застосування хімічних меліорантів. У багатьох регіонах підкислення ґрунтів осягло критичних значень. Темпи збільшення площ з підвищеною кислотністю становлять 0,4-0,5% за рік. Основні площі кислих ґрунтів знаходяться на Поліссі і в Лісостепу України [118].

Вапнування кислих, переважно дерново-підзолистих і сірих лісових ґрунтів, слугує основним із найтриваліших за дією і найдешевшим заходом усунення шкідливої кислотності, а отже і підвищення їх родючості. Вапнякові матеріали, до складу яких входять карбонати кальцію і частково магнію, різнобічно діють на ґрунт. Вони насамперед усувають його кислотність, зменшують рухомість водню, алюмінію, заліза та марганцю, які переходять у нерозчинну форму стаючи недоступними для рослин і нешкідливими, покращують мікробіологічну активність, підвищують буферність у кислотному інтервалі. Крім того, внесення у ґрунт вапнякових матеріалів підвищує насиченість ґрунтово-вбирного комплексу

основами, покращує фізичні властивості ґрунту, його водний і повітряний режим, утворенню агрономічно-цінних структур, сприяє переводу важкодоступних для рослин фосфатів алюмінію і заліза у більш доступні фосфати кальцію і магнію [48, 119, 135].

Ефективність кальцієвмісних меліорантів залежить від норм, строків і способів їх внесення в ґрунт, видів і якості вапнякових матеріалів, чутливості культур і властивостей ґрунту, поєднання вапнування із застосуванням органічних і мінеральних добрив тощо. При вапнуванні ґрунту також враховують антагонізм між іонами, компенсуючи дефіцит деяких елементів сумісним внесенням органічних і мінеральних добрив.

Збільшення значення рН ґрунту на 1,5-2 одиниці знижує рухомість Cd у 4-8 рази, Pb – в 3-6 разів, а рівень рН, що забезпечує найменшу розчинність ВМ, дорівнює 6,5. Фітотоксичний ефект за внесення вапна у дозі 5 т/га знімається. У випадку перевищення санітарно-гігієнічних нормативів за рівнями вмісту ВМ у рослинах застосовують підвищені норми вапна, розраховані за повної гідролітичної кислотності (10, 15, 20 т/га) [62, 107, 119].

Вапнування ґрунту поліпшує агрофізичні та агрохімічні властивості ґрунту, сприяє зменшенню кислотності до нейтральних значень рН, завдяки чому суттєво знижується рухомість катіонів важких металів, які осаджуються і закріплюються у стійкіші важкорозчинні органічні та мінеральні комплекси. Окрім того, іони кальцію проявляють антагонізм до  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в ґрунтовому розчині і, витісняючи їх в ГВК, заміщують у поглинанні рослинами [43, 55].

Кальцій сприяє коагуляції ґрунтових колоїдів, переводить вільнорозчинні гумінові кислоти у важкорозчинні гумати кальцію, особливо на ґрунтах промивного режиму, з'єднує молекули гумінових кислот, що знижує їх дисперсність і розчинність, скріплює ґрунтові агрегати, поліпшує структуру ґрунту, побічно впливає на окисно-відновний потенціал, активізує процеси окиснення. Крім того, за внесення  $CaCO_3$  активується корисна мікрофлора та підвищується мікробіологічна активність ґрунту, що прискорює розкладання органічних сполук і сприяє кращому засвоєнню рослинами поживних елементів

[83, 95, 122].

Сучасний підхід до визначення норм вапна ґрунтується на властивостях ґрунтів і вимогах рослин до реакції середовища. Серед багатьох існуючих методів розрахунку найбільш розповсюдженим в Україні є розрахунок норм вапна за результатами гідролітичної кислотності (Нr) орного горизонту ґрунту за методом Каппена (дод. А табл. А.4) [117].

Вапнування кислих ґрунтів у помірних дозах сприяє зменшенню втрат азоту і закріпленню його в органічній формі. У провапнованому ґрунті процеси мобілізації органічного азоту переважають над іммобілізацією. Рослини на кислих ґрунтах швидко уражуються хворобами і пошкоджуються шкідниками, менш стійкі проти несприятливих кліматичних умов. Вапнування усуває ці шкідливі явища. При цьому поліпшуються фізико-хімічні властивості ґрунту, підвищується ефективність добрив (15-40%), знижується кислотність [47, 117].

Капуста білоголова та буряк столовий є кальцієфільними «кальцелюбними» рослинами, тому вони позитивно реагують на вапнування ґрунту, є найбільш чутливими до кислотності ґрунту, вимагають нейтральної або слабо лужної реакції ґрунтового розчину [132, 133]. Так, оптимальне значення рН для росту і розвитку капусти білоголової знаходиться в межах 6,3-7,5, тоді як для столового буряка 7,0-7,5 [106, 131]. З врожаєм 70-100 т/га капуста виносить з ґрунту 110-145 кг кальцію, тоді як столовий буряк за врожайності 35-70 т/га тільки 17-32 кг цього елемента [120]. Кальцій забезпечує добрий розвиток кореневої системи (формуванню більшої кількості корневих волосків) у нейтральних значеннях рН ґрунту, що сприяє, доброму надходженні основної маса води й розчинених у ній поживних речовин [90, 91, 117].

Іони кальцію стимулюють імунний апарат самої рослини, завдяки чому рослин стають більш стресостійкими до різких змін температури, дефіциту вологи, а також стійкими до шкідників та різних хвороб, зокрема до судинного бактеріозу, точкового некрозу, кили капусти тощо. При нестачі кальцію рослини столового буряка і особливо коренева система різко слабшають, листя (гичка) стає строкатим, а ділянки між жилками бліднуть. Дефіцит кальцію усувають шляхом внесення

кальцієвої селітри (50-60 кг/га), або ж кальцієвмісних матеріалів, таких як вапнякове борошно чи крейда [120, 134].

#### **1.4.2. Збагачення ґрунту органічною речовиною та відтворення його родючості за використання добрива Біогумус**

Одним із найбільш ефективним і доступним прийомом зниження рухомості більшості важких металів в ґрунті та зменшення інтенсивності їх переходу в рослини відноситься вапнування і збагачення ґрунту органічною речовиною [48, 103, 221]. Органічна речовина утворює з важкими металами комплексні з'єднання у вигляді хелатів, що знижує їх рухомість у ґрунті, а отже доступність і для рослин. Степінь міцності зв'язування ВМ з гумусом залежить від співвідношення у ньому гумінових та фульвокислот [75, 79, 84, 135].

За останні роки в Україні відбулось значне скорочення внесення органічних добрив внаслідок зменшення поголів'я ВРХ. Як відомо, основа родючості ґрунту – вуглець. Для забезпечення бездефіцитного балансу основних елементів живлення необхідно щорічно їх вносити разом з мінеральними добривами. Крім того, органічні добрива є незамінним чинником відтворенням гумусу в ґрунтах, субстратом розвитку, джерелом живлення та енергії для мікроорганізмів та важливим засобом регулювання показників родючості ґрунту [113, 121, 124].

З поміж великого різноманіття органічних добрив, одним із найбільш ефективним та екологічно безпечним є органічне добриво пролонгованої дії Біогумус (вермикомпост), отримане методом вермикультивування. Біогумус (копроліти черв'яків) – високомолекулярна органічна сполука, яка має циклічну структуру й аліфатичні ланцюги, утворені внаслідок перероблення черв'яками органічних речовин (гній, солома, листя, решток силосу, сіна, лушпиння соняшнику, пташиний послід, відходи плодоовочевої продукції та ін.). Виробництво та застосування Біогумусу відповідає вимогам санітарно-епідеміологічної безпеки ведення рослинництва та поповнення ґрунтів органічною речовиною [123, 125].

Встановлено, що Біогумус має різнобічний позитивний вплив на агрохімічні, фізико-хімічні і біологічні властивості ґрунту. У біогумусі акумульована велика кількість макро- та мікро елементів, які безпосередньо засвоюють рослини. Він містить ростові речовини, вітаміни, антибіотики, амінокислоти і корисну мікрофлору. Хімічна реакція біогумусу нейтральна. Унаслідок того, що Біогумус містить комплекс корисних речовин його можна використовувати для удобрення усіх сільськогосподарських культур, але особливо корисний для тих, які потребують поживних речовин у концентрованій формі, збалансованих за хімічним складом. Це добриво пролонгованої дії із синхронним ефектом є новим видом добрив для одержання екологічно безпечної продукції здатної реанімувати ґрунт і знижувати антропогенний вплив на нього, особливо за внесення підвищених доз мінеральних добрив [117, 128].

Вміст гумінових кислот, гумінів, гематомеланових кислот, азоту і співвідношення їх із фульвокислотами характеризують якість Біогумусу за рахунок формування агрономічно цінної структури. Особливу увагу привертає на себе у Біогумусі вміст гумінів, які мають значну питому поверхню (600-1000 г/м<sup>3</sup>). Крім того, за внесення Біогумусу у ґрунті збільшується вміст гумусу, в якому вміст гумінових кислот (в перерахунку на суху речовину) може коливатися в межах 5,6 до 17,6% [123].

Одержаний Біогумус характеризується такими показниками: рН 6,8-7,2; вміст сухих органічних речовин 40-60%; гумусу – 10-12%; загального азоту 0,9-3,0; фосфору – 1,3-2,5; калію – 1,5-2,5; кальцію – 4,5-8,0; магнію – 0,5-2,3; заліза – 0,2 - 2,5%; міді – 3,5-5,1 мг/кг; марганцю – 60-80 мг/кг; цинку – 28-35 мг/кг; вологість – 40-50%; в 1 г міститься близько 2000 млрд. колоній бактерій, тоді як в гної близько 150-350 млн [118]. Переваги вермикомпостування органічних відходів пояснюються високою агрономічною цінністю отриманого продукту – вермикомпосту (Біогумусу), який характеризується відсутністю патогенної мікрофлори, яєць гельмінтів, життєздатного насіння бур'янів та високим ступенем збагачення гумусоподібними сполуками, біологічно активними речовинами та оптимальним значенням рН [121, 127].

Після внесення Біогумусу у ґрунт мікробіологічні асоціації ґрунтових мікроорганізмів швидко адаптуються та перегруповуються в напрямку забезпечення максимальної швидкості протікання процесів гумусоутворення. Тому застосування Біогумусу стимулює мікробіологічну і ферментативну активність ґрунту, оптимізує його фізико-хімічний стан та підвищує буферну стійкість, а також сприяє надходженню легкодоступних елементів живлення для рослин, підвищуючи родючість ґрунту, що загалом дає можливість отримати високий врожай з доброю якістю [130].

Завдяки інтенсивній ферментації Біогумус містить велику кількість біологічно активних речовин (ауксинів, гетероауксинів та ін.), які значно послаблюють стрес рослин, особливо розсади при висаджуванні в ґрунт, підсилюють приживання рослин, пришвидшують проростання насіння, підвищують стійкість рослин до захворювань, впливають на ріст і розвиток рослин, сприяючи одержанню ранньої продукції високої біологічної якості, придатної для тривалого зберігання. Біогумус володіє й іншими цінними властивостями, такими як висока вологоємність, вологостійкість, гідрофільність, механічна міцність [126].

У Біогумусі значно більше рухомих і легкозасвоюваних для рослин елементів живлення. Переважає гній і компости по вмісту гумусу в 4-8 разів. Порівняно з традиційними органічними добривами у ньому в 10-11 разів більше калію, в 7 разів – фосфору, в 2 рази – кальцію і магнію. Поживні речовини Біогумусу повільно розчиняються у воді і, таким чином, можуть довший час забезпечувати рослини живленням (ефект пролонгації). Внесення Біогумусу в нормі 5-8 т/га сприяє поліпшенню родючості сірих лісових ґрунтів і рівнозначне внесенню 25-35 т/га гною. Коефіцієнт гуміфікації субстрату 15-25%, тоді як для гною він становить близько 10%. Велика роль відводиться органічному добриву Біогумус у ґрунтозахисному та органічному землеробстві [123].

Раціональне застосування органічних та мінеральних добрив підвищує урожайність та якість агропродукції, відновлює баланс поживних речовин у ґрунті, збільшує мікробіологічну активність, покращує структурованість і запобігає ерозії ґрунту [50, 90, 129]. Такі позитивні якості добрив проявляються тільки за умови



правильного їх виготовлення, транспортування, зберігання, внесенням у ґрунт у потрібних співвідношеннях і суворо заданих кількостях, вчасних термінах з врахуванням агрохімічних особливостей ґрунту, його обробітку та попередника у сівозміні [45, 121].

### Висновки до розділу 1

Міграції і трансформації йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в агробіоценозах потребує всебічного вивчення. Важливим питанням сьогодні є розроблення заходів спрямованих на зменшення рухомості ВМ у ґрунті та їх токсичного впливу на живі організми.

Поведінка кадмію і свинцю у ґрунтовій системі визначається їх концентраціями у ґрунті, формою знаходження та хімічними і фізичними властивостями самого ґрунту, який впливає на подальшу рухомість, підсилюючи або послаблюючи їх токсичність, міграційну здатність, переводячи в малоактивну форму, яка безпечна та малодоступна сільськогосподарським рослинам і ґрунтовій біоті. За профілем ґрунту кадмій і свинець мігрують дуже повільно та накопичуються переважно у верхньому 0-20 см горизонті, який піддається посиленому техногенному забрудненню.

Із зростанням концентрації рухомих форм  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у ґрунті, збільшується їх вміст у рослинах *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. Важкі метали у підвищених концентраціях пригнічують ріст і розвиток рослин, що в основному залежить від їх біологічних особливостей. Рослини здатні формувати захисні механізми, які зумовлені рядом чинників зовнішнього і внутрішнього походження.

Вапнування кислих ґрунтів є важливим меліоративним заходом із збереження родючості, призупинення ерозійних процесів, зменшенням рухомості важких металів у ґрунті та зниження їх транслокації в рослини. Позитивна дія вапнякових матеріалів на підвищення урожайності і якості овочевих культур виявляється при поєднанні вапнування ґрунту з раціональним внесенням органічних та мінеральних добрив. При цьому також поліпшується якість

продукції, стійкість рослин до хвороб, посухи та перепадів температур.

Застосування органічного добрива Біогумус в 15-20 разів ефективніше за будь-яке традиційне органічне добриво (гній, торф, різі компости та ін.), оскільки в ньому добре збалансовано всі необхідні для рослин макро- та мікроелементи, які знаходяться в легко засвоюваній формі. Біогумус містить багату флору бактерій, біологічно активних речовин, ферментів та високий вміст гумусних речовин, які здатні зв'язувати рухомі форми  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$ .

Науково-обґрунтоване застосування добрив у поєднанні з кальцієвмісними меліорантами здатне суттєво знизити рухомість кадмію та свинцю у ґрунті, зменшити нагромадження йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у рослинах, компенсувати виніс поживних речовин з ґрунту і не допустити його подальшу деградацію, а також забезпечити одержання екологічно безпечної продукції капусти білоголової та буряка столового, що в умовах забруднення агробіоценозів важкими металами є надзвичайно актуальним питанням.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 1

1. Головатый С. Е. Тяжелые металлы в агроэкосистемах. Минск: Республиканское научное дочернее унитарное предприятие "Институт почвоведения и агрохимии", 2002. 239 с.
2. Снітинський В. В., Хірівський П. Р., Гнатів П. С. та ін. Екотоксикологія: навч. посіб. Херсон: Олді-плюс, 2011. 330 с.
3. Мажайский Ю. А. Экологические факторы регулирования водного режима почв в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов. Москва: Изд-во МГУ, 2001. 227 с.
4. Бирагова Н. Ф. Основные источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду (РСО – Алания). *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2003. № 6. С. 35–36.
5. Патика В. П., Омелянець Т. Г., Гриник І. В., Петриненко В. Ф. Екологія мікроорганізмів: навч. посіб. Київ: Основа, 2007. 192 с.

6. Роева Н. Н., Ровинский Ф. Я., Кононова Э. Я. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах. *Журнал. аналит. химии*. 1996. Т. 51, № 4. С. 384-397.
7. Шредер Г., Николаєвський А., Рибаченко В., Опейда Й. Швидкі аналітичні тести в хімічних дослідженнях довкілля: навч. посіб. Донецьк: ТОВ “Юго-Восток, ЛТД”, 2003. 148 с.
8. Nriagu J. O. Global inventory of natural and antropogenic emission of trance metal to the atmosphere. *Natur*. 1979. Vol. 279. P. 409-411.
9. Yuan Yi., Ken Hall K. Oldham C. A preliminary model for predicting heavy metal contaminant loading from an urban cantchment. *Sci. Total. Environ*. 2001. V. 226. №3. P. 299–307.
10. Риженко С. А., Гужва З. Г., Гужва М. О. Експансія отрут. Дніпропетровськ: ІМА–прес, 2004 С. 160 с.
11. Crout M. J., Andy M. Tye., Zhang Hao at all. Kinetics of metal fixation in soils. *Environ. Environmental Toxicology and Chemistry*. 2006, Vol. 25, No. 3, pp. 659–663.
12. Александрова Э. А., Гайдукова Н. Г., Кошеленко Н. А., Ткаченко З. Н. Тяжелые металлы в почвах и растениях и их аналитический контроль: учеб. пособ. / под ред. Э. А. Александровой. Краснодар: КубГАУ, 2001. 166 с.
13. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях Ленинград: Агропромиздат, 1987. 142 с.
14. Орлов Д. С., Садовникова Л. К., Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении. Москва: Высшая школа, 2002. 334 с.
15. Barcelo J, Poschenrieder Ch. Struktural and ultrastruktural changes in heavy metal exposed plants. *Heavy metal stress in plant: from molecules to ecosystems*. Eds. M.N.V. Prasad, J. Hagemeyer. Berlin; Heidelberg: Springer–Verlag. 1999. P. 183–205.
16. Минеев В. Г. Химизация земледелия и природная среда. Москва: Агропромиздат, 1990. 287 с.
17. Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса: новый диалог человека з природой: пер. с англ. Москва: Прогресс, 1986. 432 с.
18. Трахтенберг И. М., Колесников В. С., Луковенко В. П. Тяжелые металлы во

- внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты. Минск: Наука и техника, 1994. 284 с.
19. Ильин В. Б., Гармаш Г. А., Гармаш Н. Ю. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур. *Агрoхимия*. 1983. № 6. С. 91–99.
  20. Тиво П, Быцко И. Тяжелые металлы и экология. Минск: Юнипол, 1996. 190 с.
  21. Фурдичко О. І., Славов В. П., Войцицький А. П. Нормування антропогенного навантаження на навколишнє природне середовище: навч. посіб. Київ: Основа, 2008. 360 с.
  22. Ягодин Б. А., Виноградова С. Б., Говорина В. В. Кадмий в системе почва – удобрение – растения – животные организмы и человек. *Агрoхимия*. 1989. №5. С. 118–130.
  23. Щербов Д. П., Матвеец М. А. Аналитическая химия кадмия. Москва: Наука, 1973. 340 с.
  24. Merrington G., Alloway B. Determination of the residual metal binding characteristics of soils polluted by Cd and Pb. *Water, Air and Soil Pollut.* 1997. № 2. P. 49–62.
  25. Соколов М. С. Возможности получения экологически безопасной продукции растениеводства в условиях загрязнения агроферы (экотоксический аспект). *Агрoхимия*. 1995. №7. С. 112–127.
  26. Ягодин Б. А. Тяжелые металлы и здоровье человека. *Токсикологический вестник*. 1995. № 1. С. 18–20.
  27. Тяжелые металлы как техногенные загрязнители внешней среды и их влияние на здоровье человека: материалы научно-практической конференции «Свинец и здоровье детей». Одесса: Одесск. Гидрометеорол. ин- т., 1999. 130 с.
  28. Бандман А. Л., Гудзовський Г. А., Дубейковская Л. С. и др. Вредные химические вещества. Неорганические соединения элементов I-IV групп: справ. изд. Ленинград: Химия, 1988. 512 с.
  29. Погорелов М. В., Бумейстер В. І., Ткач Г. Ф. Макро- та мікроелементи (обмін, патологія та методи визначення): монографія. Суми: Сумський державний

- університет, 2010. 146 с.
30. Becket P. H., Davis R. D. Upper critical levels of toxic elements in plants. *New Phytologist*. 1997. V.79. P. 95–106.
  31. Горох А. В. Периодическая система химических элементов. Генетический аспект. Донецк: Дон ФТИ НАНУ, 2002. 81 с.
  32. Гигиенические критерии состояния окружающей среды. Свинец. Женева: ВОЗ, 1989. Вып. 3. 193 с.
  33. Бредихин В. Н., Маняк Н. А., Кафтаненко А. Я. Свинец Вторичный: монография. Донецк: Дон. НТУ, 2005. С. 4–25.
  34. Овруцкий О. В., Шумейко В. М., Глухівський І. В. Екологічна токсикологія. Київ: Столиця, 1998. 204 с.
  35. Измеров Н. Ф., Ермоленко А. Е., Тарасова Л. А. и др. Свинец и здоровье. Гигиенический и медико-биологический мониторинг / под ред. Н. Ф. Измерова. Москва: НИИ медицины труда РАМН, 2000. 256 с.
  36. Медико-биологические требования и санитарные нормы качества продовольственного сырья и пищевых продуктов. Москва. 1990. МБТ № 5061 – 89 (МБТ) в Україні № 01/035 від 09.03.1995 року. Київ. 1995. 189 с.
  37. ДСанПін 2.2.4.-171-10 “Гігієнічні вимоги до води питної, призначеної для споживання людиною”, затверджених наказом Мінохоронздорів’я України №400 від 12.05.2012 р. Київ, 2012. 100 с.
  38. Кабата–Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.
  39. Добровольский В. В. География микроэлементов: Глобальное рассеяние. Москва: Мысль, 1983. 272 с.
  40. Паранько Н. М., Белицкая Э. Н., Карнаух Н. Г., Рублевская Н. И. Тяжелые металлы внешней среды и их влияние на иммунный статус населения. Днепропетровск: Полиграфист, 2002. 143 с.
  41. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
  42. Глазовская М. А. Принципы классификации почв по опасности их загрязнения

- тяжелыми металлами. *Биологические науки*. 1989. № 9. С. 38–52.
43. Овчаренко М. М. Тяжелые металлы в системе почва-растение-удобрение. Москва, 1997. 290 с.
  44. Патица В. П., Макаренко Н. А., Моклячук Л. І. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія Київ: Основа, 2005. 300 с.
  45. Макаренко Н. А. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив за впливом на ґрунтову систему: дис...доктора с.-г. наук. Київ, 2002. 377 с.
  46. Жовинский Э. Я., Кураева И. В. Геохимия тяжелых металлов в почвах Украины. Київ: Наукова думка, 2002. 213 с.
  47. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник / за ред. І. М. Карасюка. Київ: Вища школа, 1995. 471 с.
  48. Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Видавництво “ПП Рута”, 2010. 473 с.
  49. Назаренко І. І., Польчина С. М., Дмитрук Ю. М., Смага І. С. Ґрунтознавство з основами геології: підручник. Чернівці: Книги–ХХІ, 2006. 504 с.
  50. Рідей Н. М., Строкаль В. П., Рибалко Ю. В. Екологічна оцінка агробіоценозів: теорія, методика, практика. Херсон: Видавництво Олді – плюс, 2011. 258 с.
  51. Фатеев А. І., Самохвалова В. Л., Мірошніченко М. М. Надходження важких металів до рослин та ефективність добрив на техногенно забруднених ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 1999. №2. С. 61–65.
  52. Перельман А. И. Геохимия: учебн. 2-е изд. Москва: Высш. школа, 1989. 528 с.
  53. Кисіль В. І. Агрохімічні аспекти екологізації землеробства. Харків: Вид. «13 топографія», 2005. 167 с.
  54. Baize D. Teneurs totales en elements traces metalliques dans les sols (France). Paris: INRA, 1997. 409 p.
  55. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2011. 505 p.
  56. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. Trace Elements From Soil to Human. Berlin; Heidelberg: Springer, 2007. 561 p.
  57. Фатеев А. И., Мирошніченко Н. Н., Самохвалова В. Л. Миграция,

- транслокация и фитотоксичность тяжелых металлов при полиэлементном загрязнении почвы. *Агрoхимия*. 2001. №3. С. 57–61.
58. Ладонин Д. В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения. *Почвоведение*. 2002. №6. С. 682–692.
59. Биндич Т. Ю., Мурза І. Ф. Міграційні здібності важких металів при поліелементному складі забруднювачів. *Агрoхімія і ґрунтознавство*. Спец. вип. до V з'їзду УТГА. ч. 4. Київ, 1998. С. 181–185.
60. Макаренко Н. А. Оцінка небезпечності важких металів у ґрунті за екотоксикологічним критерієм “рухомість”. *Агрoхімія і ґрунтознавство*. Спец. вип. до VI з'їзду УТГА. ч. 3. Київ, 2002. С. 90–91.
61. Скопецька О. В., Косик О. І., Мусієнко М. М. Комплексний еколого-фізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроєкосистемах. *Фізіологія і біохімія культ. рослин*. 2004. Т. 36, № 1. С. 27–35.
62. Фатеев А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: методичні рекомендації. Харків: КП “Міськдрук”, 2012. 70 с.
63. Краткий справочник по химии: 4-е изд. исп. и доп. / под общ. редакцией О. Д. Куриленко. Київ: Наукова думка, 1974. 787 с.
64. Ягодин Б. А., Кидин В. В., Цвирко Э. А. Тяжелые металлы в системе почва – растение. *Химия в сельском хозяйстве*. 1996. № 5. С. 43–46.
65. Головатый С. Е., Жигарев П. Ф., Панкрутская Л. И. Поступление кадмия в сельскохозяйственные растения. *Агрoхимия*. №1. 2000. С. 81–85.
66. Фатеева А. І., Пащенко Я. В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 2003. 119 с.
67. Понизовский А. А., Мироненко Е. В. Механизмы поглощения свинца (II) почвами. *Почвоведение*. 2001. № 4. С. 418–429.
68. Хрусталева М. А., Коржевская В. С. Миграция микроэлементов в компонентах ландшафтов центрального Нечерноземья в зависимости от антропогенного воздействия. *Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. С. 200–206.

69. Варшал Г. М., Велюханова Т. К., Кошечева И. Я. Геохимическая роль гумусовых кислот в миграции элементов. *Гуминовые вещества в биосфере*. Москва: Наука, 1993. С. 97–117.
70. Пащенко Я. В., Фатеев А. И. Деякі аспекти діагностики забрудненості ґрунтів важкими металами. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спец вип. до VI з'їзду УТГА. 2002. Ч. 3. С. 113-115.
71. Sterckeman T., Douay F., Proix N. Vertical distribution of Cd, Pb and Zn in soils near smelters in the North of France. *Environ. Pollut.* 2000. № 3. P. 377–389.
72. Минкина Т. М., Мотузова Г. В., Назаренко О. Г. Формы соединений тяжелых металлов в почвах степной зоны. *Почвоведение*. 2008. № 7. С. 810–818.
73. Орлов Д. С. Химия почв: учеб. Москва: Изд-во Моск. Ун-та, 1985. 376 с.
74. Зырин Н. Г. Химия тяжелых металлов, As и Mo в почвах / под ред. Н. Г. Зырина, Л. К. Садовниковой. Москва: Изд-во Моск. ун-та, 1985. С. 208.
75. Мотузова Г. В. Природа буферности почв к внешним химическим воздействиям. *Почвоведение*. 1994. № 4. С. 46–52.
76. Фатеев А. И., Мірошніченко М. М., Самохвалова В. А. До питання оцінки рівнів небезпеки забруднення важкими металами. *Вісник аграрної науки*. 1999. № 10. С. 59–63.
77. Овчаренко М. М. Подвижность тяжелых металлов в почве и доступность их растениям. *Аграрная наука*. 1996. № 3. С. 39–41.
78. Itami Katsuhiko, Yanai Junta. Sorption and deposition properties of Cadmium and Cooper on soil clays in relation to charge characteristics. *Soil Sci. and Plant Nutr.* 2006. № 1. P. 5–12.
79. Волошин Е. И. Транслокация кадмия и свинца в почве и растениях. *Химия в сельском хозяйстве*. 1997. № 2. С. 34–35.
80. Мартынова Н. А. Химия почв: органическое вещество почв: учеб.-метод. пособие. Иркутск : Изд-во ИГУ, 2011. 255 с.
81. Ладонин Д. В., Марголина С. Е. Взаимодействие гуминовых кислот с тяжелыми металлами. *Почвоведение*. 1997. № 7. С. 806–811.
82. Мотузова Г. В. Соединения микроэлементов в почвах: системная организация,



- экологическое значение, мониторинг. Изд. 2-е. Москва: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2009. 168 с.
83. Ермоленко Н. Ф. Микроэлементы и колоиды почв. 2-е – изд. Минск, 1966. 322 с.
84. Трускавецький Р. С. Буферна здатність ґрунтів та їх основні функції. Харків: Нове слово, 2003. 225 с.
85. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб.отд.-ние, 1991. 151 с.
86. Stevenson F. J. Nature of divalent transition metal complexes of humic as revealed by a modified potentiometric titration method. *Soil Science*. 1977. Vol. 123. № 1. P. 10–17.
87. Khanna S. S., Stevenson F. J. Metallo-organic complexes in soil. Potentiometric titration of some soil organic matter isolates in the presence of transition metals. *Soil Science*. 1962. Vol. 93. №5. P. 298–305.
88. 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.
89. Медведєв В. В. Мониторинг почв Украины: Концепции. Итоги. Задачи. (2-е пересмотр. и доп. изд.) "Нац. науч. центр "Ин-т почвоведения и агрохимии им. А. Н. Соколовського. Харьков: КП «Городская типография», 2012. 536 с.
90. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин: навч. посіб. Київ: Логос, 2005. 150 с.
91. White P., Broadley M. Calcium in plants. *Annals of Botany*. 2003. №92 (4). P. 487–511.
92. Школьник М. Я. Микроэлементы в жизни растений. Москва: Наука, 1978. 250 с.
93. Степанок В. В. Влияние комплексов техногенных элементов на химический состав сельскохозяйственных культур. *Агрохимия*. 2001. № 1. С. 50–60.
94. 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.
95. Хімічна меліорація ґрунтів (концепція інноваційного розвитку) / за ред.

- С. А. Балюка, Р. С. Трускавецького. Харків: «Міськдрук», 2012. 129 с.
96. Мислива Т. М., Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / за ред. Т. М. Мисливої. Житомир, 2011. 52 с.
97. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ: Логос, 2006. 208 с.
98. Broos K., Martens J., Smolders E. Toxicity of heavy metals in soil assessed with various soil microbial and plant growth assays. *Environmental Toxicology and Chemistry*. 2005. № 3. P. 634–640.
99. Senesi N. Metal-humic substance complex in the environment. *Biogeochemistry of trace metals* Ed. D.C. Adriano. Boca Raton, 1992. P. 429–496.
100. Мусієнко М. М. Екологія рослин: підручник. Київ: Либідь, 2006. 432 с.
101. Мельничук Ю. П. Влияние ионов кадмия на клеточное деление и рост растений. Київ: Наукова думка, 1990. 148 с.
102. Гармаш Г. А. Содержание свинца и кадмия в различных частях картофеля и овощей, выращенных на загрязненной этими металлами почве. *Химические элементы в системе почва-растение*. Новосибирск: Наука. 1982. С. 105–110.
103. Гришко В. М., Сыщиков Д. В. Функционирование глутатионзависимой антиоксидантной системы и устойчивость растений при действии тяжелых металлов и фтора. Київ: Наукова думка, 2012. 240 с.
104. Серегин И. В., Иванов В. Б. Физиологические аспекты токсического действия кадмия и свинца на высшие растения. *Физиология растений*. 2001. №4 (48). С. 606–630.
105. Ernst W. H. O., Verkleij J. A. C., Schat H. Metal tolerance in plants. *Acta Botanica Neerlandica*. 1992. №41. P.229–248.
106. Болотських О. С. Овочівництво: екологічно-адаптивні технології вирощування. Харків: Фоліо, 1999. 122 с.
107. Гришина А. В., Иванова В. Ф. Транслокация тяжелых металлов и приемы детоксикации почв. *Химия в сельском хозяйстве*. 1997. № 3. С. 36–41.

108. Самохвалова В. Л., Фатєєв А. І. Охорона ґрунтів та розробка концепції використання техногенно забруднених земель. *Сучасне ґрунтознавство: наукові проблеми та методологі викладання*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 28-30 травня 2012 р. НУБіП. Київ, 2012. С. 309–311.
109. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. Москва: Минздрав СССР, 1987. 25 с.
110. Тараріко О. Г. Оцінка придатності сільськогосподарських земель України для створення екологічно чистих сировинних зон і господарств по виробництву продуктів дитячого та дієтичного харчування. *Методичні рекомендації* / за ред. акад. О. Г. Тараріко. Київ: 1998. 58 с.
111. 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.
112. 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.
113. 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: Смуґаста типографія, 2015. 432 с.
114. ГОСТ 17.4.3.06-86. Охрана природы. Почвы. Общие требования к классификации почв по влиянию на них химических загрязняющих веществ. [Чинний від 1986-10-03]. Госстандарт СССР, 1986. 4 с.
115. Методические рекомендации по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами / сост.: В. А. Большаков, Ю. Н. Водяницкий, Т. И. Борисочкина и др. Москва: Почвенный институт им. В. В. Докучаева, 1999. 30 с.
116. Тихоненко Д. Г., Горін М. О., Лактіонова М. І. Ґрунтознавство: підручник / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ: Вища освіта, 2005. 703 с.
117. Городній М. М., Бикін А. В., Нагаєвська Л. М. Агрохімія: підручник. Київ:

- Алефа, 2003. 786 с.
118. Лопушняк В. І., Корчинський І. О., Вислободська М. М., Пархуць І. М. та ін. Агрохімічне обслуговування сільськогосподарських формувань: навчальний посібник. Львів: «Новий Світ – 2000», 2009. 288 с.
  119. 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.
  120. Борисов В. А., Литвинов С. С., Романова А. В. Качество и лежкость овощей. Москва, 2003. 625 с.
  121. Шевчук М. Й., Веремеєнко С. І., Лопушняк В. І. Агрохімія: підручник. Ч.2. Добрива та їх вплив на біопродуктивність ґрунту. Луцьк: Надстир'я, 2012. 440 с.
  122. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 376 с.
  123. Шувар А. І., 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.
  124. Греков В. О., Дацько Л. В. Охорона і відтворення родючості ґрунтів у зональних агроєкосистемах. *Агроєкологічний журнал*, 2009. №1. С. 43–45.
  125. Сендецький В. М. Технологічні аспекти переробки органічних відходів агропромислового комплексу методом вермикультивування. Івано-Франківськ: Фоліант, 2010. 55 с.
  126. 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.
  127. Гармаш С. М. Дослідження агрохімічних, фізіолого-біохімічних та мікробіологічних властивостей екологічно безпечного добрива біогумусу. *Питання хімії та хімічної технології*. 2008. № 3. С. 32–34.
  128. Карпець І. П., Мельник І. А., Головенко В. І. Вермикультура як засіб виробництва біогумусу, кормового білка й оздоровлення навколишнього середовища. Київ: УкрІНТЕІ, 1993. 142 с.

129. 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.
130. Гнидюк В. С. Вплив органічного добрива нового покоління на показники мікробних популяцій ґрунту. *Вісник Прикарпатського НУ ім. В. Стефаніка*. 2012. Вип. 17. С. 227–231.
131. Лихочвор В. В. Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге видання, доповн. і виправл. Львів: НФВ «Українські технології», 2012. 324 с.
132. Болотских А. С. Энциклопедия овощевода. Харьков: Фолио, 2005. 799 с.
133. Лихацький В. І. Улянич О. І., Гордій М. В. Овочівництво. Практикум: навч. посіб./ за ред. В. І. Лихацького. Вінниця, 2012. 442 с.
134. Барабаш О. Ю., Сич З. Д., Носко В. Л. Догляд за овочевими культурами. Київ-Бережани: ННДЦ “Нововведення”, 2008. 123 с.
135. Снітинський В. В., Якобинчук В. Ф. Ґрунтознавство з основами агрохімії та геоботаніки: навч. посіб. 2-ге вид. випр. й допов. Львів: Аверс, 2006. 312 с.

## РОЗДІЛ 2

### УМОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТОДИКА ВИВЧЕННЯ НАГРОМАДЖЕННЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В АГРОФІТОЦЕНОЗАХ

#### 2.1. Кліматичні умови у роки проведення досліджень

Територія Навчально-наукового центру Львівського НАУ, де закладалися досліди, розташована в м. Дубляни Жовківського району Львівської області, що охоплює так зване грядове Побужжя. Дана територія належить до природно-економічної підзони Західного Лісостепу України, що охоплює так зване Грядове Побужжя і складається з низки підвищених вододілів або гряд, видовжених із заходу на схід, які чергуються із широкими міжгрядовими пониженнями.

Клімат цієї зони помірно-континентальний і характеризується досить теплим та помірно-вологим літом. Зима тут є дуже морозна, часто малосніжна. Такий клімат сприятливий для вирощування багатьох сільськогосподарських культур, зокрема капусти білоголової та буряка столового. Середньо багаторічна температура повітря становить 7,8 °С. При цьому найнижча припадає на січень, в середньому за багато років вона складає – 4,2 °С. Однак в окремі роки морози можуть досягати до –33°С.

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. Проте в останні роки відзначають деякий дефіцит вологи у літні місяці.

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

На Львівщині пануючими вітрами є західні у зимовий період. Середня швидкість вітру за рік – 4 м/с. Вітри в основному сухі за характером, вони приносять континентальність повітряних мас. Це призводить 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 повітря. Воно викликає теплу, хмарну погоду з туманами. Мороз до мінус 30 °С спричиняє приплив у зимовий період континентального тропічного повітря. Таке повітря приносить ще холодну безхмарну погоду.

Бувають роки, коли зимою практично тримається позитивна температура і це викликає ріст рослин, що досить небезпечно для холодостійких овочевих культур. Весняне зростання температури проходить дуже поступово, що в деякі роки призводить до затримки підготовки ґрунту і сівби.

Даючи порівняльну характеристику метеорологічних даних за роки досліджень видно, що деякі місяці або пори року подібні між собою, а деякі різко відрізняються між собою і від багаторічних даних.

Характеристика температурних даних за 2009 – 2011 рр. подана у таблиці 2.1.

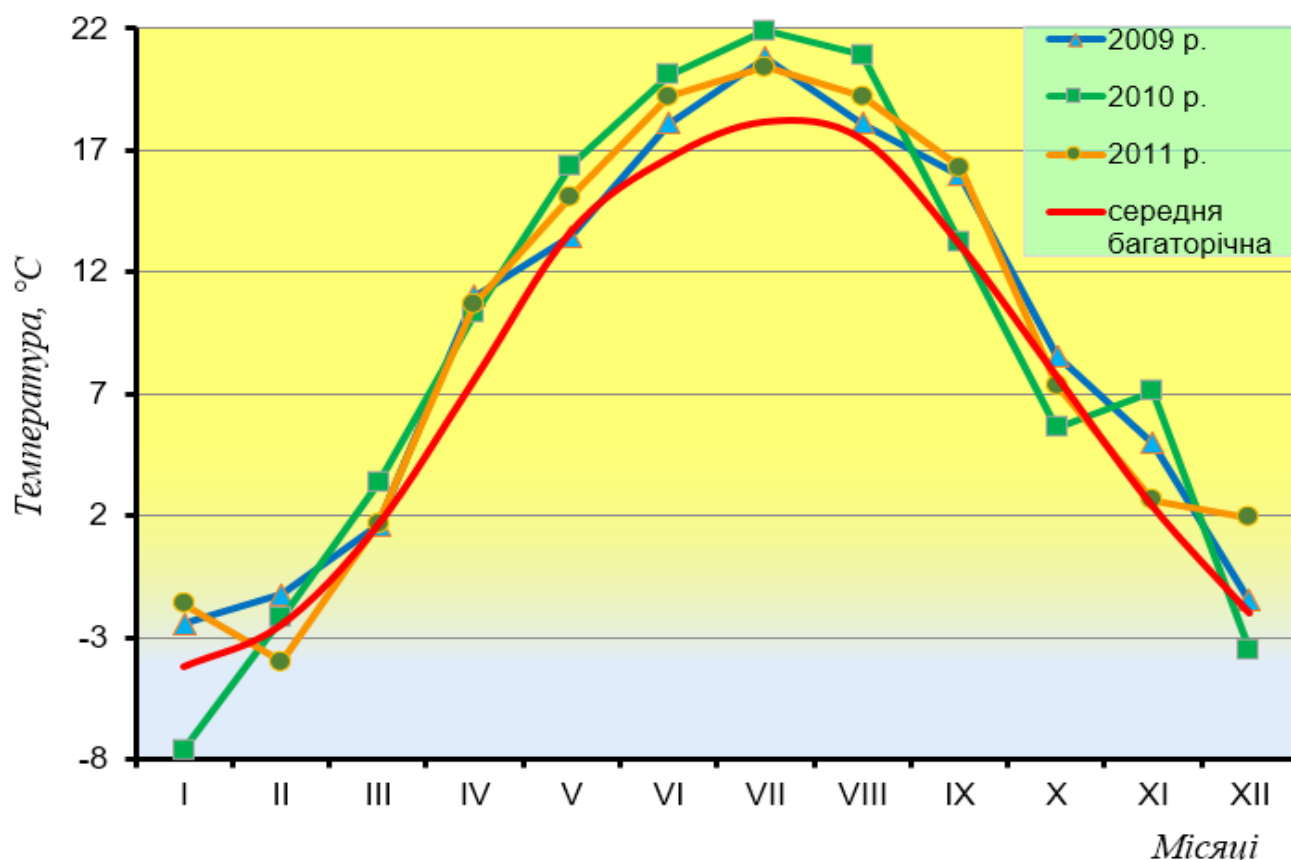


Рис. 2.1. Середньомісячна температура повітря, °С  
(за даними Дублянської метеостанції)

Аналізуючи показники температури за 2009 рік і порівнявши їх із середніми багаторічними даними можна сказати, що за зимовий період багатими на опади були грудень і лютий місяці. Квітень 2009 року був значно тепліший від норми (на  $3,4^{\circ}\text{C}$ ). У травні місяці температура була дещо меншою за середні багаторічні дані на  $-0,2^{\circ}\text{C}$ . Літо за роки досліджень було значно теплішим від багаторічних даних. Наступні місяці відрізнялись від багаторічних даних в сторону зменшення температур відносно норми. Але це суттєво не вплинуло на вирощування пастернаку. В цілому за температурними даними 2009 рік перевищив середню багаторічну на  $1,2^{\circ}\text{C}$ .

Порівнюючи температурні дані 2010 року з попереднім роком досліджень, то видно, що зима була більш холоднішою, особливо в січні місяці. Середньомісячна температура за весняні місяці коливалася від  $10,3^{\circ}\text{C}$  (квітень) до  $16,3^{\circ}\text{C}$  (травень), що вище від середньої багаторічної відповідно на  $+3,0^{\circ}\text{C}$  і  $2,7^{\circ}\text{C}$ . Літо було значно теплішим від середньо багаторічних даних. У вересні місяці температура повітря була на рівні норми. Наступні місяці відрізнялись від багаторічних даних в сторону зростання температури відносно норми, але це не суттєво вплинуло на вирощування капусти білоголової та буряка столового. В цілому за температурними даними 2009 рік перевищив норму в середньому за багаторічними даними на  $+1,0^{\circ}\text{C}$ .

У 2011 році літні місяці дещо перевищували норму і були теплішими. Температура коливалась від  $19,2^{\circ}\text{C}$  в червні до  $20,4^{\circ}\text{C}$  в липні. Також серпень виявився значно теплішим ( $19,2^{\circ}\text{C}$ ) порівняно із середніми багаторічними даними ( $17,5^{\circ}\text{C}$ ). У вересні місяці температура була вищою на  $3,1^{\circ}\text{C}$  порівняно з середніми багаторічними даними. Жовтень місяць був близьким за температурним режимом до середніх багаторічних даних. В цілому 2011 рік був сприятливий для вирощування капусти білоголової та буряка столового з оптимальним температурним режимом.

Кількість опадів за 2009 – 2011 рр. досліджень відображено на рисунку 2.1. Так, аналізуючи забезпеченість вологою рослин в 2009 році, можна сказати, що на початку весни опадів випало в межах норми.



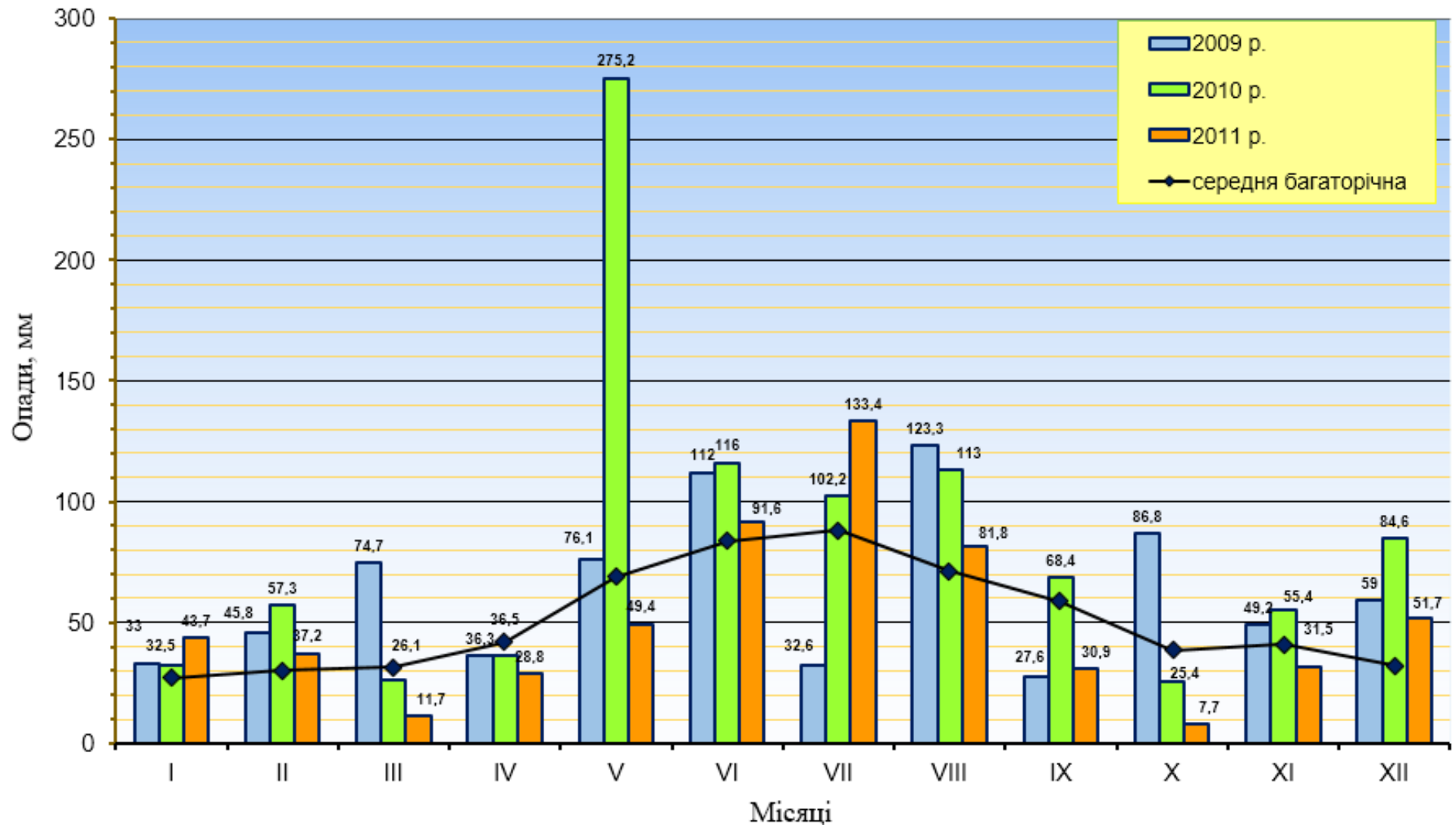


Рис. 2.2. Кількість опадів та їх розподіл за місяцями (декадами), мм  
(за даними Дублянської метеостанції)

В червні кількість опадів випало більше за середньо багаторічну норму на 28,4 мм. В липні місяці випало 32,6 мм, що менше за норму на 55,7 мм. Велика кількість опадів (123,3 мм) випала в серпні місяці, коли проходить інтенсивний період наростання середньої маси коренеплодів столових буряків та наростання маси головок капусти. Проте у вересні місяці спостерігається дефіцит вологи, оскільки в цей період випало 27,6 мм, що менше за середньо багаторічні дані на 31,3 мм. Такий нерівномірний розподіл опадів в період вегетації рослин в 2009 році сприяв зниженню середньої маси коренеплодів буряка столового та головок капусти білоголової, а отже врожайності в цілому.

З даних таблиці 2.2 видно, що початок весни 2010 року проходив з дефіцитом вологи. Травень місяць був перезволоженим, оскільки опадів випало на 275,2 мм більше норми 206,4 мм, а це сприяло доброму початку росту вегетативної маси капусти білоголової та буряка столового.

Літні місяці були з достатньою кількістю опадів, тобто у червні їх було значно більше норми на 36,2 мм, у липні випало 102,2 мм, що вище норми найбільша кількість опадів 152,6 мм, що вище норми на 13,9 мм. В серпні місяці випало 113,0 мм, що вище за середню багаторічну на 41,8 мм. Така достатня кількість опадів сприяла доброму росту рослин капусти білоголової та буряка столового. Початок осені також був відносно сухим, у вересні випало лише 68,4 мм, що вище за норму на 9,5 мм, а жовтень місяць був з дефіцитом вологи.

У 2011 році весна була з дефіцитом вологи, тобто опадів випало у квітні лише 28,8 мм при нормі 41,9 мм, а у травні випало 49,4 мм при нормі 68,8 мм. У літній період кількість опадів була нерівномірною. У червні випало 94,6 мм, що вище за середні багаторічні дані на 8,0 мм. Найбільше опадів випало у липні місяці – 133,4 мм, що вище за норму на 45,1 мм, тоді як у серпні – на 10,6 мм. У вересні ми спостерігаємо дефіцит вологи, оскільки за цей період випало 30,9 мм, при нормі 58,9 мм, тобто менше на 28,0 мм. Жовтень місяць виявився з дефіцитом вологи, оскільки за цей період випало на 30,6 мм менше норми.

Формування і розвиток лісостепових ландшафтів досліджуваної ділянки зумовлені оптимальним балансом тепла і вологи (випаровування вологи за

вегетаційний період рослин майже дорівнює кількості атмосферних опадів), а також повсюдним поширенням лесових порід.

Сумарна радіація становить за рік 3900 МДж/м<sup>2</sup>, а радіаційний баланс складає відповідно 1800 МДж/м<sup>2</sup>. Тривалість періоду із середньодобовими температурами від +5 до +15 °С складає 100-110 днів. Річна кількість опадів 650 мм. Найбільша кількість опадів (65-76%) випадає з квітня по вересень.

Основними показниками агрокліматичної характеристики території слугують її теплозабезпеченість, ступінь зволоженості і континентальність. Теплозабезпеченість зони досліджень визначає тривалість періоду інтенсивної вегетації (кількість днів із температурою вище 15°C). У Західному Лісостепу України вона складає 90-115 днів [141].

На інтенсивність росту й розвитку рослин капусти білоголової та буряка столового впливала також і відносна вологість повітря, яка тісно пов'язана з температурою повітря і ґрунту, опадами, умовами випаровування. За вегетаційний період відносна вологість повітря складала 73 – 74 %.

Таким чином, за 2009 – 2011 роки досліджень рослини капусти білоголової та буряка столового були в кожному пору року по-різному забезпечені як теплом, так і вологою, але в загальному можна сказати, що агрометеорологічні умови у роки проведення досліджень були сприятливі для нормального росту та формування товарного врожаю високої якості головок капусти білоголової та коренеплодів буряка столового.

## **2.2. Характеристика ґрунту дослідної ділянки**

Рельєф території господарства в геоморфологічному відношенні належить до Грядового Побужжя. За рельєфом дана територія досить однорідна плоско – рівнинна, яка в даний час порізана осушними канавами. Мікрорельєф долини представлений блюдцеподібними западинами різної форми та величини. На північ піднімається Грядо – Ситихівська гряда, а на південь вона примикає до Малехівсько – Дублянської гряди. Гряди являють собою хвилясті вододільні плато,

глибоко розсічені системою балок і горбів, видовжених із заходу на схід, які чергуються із широкими міжгрядовими пониженнями утворених внаслідок наступу останнього льодовика та поетапного його танення (останній льодовиковий максимум 18 тис. років тому). Зледеніння четвертинного періоду суттєво впливали на характер екзогенних геологічних процесів та осадконакопичення. Під час зледенінь у перигляційних умовах на цій території формувалися товщі лесів. Вододільні плато досить широкі з схилами різної крутизни від  $2^\circ$  до  $10^\circ$ , де поширені ґрунти різного ступеня змитості.

Польові дослідження проводилися протягом 2009 – 2011 рр. на дослідному полі Навчально-наукового центру Львівського національного аграрного університету, розташованого на території м. Дубляни, Жовківського району, Львівської області.

Дослідження проводилися на темно-сірих опідзолених легко-суглинкових ґрунтах. Ці ґрунти залягають на плато і нижніх третинах схилів. Згідно з сучасними уявленнями, які найбільш повно висловив Б.П. Ахтирцев, сірі лісові ґрунти утворились під широколистяними лісами в післяльодовиковий період, коли лесові породи почали поступово вкриватись лісом, під впливом таких основних процесів: гумусонакопичення, біологічної акумуляції зольних речовин, вилуговування карбонатів і легкорозчинних солей, міграції гумусових речовин і продуктів розкладу мінералів, лесиважу. Тобто вони утворилися внаслідок переважання дернового процесу над підзолистим процесом ґрунтоутворення [162].

За гранулометричним складом спостерігається чітка диференціація за Е-І типом. Добре виражена диференціація за хімічним складом. Важливою діагностичною ознакою є вміст гумусу, кількість якого різко зменшується з глибиною. Тип гумусу – гуматний. Темно-сірі опідзолені ґрунти володіють інтенсивним процесом акумуляції гумусу. Вміст гумусу в орному шарі ґрунту (0-20 см) 2,3–3,5% у цілинних 6–10%, глибина гумусового горизонту сягає до 50-60 см.

ґрунти загалом кислі, але деякі темно-сірі мають слабокислу реакцію середовища. У складі обмінних катіонів переважають Са та Mg, водню та алюмінію

досить мало. Карбонати залягають з глибини 110-130 см. Фізичні властивості деяких сірих лісових ґрунтів є несприятливі, оскільки в складі гранулометричних фракцій багато пилу, тому ґрунти запливають, утворюється кірка [141, 192].

Ґрунти характеризуються такими фізичні показниками в орному горизонті: об'ємна маса – 1,27 г/см<sup>3</sup>, питома – 2,43 г/см<sup>3</sup>, загальна шпаруватість – 49,8 %, максимальна гігроскопічність – 4,3 %.

Для природної зони Західного Лісостепу України з вилугуваними типовими чорноземами, характерний періодичний промивний режим ґрунту, який формується для ґрунтів при річній сумі опадів, що приблизно дорівнює річній випаровуваності. Наскрізь вода проникає один раз в 10-15 років. Періодично (не щорічно) весь профіль насичується водою до вологи найменшої вологості. У нижній частині профілю періодично волога падає до вологи розриву капілярів, а у верхній – до вологи в'янення. Ґрунтові води залягають на глибині 2 - 3 м і забезпечують вологість ґрунту (% від польової вологості) в межах 54 - 82 % на глибині гумусового горизонту 15 - 30 см [145].

Темно-сірі опідзолені ґрунти в орному горизонті (0-20 см) характеризується низьким вмістом лужногідролізованого азоту та середнім вмістом фосфору і калію. Загалом темно-сірі ґрунти належать до високородючих ґрунтів, проте потребують певних агрозаходів для покращення їх агрофізичних та агрохімічних властивостей [193, 194].

В межах Лісостепової зони навіть ґрунти, що сформувались на лесах, відрізняються за вмістом мікроелементів. Це обумовлюється особливостями і напрямком ґрунтоутворенням та залежить не тільки від типу, підтипу, або виду ґрунтів, але і від їх провінціальних особливостей.

Встановлено, що в межах окремих типів ґрунтів контраст у вмісті окремих елементів створюється в основному у результаті їх відмінностей за гранулометричним складом. У зв'язку з цим відбувається й перерозподіл у ґрунтах Лісостепу України з підвищенням вмісту мікроелементів у напрямку з північного заходу на південний схід. У накопиченні елементів у ґрунтах провінцій велика роль належить і карбонатам, які прямо та опосередковано впливають на цей процес. З

одного боку при створенні екрана на шлях міграції мікроелементів вони їх сорбують і таким чином збагачують ґрунт, а з іншого – підвищуючи реакцію ґрунтового розчину, карбонати обумовлюють створення та накопичення важкорозчинних сполук мікроелементів [144].

Як свідчить агрохімічне обстеження земель сільськогосподарського призначення на Львівщині забруднення ґрунтів важкими металами, залишками пестицидів та іншими поллютантами носить переважно локальний характер, а вміст важких металів в ґрунтах не перевищує гранично допустимих концентрацій. На основі проведеної агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення у 2014 році в Жовківському районі Львівською філією ДУ «Держґрунтохорона» на вміст рухомих форм важких металів в орному горизонті встановлено, що концентрація кадмію і свинцю у проаналізованих ґрунтових пробах суттєво не перевищувала ГДК. Так, для кадмію цей показник в середньому складав 0,19 мг/кг (при ГДК 0,7 мг/кг), а для свинцю – 2,65 мг/кг (при ГДК 2,0 мг/кг) [193].

Оцінку екологічного стану ґрунтів за вмістом важких металів (Cd та Pb) проводили шляхом порівняння фактичного вмісту їх у ґрунті з такими показниками, як гранично-допустима концентрація (ГДК) та геохімічним фоном для даного типу ґрунту.

На основі проведених хімічних аналізів в темно-сірому опідзоленому ґрунті дослідного поля в середньому за роки досліджень встановлено, що природний фон рухомих форм кадмію та свинцю в орному горизонті (0-20 см) становив: Cd – 0,163 мг/кг; Pb – 0,870 мг/кг сухого ґрунту.

Аналіз розподілу концентрації валових форм кадмію (Cd) та свинцю (Pb) у вертикальному профілі темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідного поля дозволив встановити два наявні сорбційні бар'єри (природні екрани): 1) перерозподіл та підвищення мулистої фракції (40-60 см); 2) залягання карбонатів (100-120 см).

Так, у вертикальному профілі ґрунту кадмій на шляху радіальної міграції затримувався двома вищезгаданими природними бар'єрами на глибині 50 та

110 см, тоді як свинець концентрувався в основному на глибині 110 см. Найбільшу концентрацію кадмію та свинцю відзначали у верхньому орному горизонті (рис. 2.3 та 2.4).

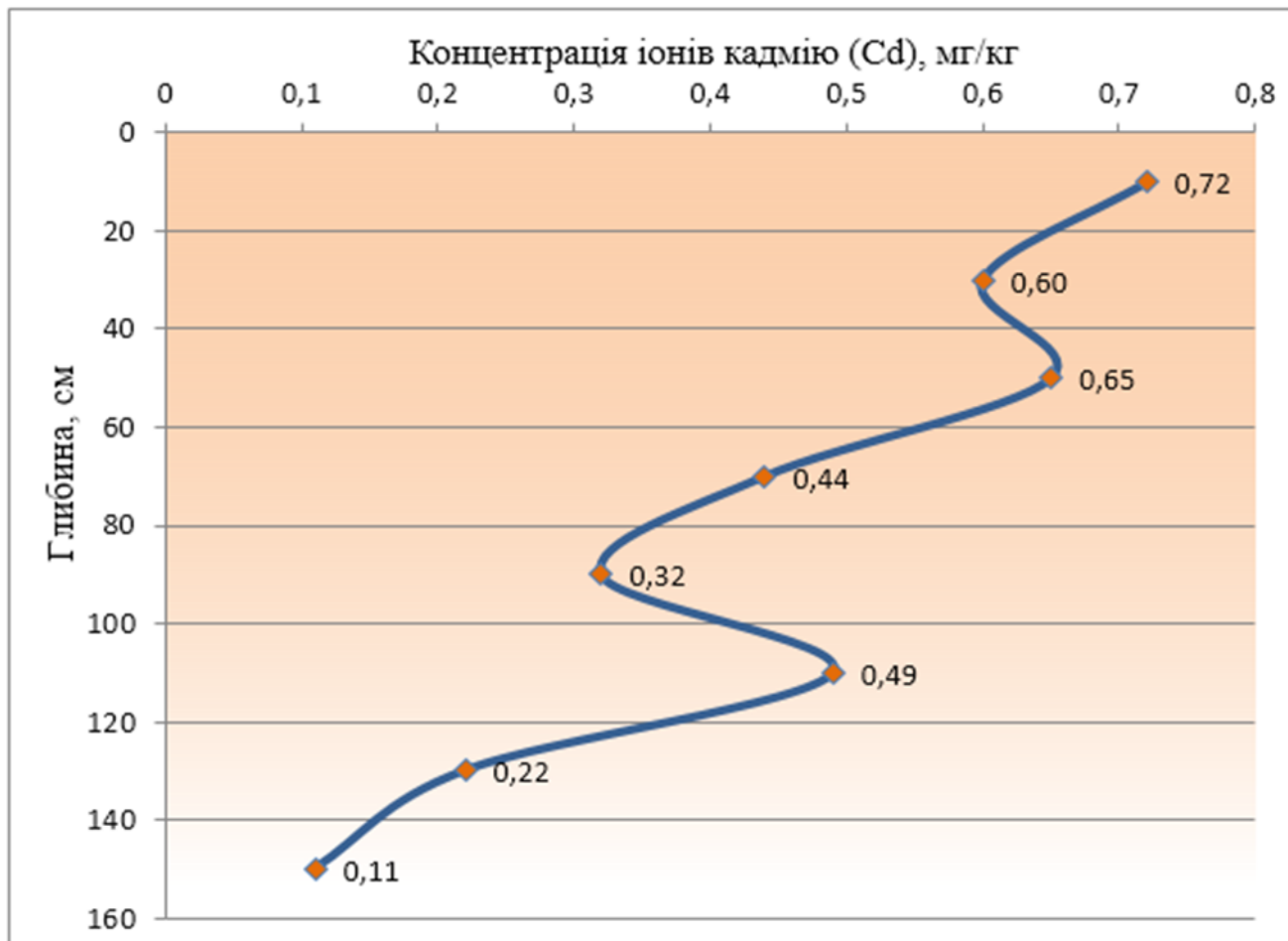


Рис. 2.3. Фонний розподіл концентрації валових форм кадмію у вертикальному профілі темно-сірого опідзоленого ґрунту, мг/кг

Даючи характеристику профілю темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідного поля слід сказати, що у верхньому горизонті ґрунт недостатньо забезпечений гумусом (2,33%), який вниз за профілем різко зменшується. Згідно реакції ґрунтового середовища такий ґрунт можна віднести до слабо кислого ( $pH_{KCl}$  5,6), однак вниз по ґрунтовому профілю реакція ґрунтового середовища стає нейтральною. Ступінь насиченості основами в орному горизонті темно-сірого опідзоленого становить 77, який вниз по ґрунтовому профілю збільшується до 96%.

Рівні насиченості ґрунтово-вбирного комплексу основами (катіонами  $\text{Ca}^{2+}$  та  $\text{Mg}^{2+}$ ) низький. За вмістом фізичної глини (з розміром частинок менших 0,01 н.м) та  $\text{SiO}_2$  ґрунт дослідного поля належить до легкосуглинкового (табл. 2.1).

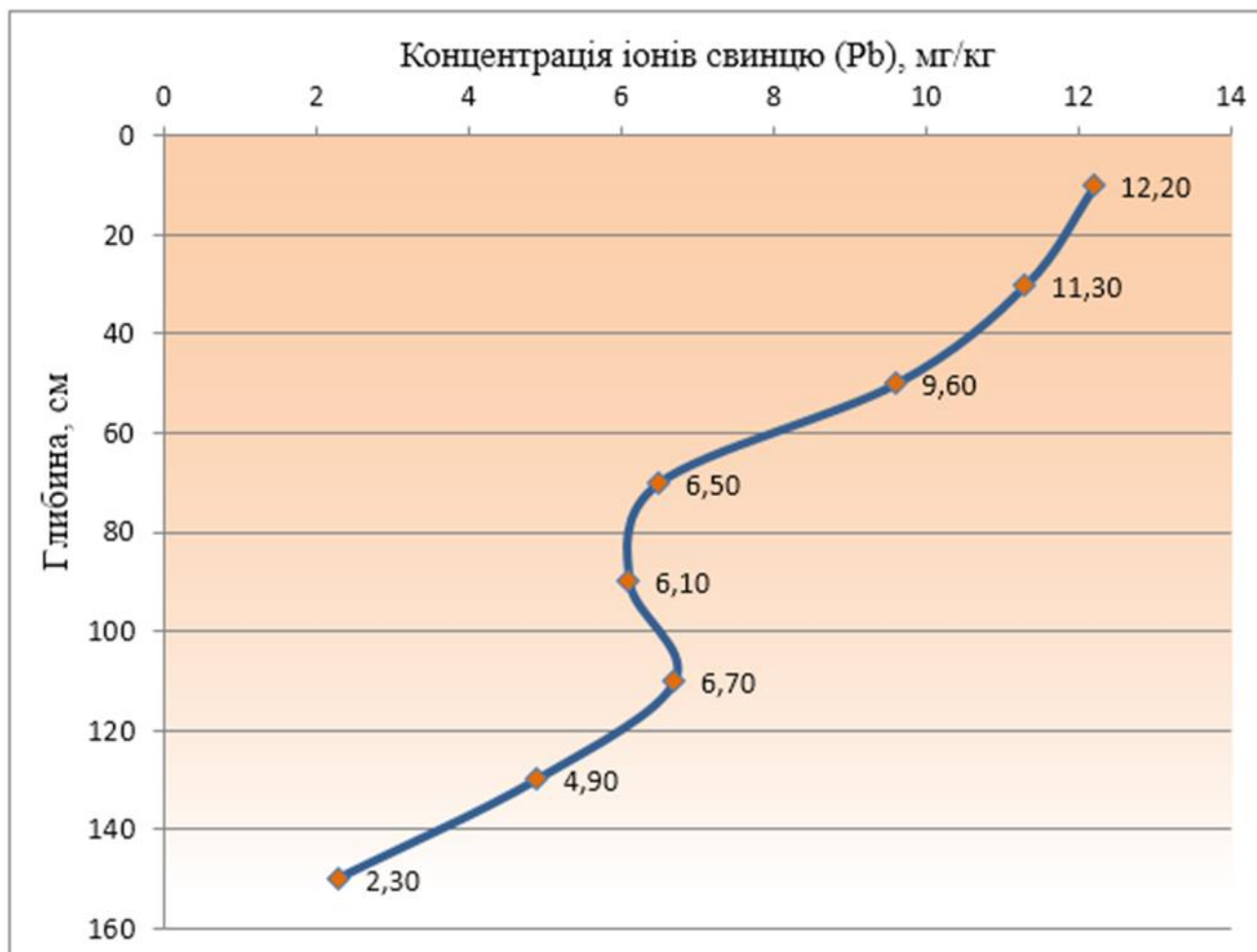


Рис. 2.4. Фонний розподіл концентрації валових форм свинцю у вертикальному профілі темно-сірого опідзоленого ґрунту, мг/кг

Перед закладанням польових модельних дослідів за роки досліджень ґрунт дослідного поля в орному горизонті (0-20 см) характеризувався такими агрохімічними показниками:  $\text{pH}_{\text{сол.}}$  – 5,4-5,6, гідролітична кислотність ґрунту – 3,49 -3,62 мг-екв/100 г ґрунту, сума увібраних основ – 11,0-12,2 ммоль/100г ґрунту, вміст гумусу – 2,29-2,32%, забезпеченість легкогідролізованим азотом – 118-124 мг/кг, рухомим фосфором – 97-110 мг/кг, обмінним калієм – 88-95 мг/кг, рухомою сіркою – 3,5-3,9 мг/кг ґрунту, обмінним кальцієм – 5,57-5,73 мг-екв/100 г,



обмінним магнієм – 0,62-0,98 мг-екв/100 г, рухомими формами кадмію – 0,149-0,175 мг/кг, рухомими формами свинцю – 0,853-0,892 мг/кг сухого ґрунту. Детальна агрохімічна характеристика темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідного поля за роки досліджень наведена в таблиці 2.2.

Таблиця 2.1.

**Агрохімічна характеристика профілю темно-сірого опідзоленого ґрунту  
дослідного поля**

Горизонт	Глибина, см	Гумус, %	SiO <sub>2</sub> , %	Фізична глина, %		pH(ксі)	Вбирні основи, мг-екв/100 г		Ступінь насиченості основи, %
				0,01 мм	0,001 мм		Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
He	0-30	2,33	75,4	28,9	19,5	5,6	14,3	1,8	77
Hi	30-45	2,05	76,1	31,2	20,6	5,7	14,8	2,2	81
Ih	45-65	1,82	75,9	33,6	21,3	5,8	15,1	3,5	84
I	65-90	1,07	73,2	35,4	24,2	5,9	17,2	4,3	89
Pi	90-100	0,64	72,0	37,1	24,7	6,3	17,6	4,9	92
P <sub>к</sub>	100-120	-	68,3	38,8	25,5	7,0	18,4	5,5	96

Для підвищення родючості темно-сірих опідзолених ґрунтів, покращення їх агрофізичних та буферних властивостей велике значення має раціональне застосування органічних та мінеральних добрив, систематичне використання меліорантів, сидератів, інтегрованої системи захисту рослин, чергування сівозмін, висівання багаторічних трав, приорування післяжнивних решток, впровадження ґрунтозахисних способів обробітку ґрунту. Також для покращання аерації таких ґрунтів слід проводити глибоке розпушення і постійно підтримувати ґрунт у рихлому стані. Добрі фізико-хімічні властивості набувають такі ґрунти після вапнування (за Нг) з утворенням агрономічноцінних структур, що значно підвищує їх родючість та захисні (буферні) властивості [145, 192, 197].

Таблиця 2.2

**Агрохімічна характеристика орного горизонту (0-20 см) темно-сірого опідзоленого ґрунту  
дослідного поля за роки досліджень**

Рік	Вміст гумусу %	Гідролітична кислотність, мг-екв/100 г	Сума ввібраних основ, ммоль/100г	рН сольової витяжки	Вміст у ґрунті елементів мінерального живлення						Рухомі форми важких металів, мг/кг ґрунту	
					Легкогідролізований азот (N), мг/кг ґрунту	Рухомий фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг ґрунту	Обмінний калій (K <sub>2</sub> O), мг/кг ґрунту	Рухома сірка (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/кг ґрунту	Обмінний кальцій (Ca <sup>2+</sup> ), мг-кв/100 г	Обмінний магній (Mg <sup>2+</sup> ), мг-кв/100 г	Cd <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>
2009	2,34	3,49	12,3	5,6	118	97	88	3,51	5,57	0,62	0,149	0,853
2010	2,29	3,62	11,2	5,4	124	110	95	3,94	5,73	0,98	0,175	0,892
2011	2,31	3,55	11,6	5,5	120	103	91	3,37	5,64	0,74	0,163	0,869

Таким чином, агрохімічні властивості темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідного поля загалом добрі. За природною родючістю темно-сірі ґрунти належать до кращих ґрунтів області, поступаючись лише опідзоленим чорноземам, і мають добрі потенційні можливості для формування доброго врожаю капусти білоголової та буряка столового.

### **2.3. Методика польових і лабораторних досліджень**

Експериментальні дослідження з вивчення поведінки кадмію і свинцю у системі “ґрунт-рослина” залежно від рівнів забруднення ґрунту цими металами, за використання меліорантів та різної системи удобрення проводили на темно-сірих опідзолених ґрунтах Західного Лісостепу України на дослідному полі навчально-наукового центру Львівського національного аграрного університету впродовж 2009 – 2011 рр.

Для проведення досліджень використовували наступні методи: польові, лабораторні, агрохімічні, мікробіологічні, фенологічні, біометричні, токсикологічні, модельні, біохімічні та статистичні [176].

В умовах мікропольових модельних дослідів вивчали вплив органічної, мінеральної, та органо-мінеральної системи удобрення у поєднанні з вапнуванням, за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, на рухомість цих металів, зміну агрохімічних та мікробіологічних показників ґрунту, а також процеси транслокації та біоаккумуляції  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в рослини буряка столового і капусту білоголову, їх вплив на ростові процеси, урожайність та якість продукції.

Польові та лабораторні дослідження проводили за такими методиками: «Методика дослідної справи в овочівництві та баштанництві» [147], «Методика полевого опыта» [146], «Основи наукових досліджень у плодівництві, овочівництві, виноградарстві та технології зберігання плодоовочевої продукції» [186], «Методика моніторингу земель, що перебувають у кризовому стані» [148, 185], «Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі» [136].

Досліди закладали у природних польових умовах (*in situ*). Тест-культурами були капуста білоголова пізньостигла (*Brassica oleracea var. capitata* L.), що належить до родини капустяні (*Brassicaceae*) – сорт Ярославна та буряк столовий (*Beta vulgaris* L.), що належить до родини лободових (*Chenopodiaceae*) – сорт Бордо Харківський.

Сівбу капусти білоголової проводили у III декаді квітня, а сівбу буряка столового – у II декаді травня (беручи до уваги біологічні особливості рослин) на фоні внесених добрив і меліорантів в попередньо забруднений ґрунт важкими металами згідно з схемою дослідю.

Як забруднювачі використали солі важких металів  $\text{CdCl}_2$  та  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$ , які окремо вносили водним розчином у ґрунт ще восени (III декада жовтня) і загортали на глибину 0-20 см при штучно змодельованих рівнях забруднення 1; 3; 5 ГДК (валових форм), а через два тижні – вносили меліоранти  $\text{CaCO}_3$  (вапнякове борошно) у нормі 5 т/га за гідролітичною кислотністю [140, 173, 164, 197], згідно зі схемою дослідю, яке також загортали у ґрунт. При цьому виходили з даних [136, 148, 155], що ГДК у ґрунті валових форм для Cd становить 3 мг/кг, а для Pb – 32 мг/кг ґрунту. На природному (контрольному) фоні солі важких металів не вносили.

Розрахунок внесених солей  $\text{CdCl}_2$  та  $\text{Pb}(\text{CH}_3\text{COO})_2$  на кожну мікроділянку дослідю здійснювався з урахуванням валової концентрації в них кадмію і свинцю для конкретного змодельованого рівня забруднення, при тому беручи до уваги об'єм ґрунту та його фізичну вагу в орному (0-20 см) горизонті [136]. Валова концентрація кадмію та свинцю внесених у ґрунт залежно від рівнів штучно змодельованого імпактного моноелементного забруднення наведена в таблиці 2.3.

Для детоксикації ґрунту забрудненого важкими металами у модельному експерименті проводився розрахунок норми внесення  $\text{CaCO}_3$  з врахуванням фізико-хімічних властивостей ґрунту, виходячи із значення гідролітичної кислотності ґрунту та концентрації кальцію у меліорантах [164, 197].

Навесні (II-III декада березня) під передпосівну культивуацію (відповідно до специфіки проведення мікропольових дослідів) вносили комплексне,

концентроване, фізіологічно-нейтральне мінеральне добриво пролонгованої дії, нітроамофоску марки 16:16:16, а також органічне добриво Біогумус (продукт вермікультури) згідно зі схемою досліду.

Таблиця 2.3

**Концентрація кадмію та свинцю внесена у ґрунт сольовими розчинами важких металів при штучно змодельованих рівнях забруднення, мг/кг**

Кадмій ( $\text{Cd}^{2+}$ )		Свинець (Pb)	
Рівень забруднення	мг/кг ґрунту	Рівень забруднення	мг/кг ґрунту
*Фон (контроль)	–	*Фон (контроль)	–
1 ГДК $\text{Cd}^{2+}$	3	1 ГДК $\text{Pb}^{2+}$	32
3 ГДК $\text{Cd}^{2+}$	9	3 ГДК $\text{Pb}^{2+}$	96
5 ГДК $\text{Cd}^{2+}$	15	5 ГДК $\text{Pb}^{2+}$	160

Примітка: \*на природному (контрольному) фоні солі ВМ не вносили.

Розрахунок діючої речовини (НРК) у мінеральному добриві нітроамофоска здійснювали у фізичній вазі, в перерахунку на 1 га (з врахуванням 16% д. р.). Зазначимо, що норми внесення карбонату кальцію, мінеральних та органічних добрив проводили з урахуванням ґрунтово-кліматичних умов і рекомендацій з вирощування буряка столового та капусти білоголової, а саме їх біологічній потребі в елементах мінерального живлення [138, 161].

Детальна характеристика та склад органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів подана в додатку Б, табл. Б.1 – Б.3.

У лабораторно-польових модельних дослідах вивчалися такі фактори:

Фактор А – норми внесених добрив та кальцієвих меліорантів;

Фактор В – рівні забруднення ґрунту важкими металами (Cd та Pb);

Загальна площа однієї мікроділянки – 6 м<sup>2</sup>, облікова (2×1 м) – 2 м<sup>2</sup>. Ширина захисної смуги – 1,5 м. Повторність досліду п'ятиразова, розміщення варіантів систематичне [147].

**Програмою досліджень** було передбачено закладання чотирьох окремих мікропольових модельних дослідів. 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 та свинцем на: агрохімічні параметри ґрунту; біологічну та ферментативну активність ґрунту; рухомість  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті; нагромадження йонів  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у різних органах рослини буряка столового і капусти білоголової; фітотоксичний вплив йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  на ростові процеси у період вегетації та зміну біометричних параметрів рослин; нагромадження йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у листках за основними фенофазами вегетації; фенологічну динаміку активності пероксидази у листках капусти білоголової та буряка столового, як індикатор стресу рослин за дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$ ; урожайність і якість капусти білоголової та буряка столового; економічну ефективність та біоенергетичну оцінку застосування добрив і меліорантів.

**Схема досліду № 1** за вирощування *капусти білоголової* передбачала варіанти:

- 1) Без добрив (контроль);
- 2)  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$ ;
- 3) Біогумус 8 т/га;
- 4)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га;
- 5)  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;
- 6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;
- 7)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ .

Змодельовані рівні забруднення ґрунту *кадмієм* 1; 3; 5 ГДК у валових формах. На контрольному фоні солі кадмію не вносили.

**Схема досліду № 4** за вирощування *капусти білоголової* передбачала варіанти:

- 1) Без добрив (контроль);
- 2)  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$ ;
- 3) Біогумус 8 т/га;
- 4)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га;
- 5)  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;

6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;

7)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ .

Змодельовані рівні забруднення ґрунту *свинцем* 1; 3; 5 ГДК у валових формах. На контрольному фоні солі свинцю не вносили.

**Схема досліду № 3** за вирощування *буряка столового* передбачала варіанти:

1) Без добрив (контроль);

2)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ ;

3) Біогумус 4 т/га;

4)  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га;

5)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га;

6) Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га;

7)  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га.

Змодельовані рівні забруднення ґрунту *кадмієм* 1; 3; 5 ГДК у валових формах. На контрольному фоні солі кадмію не вносили.

**Схема досліду № 4** за вирощування *буряка столового* передбачала варіанти:

1) Без добрив (контроль);

2)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$ ;

3) Біогумус 4 т/га;

4)  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га;

5)  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;

6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ ;

7)  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ .

Змодельовані рівні забруднення ґрунту *свинцем* 1; 3; 5 ГДК у валових формах. На контрольному фоні солі свинцю не вносили.

Схематичне розміщення варіантів польового, мікроділяночного, двофакторного, модельного, короткотермінового досліду за вирощування буряка столового та капусти білоголової при штучно змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання різної системи удобрення та кальцієвих меліорантів зображено на рисунку 2.5.

<b>ФОН (контроль)</b>	<b>РІВНІ ЗМОДЕЛЬОВАНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ КАДМІЄМ І СВИНЦЕМ</b>		
<b>1. (К)</b> Без добрив (контроль)	<b>(1 ГДК)</b> Без добрив (контроль)	<b>(3 ГДК)</b> Без добрив (контроль)	<b>(5 ГДК)</b> Без добрив (контроль)
<b>2. (К)</b> *NPK 1,0	<b>(1 ГДК)</b> NPK 1,0	<b>(3 ГДК)</b> NPK 1,0	<b>(5 ГДК)</b> NPK 1,0
<b>3. (К)</b> Біогумус 1,0	<b>(1 ГДК)</b> Біогумус 1,0	<b>(3 ГДК)</b> Біогумус 1,0	<b>(5 ГДК)</b> Біогумус 1,0
<b>4. (К)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5	<b>(1 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5	<b>(3 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5	<b>(5 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5
<b>5. (К)</b> NPK 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(1 ГДК)</b> NPK 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(3 ГДК)</b> NPK 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(5 ГДК)</b> NPK 1,0+ CaCO <sub>3</sub>
<b>6. (К)</b> Біогумус 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(1 ГДК)</b> Біогумус 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(3 ГДК)</b> Біогумус 1,0+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(5 ГДК)</b> Біогумус 1,0+ CaCO <sub>3</sub>
<b>7. (К)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(1 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(3 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5+ CaCO <sub>3</sub>	<b>(5 ГДК)</b> NPK 0,5+ Біогумус 0,5+ CaCO <sub>3</sub>
1 ПОВТОРНІСТЬ ДОСЛІДУ			
2 ПОВТОРНІСТЬ ДОСЛІДУ			
3 ПОВТОРНІСТЬ ДОСЛІДУ			
4 ПОВТОРНІСТЬ ДОСЛІДУ			
5 ПОВТОРНІСТЬ ДОСЛІДУ			

Рис. 2.5. Схема польового мікроділяночного модельного дослідження за вирощування капусти білоголової та буряка столового

Лабораторні дослідження проводили в науково-дослідній агрохімічній лабораторії кафедри ґрунтознавства, землеробства та агрохімії Львівського національного аграрного університету (свідоцтво про атестацію за № РЛ 1354/09 від 21.04.2009 р.), а також в лабораторіях Державної установи Івано-Франківського обласного проектно-технологічного центру охорони родючості ґрунтів і якості продукції «Облдержродючість» (свідоцтво про атестацію за № А11-177 від 25.07.2011 р.).



У дослідах проводили такі спостереження, обліки, розрахунки та аналізи:

**Агрохімічний аналіз ґрунту.** Для агрохімічної та морфологічної характеристики ґрунтового профілю, описували ґрунтовий розріз з відбором зразків по горизонтах (0-20 см, 30-50 см, 70-80, 100-120 та 140-150 см) [167, 174].

Відбір зразків ґрунту для агрохімічних аналізів здійснювали згідно з ДСТУ 4287:2004 [166]. 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 [163, 167].

Відбір проб ґрунту для фізико-хімічних аналізів проводили згідно з ДСТУ ISO 11464:2007 [169]. Визначення вмісту гумусу в ґрунті проводили за методом Тюріна в модифікації ЦІНАО згідно з ДСТУ 4289:2004 [168]. Визначення показника рН у ґрунті проводили згідно ДСТУ ISO 10390:2007 [170]. Визначення гідролітичної кислотності ґрунту проводили за методом Каппена в модифікації ЦІНАО – ГОСТ 26212-91 [171].

Визначення суми увібраних основ у відібраних зразках ґрунту проводили за методом Каппена - Гільковиця – ГОСТ 27821-88 [172]. Визначення вмісту у ґрунті лужногідролізованого азоту проводили за методом Корнфільда [173]. Визначення в ґрунті рухомих сполук фосфору і калію проводили за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА [175]. Комплексонометричне визначення обмінного кальцію та обмінного (рухомого) магнію проводили за методами ЦІНАО – ГОСТ 26487-85 [177]. Визначення рухомої сірки проводили за методом ЦІНАО згідно з ГОСТ 26490-85 [191].

**Визначення концентрації кадмію та свинцю у ґрунті** проводили методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі марки С115–1М за атестованими і стандартизованими методиками [143, 178]. Екстрагування валових форм кадмію та свинцю в ґрунтових зразках проводили концентрованою  $\text{HNO}_3$ , а рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 згідно з ДСТУ 4770.3:2007 – ДСТУ 4770.9:2007 [179, 180].

**Визначення концентрації важких металів в органічних і мінеральних добривах, а також у кальцієвих меліорантах** проводили методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії на приладі С115М–1М з вилученням їх різними за силою екстрагентами за відповідними методиками [137, 139, 173].

**Мікробіологічну та ферментативну активність ґрунту** визначали за загальноприйнятими методами. Визначення загальної біологічної активності ґрунтових мікроорганізмів, а саме *інтенсивність виділення ними CO<sub>2</sub>* проводили в серпні місяці за методом А. Ш. Галстяна [195, 196]. Суть методу базується на інтенсивності «дихання ґрунту» з урахуванням кількісних змін вуглекислого газу в атмосфері ґрунту за допомогою широко-шийкових конічних колб із використанням трубок з натронним вапном. За різницею між даними титруванням контрольного та дослідного ґрунту визначали кількість CO<sub>2</sub>.

Відбирали ґрунтові зразки з глибини 15 см в I декаді серпня у фенофазі зав'язування головок капусти білоголової та фенофазі змикання рядків столових буряків. Інтенсивність виділення виражали у міліграмах вуглекислого газу, що виділився за добу на 100 г ґрунту.

*Ферментативну активність ґрунту* поліфенолоксидази та пероксидази визначали в серпні місяці за методом А. Ш. Галстяна [183], а інвертази, уреазі, фосфатази, каталази та дегідрогенази за методом Д. Г. Звягінцева [184]. Підготовку ґрунтових зразків для мікробіологічного аналізу проводилися по Д. Г. Звягінцеву [181, 182].

**Фенологічні спостереження** за ростом і розвитком рослин капусти білоголової та буряка столового проводили враховуючи індивідуальні біологічні особливості рослин. Відзначали такі дати настання фенологічних фаз росту і розвитку рослин *капусти білоголової*: з'явлення поодиноких (10 %) та масових сходів (75 %); поява перших двох пар справжніх листків; розетка листя; початок і кінець формування головки, технічна стиглість головок, дата збирання врожаю. Також визначали фенологічні фази росту і розвитку у рослин *буряка столового*: з'явлення поодиноких (10 %) та масових сходів (75 %); утворення перших 2 та 8 пар справжніх листків; змикання рядків; настання пучкової стиглості продукції,

технічної стиглості коренеплодів, дата збирання врожаю [147].

**Біометричні вимірювання рослин капусти білоголової та буряка столового.** Відбір зразків рослин для біометричних вимірювань здійснювався згідно з вказівками [152] з кожної мікроділянки в основні фази вегетації рослин через певні проміжки часу, які могли варіювати у термінах, зважаючи на агрокліматичні умови року та біологічні особливості самих рослин. Біометричні вимірювання проводили на 5 типових рослинах з кожної мікроділянки на кожному повторенні користуючись методом обліку, ваговим методом та методом висічок (для визначення площі листків) на всіх ділянках за всіма повтореннями.

Зразки рослин *капусти білоголової* пізньостиглої відбирали у фенофазі: 1) формування розетки листя; 2) зав'язування головки; 3) технічної стиглості головок (під час збору та обліку врожаю).

Зразки рослин *буряка столового* відбирали у фенофазі: 1) утворення IV пар справжніх листків; 2) пучкової стиглості; 3) змикання рядків; 4) технічної стиглості коренеплодів (під час збору та обліку врожаю).

Біометричні вимірювання рослин *капусти білоголової* включали: визначення висоти рослини, кількості листків на рослині, діаметр розетки листків, діаметр головки (у фенофазі зав'язування головки), висоту зовнішнього качана та масу головки (у фенофазі технічної стиглості). Біометричні вимірювання рослин *буряка столового* включали: визначення площі листків, масу листків, масу коренеплодів [186]. *Площу листкової поверхні* визначали методом висічок [149].

**Облікування та збирання урожаю.** Урожай *капусти білоголової* збирали вручну та обліковували поділянково суцільно-ваговим методом у фазі технічної стиглості (II декада жовтня), зважаючи зачищені головки від зовнішніх листків та качанів з площі всієї ділянки і сортували їх на стандартні й нестандартні (товарні і нетоварні) згідно з ДСТУ 7037:2009 «Капуста білоголова свіжа. Технічні умови» [187]. До нестандартних головок відкидали розтріпані, пошкоджені шкідниками, загнилі, деформовані та дрібні, з наступним визначенням відсотка нестандартних.

Урожай *буряка столового* збирали вручну та обліковували поділянково суцільно-ваговим методом у фазі технічної стиглості (III декада вересня),

зважуючи коренеплоди з усієї площі дослідної ділянки і сортували їх на стандартні і нестандартні (товарні і нетоварні) згідно з ДСТУ 7033:2009 «Буряк столовий свіжий. Технічні умови» [150]. До нестандартних коренеплодів відкидали перерослі, пошкоджені механічно, загнилі, деформовані та дрібні, з наступним визначенням відсотка нестандартних. Зібрані коренеплоди зважували листками і окремо очищені від них. Вираховували середню масу коренеплодів.

Після збирання та облікування урожаю у відібраних рослинних зразках капусти білоголової та буряка столового проводили хімічні аналізи в лабораторних умовах.

**Визначення концентрації кадмію та свинцю у рослинних зразках** капусти білоголової та буряка столового проводили за фенофазами розвитку методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії за атестованими і стандартизованими методиками [178]. Після відбору рослинних зразків проводили їх підготовку до лабораторних досліджень. Сирий рослинний матеріал висушували при температурі 105 °С у сушильній шафі до постійної ваги, подрібнювали та здійснювали сухе озолення в муфельній печі при температурі 520 °С до білої золи, з наступним одержанням зольного розчину (прикапуванням декількох крапель бідистиляту). Кислотну екстракцію ВМ із золи проводили розбавленою (1 : 1)  $\text{HNO}_3$  з подальшим визначенням концентрації металів в розчині золи на атомно-абсорбційному спектрофотометрі марки С115–1М. Концентрацію кадмію та свинцю визначали у різних органах капусти білоголової – головці та зовнішньому качані, а в буряка столового – коренеплоді та гичці.

Для оцінки ступеня небезпечності елемента-забруднювача (Cd та Pb) використовували *коефіцієнт небезпеки* ( $K_n$ ) – співвідношення між концентрацією полютанта в ґрунті чи рослині та його гранично допустимою концентрацією за формулою (2.1). За нормальних умов  $K_n$  має бути меншим або рівним 1:

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

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

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

Для кількісної оцінки надходження (транслокації) рухомих форм важких металів із ґрунту в рослини використовували коефіцієнт біологічного накопичення ( $K_{\text{бн}}$ ) за формулою (2.2):

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

де:  $C_p$  – концентрація забруднюючої речовини у рослині, мг/кг;

$C_z$  – концентрація забруднюючої речовини в ґрунті, мг/кг [142, 160].

**Якісні біохімічні показники продукції капусти білоголової та буряка столового** у свіжозібраних рослинних зразках визначали в лабораторних умовах такими методами [151, 152, 154, 187]. Суху речовину визначали термогравіметричним методом – висушуванням до постійної ваги (ГОСТ 28561-90) [153], суму цукрів – за методом Бертрана (ДСТУ 4954:2008) [156], аскорбінову кислоту (вітамін С) – за методом Муррі (ГОСТ 24556-89) [159], вміст нітратів – іонометричним методом з використанням іоноселективних електродів на приладі ЄВ-74 (ДСТУ 4948:2008) [157, 159, 189].

**Активність пероксидази** (КФ. 1.11.1.7) у рослинних зразках визначали за методом А. Н. Бояркіна [158], що заснований на визначенні швидкості реакції окиснення бензидину під дією фермента до утворення продукту окиснення синього кольору. У листках *капусти білоголової* активність пероксидази визначали за чотирма фенофазами: утворення 5-6 листків, початок формування розетки листків, зав'язування головки, технічна стиглість. У листках *буряка столового* у наступних фенофазах: утворення 4 пар справжніх листків, пучкова стиглість, змикання рядків, технічна стиглість.

**Розрахунок біоенергетичної оцінки** застосування органічних та мінеральних добрив, а також меліорантів за вирощування капусти білоголової та буряка столового проводили за методикою О. С. Болотських, М. М. Довгаль [188].

**Економічну ефективність** застосування добрив та меліорантів за вирощування капусти білоголової та буряка столового розраховували згідно з технологічними картами вирощування культури та відповідними рекомендаціями (О. В. Ручкіна та З. І. Гризенкова), що описані в методиці дослідної справи в

овочівництві і баштанництві [147].

**Статистичне опрацювання отриманих даних** результатів експериментальних досліджень проводили за Б. А. Доспеховим, Г. Ф. Лакіним з використанням методів варіаційної статистики [146, 190], а також за допомогою пакету програм Statistica 6.0 та Microsoft Excel. Результати середніх значень вважали статистично вірогідними при  $p < 0,05$  – \*;  $p < 0,01$  – \*\*;  $p < 0,001$  – \*\*\*.

**Агротехніку вирощування** буряка столового та капусти білоголової проводили згідно рекомендацій для умов Західного Лісостепу України [138, 150, 161, 165]. Капусту білоголову висівали у підготовлений ґрунт в 2009 р. – 25 квітня; 2010 р. – 24 квітня; 2011 р. – 23 квітня. Буряк столовий висівали в 2009 р. – 14 травня; 2010 р. – 15 травня; 2011 р. – 26 травня. Попередниками капусти білоголової та буряка столового у 2009 р. була картопля, 2010 р. – суниця, 2011 р. – огірки. Попередник: 2009 р. – картопля, 2010 р. – суниця, 2011 р. – огірки.

Капусту білоголову вирощували безрозсадним способом за прямого посіву ручною овочевою сівалкою точного висіву у відкритий ґрунт по 5-7 шт насінин на 1 пог. м. Норма висіву насіння на 1 га становила 0,64 кг (враховуючи польову схожість та господарську придатність насіння). Глибина загортання насіння до 1,5-2 см. Густота стояння рослин капусти білоголової 55 тис. га при схемі розміщення 50×60 см. Подальший догляд за рослинами полягав у своєчасному розпушуванні міжряддя, підгортання рослин землею у фазі розетки листя, випольовання бур'янів в рядку.

Буряк столовий висівали точною овочевою сівалкою широкорядним способом у відкрити ґрунт з міжряддям 45 см з розрахунку 11 – 12 шт насінин на 1 пог. м (враховуючи польову схожість та господарську придатність насіння). Норма висіву насіння становила 7,75 кг/га. Густота формування рослин буряка столового ~180 тис. шт./га при схемі розміщення 45 – 8×10 см. Після сівби поле прикочували. Догляд за рослинами складався з міжрядних обробітків ґрунту, трьох ручних пропольовань з проривкою.

Інтегрований захист капусти білоголової та буряка столового від шкідників і хвороб проводили з урахуванням агрономічних порогів їх шкідливості.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі описано кліматичні умови у роки проведення досліджень, зокрема кількість опадів та температурний режим в період вегетації рослин. Детально проаналізовано розподіл концентрації валових форм кадмію (Cd) та свинцю (Pb) у вертикальному профілі ґрунту. Надано агрохімічну характеристику профілю та орного горизонту (0-20 см) темно-сірого опідзоленого ґрунту дослідного поля перед закладанням досліду. Представлено програму досліджень.

Описано методики досліджень мікробіологічних та агрохімічних показників темно-сірого ґрунту, визначення вмісту важких металів у ґрунтових та рослинних зразках, біометричних параметрів рослин та ферментативної активності пероксидази в листках за фазами вегетації, якісних біохімічних показників овочевої продукції, урожайності, економічної та біоенергетичної оцінки вирощування капусти білоголової та буряка столового. Висвітлено агротехніку вирощування.

Розглядаючи ґрунт як головну складову агрофітоценозу, життєве середовище мікроорганізмів та кореневої системи рослин, акумуляції, міграції та транслокації йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ , приділено увагу методам встановлення вмісту кадмію та свинцю у різних органах *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L, а також концентрації валових та рухомих форм  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у ґрунті.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 2

136. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: методичні рекомендації. Харків: КП "Міськдрук", 2012. 70 с.
137. Шредер Г., Ніколаєвський А., Рибаченко В., Опейда Й. Швидкі аналітичні тести в хімічних дослідженнях довкілля: навч. посіб. Донецьк: ТОВ "Юго-Восток, ЛТД", 2003. 148 с.
138. Мудрий І. В., Лепьошкін І. В. Деякі аспекти і проблеми вирощування якісної рослинницької продукції при застосуванні мінеральних добрив та методичні підходи щодо токсиколого-гігієнічної їх оцінки. Проблеми харчування. 2005.

- №4. С. 44–47.
139. Методичні рекомендації з встановлення допустимих концентрацій шкідливих речовин в агрохімікатах / за ред. доктора с.-г. наук Н. А. Макаренко. Київ, 2007. 16 с.
140. Надточій П. П., Мислива Т. М., Вольвач Ф.В. Екологія ґрунту: монографія. Житомир: Видавництво “ПП Рута”, 2010. 473 с.
141. Назаренко І. І., Польчина С. М., Дмитрук Ю. М., Смага І. С. Ґрунтознавство з основами геології: підручник. Чернівці: Книги– ХХІ, 2006. 504 с.
142. Перельман А. И. Геохимия: учебн. 2-е изд. Москва: Высш. школа, 1989. 528 с.
143. Ладонин Д. В. Соединения тяжелых металлов в почвах – проблемы и методы изучения. Почвоведение. 2002. №6. С. 682–692.
144. Фатєєва А. І., Пащенко Я. В. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України. Харків: Інститут ґрунтознавства та агрохімії ім. О. Н. Соколовського, 2003. 119 с.
145. Назаренко І. І., Польчина С. М., Нікорич В. А. Ґрунтознавство: підручник. Чернівці: Книги – ХХІ, 2004. 400 с.
146. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. Москва: Колос, 1985. 352 с.
147. Методика дослідної справи в овочівництві і баштанництві / за ред. Г. Л. Бондаренка, К. І. Яковенка. 3-те вид., перероб і допов. Харків: Основа, 2001. 369 с.
148. 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.
149. Грицаєнко З. М., Грицаєнко А. О., Карпенко В. П. Методи біологічних та агрохімічних досліджень рослин і ґрунтів. Київ: НІЧЛАВА, 2003. 320 с.
150. ДСТУ 7033:2009. Буряк столовий свіжий. Технічні умови. [Чинний від 22-06-2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 18 с.
151. Кучеренко М. Є., Бабенюк Ю. Д., Войціцький В. М. Сучасні методи біохімічних досліджень. Київ: Укрсоціоцентр, 2001. 424 с.
152. ДСТУ ISO 874-2002 Фрукти та овочі свіжі. Відбирання проб. [Чинний від 01-



- 10-2003]. Київ: Держспоживстандарт України, 2003. 15 с.
153. ГОСТ 28561-90. Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сухих веществ или влаги. Москва: Издательство стандартов, 1990. 17 с.
154. ДСТУ 7033:2009 Буряк столовий свіжий. Технічні умови. [Чинний від 01-01-2010]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 14 с.
155. Агроекологічний моніторинг та паспортизація сільськогосподарських земель : методично-нормативне забезпечення / за заг. ред. В. П. Патики, О. Г. Тараріка. Київ: Фітосоціоцентр, 2002. 296 с.
156. ДСТУ 4954:2008 Продукти перероблення фруктів та овочів. Методи визначання цукрів. [Чинний від 01-01-2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 22 с.
157. ДСТУ 4948:2008 Фрукти. овочі та продукти їх перероблення. Методи визначення вмісту нітратів. [Чинний від 01-01-2009]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 20 с.
158. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений. Изд. 2-е., доп. перераб. Москва: Колос, 1976. 256 с.
159. Методика визначення показників якості рослинницької продукції. Київ: Альфа, 2000. С. 144.
160. Мислива Т. М. Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / за ред. Т. М. Мисливої. Житомир, 2011. 52 с.
161. Болотських О. С. Овочівництво: екологічно-адаптивні технології вирощування. Харків: Фоліо, 1999. 122 с.
162. Тихоненко Д. Г., Горін М. О., Лактіонова М. І. Грунтознавство: підручник / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ: Вища освіта, 2005. 703 с.
163. Городній М. М., Бикін А. В., Нагаєвська Л. М. Агрохімія: підручник. Київ: Алефа, 2003. 786 с.
164. Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 376 с.

165. Барабаш О. Ю., Сич З. Д., Носко В. Л. Догляд за овочевими культурами. Київ-Бережани: ННДЦ “Нововведення”, 2008. 123 с.
166. ДСТУ 4287:2004. Якість ґрунту. Відбирання проб. [Чинний від 2005–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 10 с.
167. Практикум з ґрунтознавства: навч. посібник / за ред. проф. Д. Г. Тихоненка. 6-те вид., перероб. і доп. Харків: Майдан, 2009. 442 с.
168. ДСТУ 4289:2004. Якість ґрунту. Методи визначання органічної речовини. [Чинний від 2005–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2005. 14 с.
169. 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.
170. ДСТУ ISO 10390:2007. Якість ґрунту. Визначення рН (ISO 10390:2005, IDT). [Чинний від 2009–10–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2007. 13 с.
171. ГОСТ 26212-91. Почвы. Определение гидrolитической кислотности по методу Каппена в модификации ЦИНАО. [Введен в действие с 1993-07-01]. Москва: Изд-во стандартов, 1992. 5 с.
172. ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. [Введен в действие с 1988-09-20]. Москва: Изд-во стандартов, 1988. 6 с.
173. Городній М. М., Бикін А. В., Сердюк А. Г. Агрохімічний аналіз: підручник. Київ: Арістей, 2007. 624 с.
174. Лісовал А. П. Методи агрохімічних досліджень. Київ, 2001. 247 с.
175. ДСТУ ISO 4405:2005. Якість ґрунту. Визначення рухомих сполук фосфору і калію за методом Кірсанова в модифікації ННЦ ІГА. [Чинний від 2006–07–01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 11 с.
176. Клименко М. О., Петрук В. Г., Мокін В. Б., Вознюк Н. М. Методологія та організація наукових досліджень в екології: підручник. Херсон: ПП «Олді-плюс», 2012. 473 с.
177. ДСТУ 4362:2004. Якість ґрунту. Показники родючості ґрунтів. Ґрунти. Визначення обмінного кальцію та обмінного (рухомого) магнію методами

- ЦИНАО: (ГОСТ 26487-85). [Чинний 2004–12– 9]. Київ: Держспоживстандарт України, 2006. 23 с.
178. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва: Гидрометеиздат, ЦИНАО, 1992. 61 с.
179. 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.
180. ДСТУ 4770.9:2007. Якість ґрунту. Визначення вмісту рухомих сполук свинцю в буферній амонійно-ацетатній витяжці з рН 4,8 методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії. [Чинний від 2009-01-01]. Київ: Держспоживстандарт України, 2009. 14 с.
181. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
182. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв: учебник. Москва: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
183. Галстян А. Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв. Почвоведение. 1978. № 2. С. 107–122.
184. Экологическая роль микробных метаболитов / под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1986. 240 с.
185. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л., Мірошніченко М. М., Бородіна Я. В. та ін. Діагностика стану хімічних елементів системи ґрунт-рослина: методика / за заг. ред. А. І. Фатєєва, В. Л. Самохвалової. Харків: КП «Міськдрук», 2012. 146 с.
186. Мойсейченко В. Ф. Основи наукових досліджень у плодівництві, овочівництві, виноградарстві та технології зберігання плодоовочевої продукції. Київ: НМК ВО 1992. 364 с.
187. ДСТУ 7037:2009. Капуста білоголова свіжа. Технічні умови [Чинний від 2009-06-22]. Київ: Держспоживстандарт України, 2010. 23 с.
188. Болотських О. С., Довгаль М. М. Методика біоенергетичної оцінки технологій

- в овочівництві: загальні положення. Методика дослідної справи в овочівництві та баштанництві. Харків: Основа, 2001. С. 166–182.
189. Методи визначення показників якості рослинницької продукції / за ред. О. М. Гончара, А. В. Андрущенко. Київ: Алефа, 2000. 114 с.
190. Лакин Г. Ф. Биометрия: учеб. пособ. для биол. спец. вузов. 4-е изд., перераб. и доп. Москва: Высш. шк., 1990. 352 с.
191. ГОСТ 26490-85. Почвы. Определение подвижной серы по методу ЦИНАО. [Действующий с 01.07.1986]. Москва: Гос. комитет СССР по стандартам, 1985. 3 с.
192. Снітинський В. В., Якобинчук В. Ф. Ґрунтознавство з основами агрохімії та геоботаніки: навч. посіб. 2-ге вид. випр. й допов. Львів: Аверс, 2006. 312 с.
193. Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області в 2014 році. Львів: Департамент екології та природних ресурсів Львівської Обласної Державної адміністрації, 2015. 288 с.
194. Мельничук Д. О., Мельников М. М., Хофман Д., Ван Клімпут О. та ін. Якість ґрунтів та сучасні стратегії удобрення: підручник / Спільний європейський проект. Київ: Арістей, 2004. 487 с.
195. Галстян А. Ш. Ферментативная активность почв Армении. Ереван: Айастан, 1974. 185 с.
196. Казеев К. Ш., Колесников С. И. Биодиагностика почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Издательство Южного федерального университета, 2012. 260 с.
197. Дубицька А. О., Качмар О. Й., Габриель 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.

### РОЗДІЛ 3

## ЗМІНИ АГРОХІМІЧНИХ ТА МІКРОБІОЛОГІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ГРУНТУ ЗА РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ ОВОЧЕВИХ КУЛЬТУР І ВАПНУВАННЯ

### 3.1. Агрохімічні показники ґрунту за вирощування капусти білоголової

До макроелементів відносяться хімічні елементи, що містяться в рослинах і в ґрунт в значній кількості – від сотих часток до цілих відсотків у розрахунку на суху речовину. До них відносяться: N, P, K, Ca, Mg, S. Три елемента живлення – азот, фосфор, калій – називаються головними нутрієнтами і засвоюються в рослинах в найбільших кількостях [200, 213].

Регулюючи співвідношення біогенних елементів можливо впливати на явище антагонізму і синергізму в живленні рослин. Вносячи у ґрунт елементи-антагоністи з добривами та меліорантами можна знизити надходження в рослини багатьох важких металів, а за допомогою елементів-синергістів збільшити винесення забруднювачів із рослин. Остання обставина використовується для фітосанації та фітомеридіації ґрунту [198, 206].

Вагомий вплив на доступність елементів мінерального живлення капусти білоголової та буряка столового мали органічні та мінеральні добрива, а також кальцієві меліоранти, які вносили у різних нормах та співвідношеннях .

Саме завдяки основним біофільним елементам (N, P, K, Ca, Mg, S), що містилися в добривах та меліорантах у ґрунті проявлялися складні взаємні процеси антагонізму з важкими металами. Значна частина рухомих форм кадмію та свинцю була витіснена (заміщена) в іонообмінному комплексі ґрунту за місця поглинання рослинами капусти білоголової та буряка столового.

Дослідженнями встановлено, що в середньому за роки досліджень істотний вплив ( $p < 0,05$  –  $p < 0,001$ ) на зміну деяких агрохімічних показників ґрунту в орному горизонті (0-20 см) за вирощування капусти білоголової мали внесені добрива та меліоранти (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вплив добрив та меліорантів на агрохімічні показники ґрунту  
за вирощування капусти білоголової (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Лужно-гідролізований азот, (N) мг/кг	Рухомий фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг	Обмінний калій (K <sub>2</sub> O), мг/кг	Кальцій (Ca), мг-екв/100 г	Магній (Mg), мг-екв/100 г	Рухома сірка (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), 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)	99	86	73	4,63	0,55	2,13	2,22	5,54	3,56	11,7	15,26	76,7
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	152**	128**	114**	4,65	0,54	2,12	2,24	5,56	3,53	12,0	15,53	77,3
3) Біогумус 8 т/га	179**	150**	132**	4,90	0,59	2,20	2,35	5,79	3,39	14,4*	17,79*	80,9
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	168**	143**	126**	4,76	0,56	2,16	2,29	5,67	3,47	13,1*	16,57*	79,1
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	160**	135**	119**	6,52*	0,63*	2,27	2,25	6,30*	3,05*	24,2**	27,25**	88,8*
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	186**	161**	144**	6,93*	0,74**	2,45*	2,42*	6,82*	2,37**	33,3***	35,67***	93,4*
7) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	174**	152**	138**	6,75*	0,67*	2,34*	2,33	6,47*	2,52*	28,5***	31,02**	91,9*

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

Слід зазначити, що на агрохімічні показники ґрунту також впливали ґрунтово-кліматичні умови року, проте загальні закономірності агрохімічних показників між варіантами досіду зберігалися.

Аналізуючи таблицю 3.1. слід сказати, що внесені добрива та меліоранти достовірно підвищували ( $p < 0,01$ ) вміст у ґрунті основних нутрієнтів живлення доступних для рослин капусти білоголової (N, P, K), в меншій мірі ( $p < 0,05$ ) другорядних (Ca, Mg, S), порівняно до контрольного варіанту (без добрив). Внесення тільки самих мінеральних добрив в нормі  $N_{136}P_{136}K_{136}$  забезпечило менший вміст у ґрунті доступних елементів живлення, порівняно із повною нормою органічних добрив Біогумус 8 т/га. Однак за використання органо-мінеральної системи удобрення ( $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 4 т/га) вміст поживних елементів у ґрунті був також вищим, порівняно з мінеральною, проте нижчим, аніж при застосуванні органічної системи удобрення. Найменший вміст у ґрунті доступних елементів живлення (азоту, фосфору, калію, кальцію, магнію та сірки) відзначали на контрольному варіанті (без добрив).

Щодо такого надважливого показника родючості ґрунту, як гумус, то слід сказати, що значний валив на нагромадження його в ґрунті мали перш за все органічні добрива Біогуміс та кальцієві меліоранти. Так, найвищий цей показник 2,42% відзначали на 6 вар. за внесення органічного добрива Біогумус в нормі 8 т/га на фоні вапнування ґрунту за достовірної різниці до контролю ( $p < 0,05$ ). Деяко менший вміст гумусу (2,33%) встановлено на 7 вар. за використання органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту. Застосування одних мінеральних добрив у повній нормі  $N_{136}P_{136}K_{136}$  (вар. 2 та вар. 5) істотно не вплинуло на вміст гумусу у ґрунті. Найменший вміст гумусу у ґрунті (2,22%) виявили на контролі (без добрив).

Результатами досліджень встановлено, що великий вплив на зміну агрохімічних показників ґрунту також мали кальцієві меліоранти, які вносили восени в нормі 5 т/га  $CaCO_3$ . Завдячуючи «сторожам ґрунту» (Ca, Mg) утворились цінні ґрунтові агрегати, які сприяли зниженню інтенсивності виловування, що підвищило вміст поживних речовин у ґрунті, порівняно з іншими варіантами досіду, де не проводили вапнування ґрунту.

Такий агрозахід хімічної меліорації, як вапнування суттєво вплинув на зміну кислотного-основних та буферних показників ґрунту при застосуванні різних систем удобрення. Так, за внесення органічних добрив і кальцієвих меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  відзначали достовірне зниження ( $p < 0,05$ ) кислотності ґрунту з 5,54  $\text{pH}_{\text{сол}}$  на контролі до 6,82  $\text{pH}_{\text{сол}}$ . Також на 5 – 7 варіантах, де проводили вапнування ґрунту, спостерігали істотне збільшення ( $p < 0,05$  –  $p < 0,001$ ) суми вбірних основ 24,2 – 33,3 мг-екв/100 г, тоді як на контролі цей показник складав 11,7 мг-екв/100 г ґрунту.

Встановлено, що післядія карбонату кальцію (5 – 7 вар.) значно підвищила ступінь насичення ґрунту основами (88,8 – 93,4%) за достовірної різниці до контролю ( $p < 0,05$ ). Застосування добрив і кальцієвих меліорантів забезпечило рослини капусти білоголової доступними елементами живлення протягом періоду вегетації, що позитивно позначилося на ростових процесах, урожайності та якості.

### **3.2. Агрохімічні показники ґрунту за вирощування буряка столового**

Проведені експериментальні дослідження дають підставу стверджувати, що значний вплив на зміну агрохімічних показників ґрунту за вирощування буряка столового мали ґрунтово-кліматичні умови року, а також внесені добрива і меліоранти. Однак загальні закономірності параметрів ґрунту в орному горизонті між варіантами за роки досліджень зберігалися (табл. 3.2)

Дослідженнями встановлено, що за вирощування буряка столового внесені добрива та меліоранти підвищували у ґрунті доступні елементи живлення (N, P, K, за вірогідної різниці до контролю ( $p < 0,05$  –  $p < 0,01$ )). Так, високий вміст доступних елементів мінерального живлення відзначали за внесення повної норми органічних добрив Біогумус 4 т/га. За внесення органо-мінеральної системи удобрення в нормі  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га відзначали дещо менший вміст у ґрунті лужногідролізованого азоту, рухомого фосфору, обмінного калію, кальцію, магнію та сірки, порівняно з повною нормою органічних добрив Біогумус 8 т/га.



Таблиця 3.2

Вплив добрив та меліорантів на агрохімічні показники ґрунту  
за вирощування буряка столового (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Лужно-гідролізований азот, (N) мг/кг	Рухомий фосфор (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), мг/кг	Обмінний калій (K <sub>2</sub> O), мг/кг	Кальцій (Ca), мг-екв/100 г	Магній (Mg), мг-екв/100 г	Рухома сірка (S-SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ), мг/кг	Вміст гумусу, %	pH сольове	Гідролітична кислотність (Hr), 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) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	133*	115*	102*	4,65	0,52	2,13	2,22	5,60	3,57	11,8	15,37	76,8
3) Біогумус 4 т/га	155**	127**	113**	4,90	0,57	2,23	2,32	5,76	3,42	13,9*	17,32*	80,3
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	146**	121*	110**	4,76	0,53	2,18	2,27	5,67	3,50	12,7*	16,27*	78,1
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	139*	118*	106*	6,52**	0,61*	2,29	2,23	6,25*	3,20*	24,5**	27,70**	88,4*
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	158**	134**	123**	6,93**	0,68*	2,48*	2,39*	6,74*	2,63*	29,3***	31,93**	91,8*
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	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.

Отримані результати свідчать, що мінеральна система удобрення (вар. 2 та вар. 5) виявилася менш ефективною у збагаченні ґрунту доступними елементами живлення, порівняно з органічною (вар. 3 та вар. 6) та орано-мінеральною (вар. 4 та вар.7). Післядія вапнування в цілому підвищила ефективність добрив та збільшила у ґрунті N, P, K, Ca, Mg і S, що сприяло доброму росту і розвитку рослин буряка столового. Найменший вміст у ґрунті біофільних елементів живлення відзначали на контролі (без добрив).

Дослідженнями встановлено, що найвищий вміст гумусу 2,39% відзначали за внесення в повній нормі органічного добрива на фоні вапнування в нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>. За внесення Біогумус 4 т/га виявлено дещо меншу динаміку нагромадження гумусу (2,32%) при достовірній різниці до контролю ( $p < 0,05$ ). На контрольному варіанті (без добрив) вміст гумусу був найменший (2,21%). Таким чином, найбільший вплив на нагромадження гумусу в ґрунті мали органічні добрива Біогумус, особливо у поєднанні з кальцієвими меліорантами, тоді як застосування мінеральних добрив істотно не впливало на цей показник.

Аналізуючи таблицю 3.2 слід сказати, що великий вплив на зміну кислотно-основних та буферних показників ґрунту ( $pH_{\text{сол}}$ , Нг, S, Т, V) за вирощування буряка столового мала післядія кальцієвих меліорантів, які вносили в нормі 5 т/га CaCO<sub>3</sub> (вар. 5 – 7) при застосуванні органічної, мінеральної та орано-мінеральної систем удобрення за вірогідної різниці до контролю ( $p < 0,05 - p < 0,01$ ). Так, за внесення органічних добрив в нормі Біогумус 4 т/га на фоні вапнування (вар. 6), рН сольової витяжки становило 6,74 з вірогідною різницею до контролю ( $p < 0,05$ ). На цьому ж варіанті істотно знизилась порівняно з контролем гідролітична кислотність ґрунту до 2,63 мг-екв/100 г ( $p < 0,05$ ).

Встановлено, що за внесення кальцієвих меліорантів (вар. 5-7) достовірно підвищилась у ґрунті до контролю ( $p < 0,01 - p < 0,001$ ) сума вбірних основ до 24,5–29,3 мг-екв/100 г. У співвідносній динаміці разом із вищезгаданим показником зростала і ємність катіонного обміну. Важливо зазначити, що за внесення органічної та орано-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування встановлено найвищий ступінь насичення ґрунту основами 91,8 та 89,3% ( $p < 0,05$ ).

### **3.3. Вплив йонів кадмію та свинцю на біологічну та ферментативну активність ґрунту**

#### **3.3.1. Інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування капусти білоголової**

Родючість ґрунту залежить від багатьох чинників, зокрема від вмісту гумусу, наявності в достатніх кількостях життєво необхідних рослині рухомих форм макро- і мікроелементів, кислотно-основних та фізичних параметрів ґрунту, забезпеченість вологою, а також від інтенсивності проходження в ґрунті біологічних процесів, відображенням активності яких є інтенсивність виділення CO<sub>2</sub>, якісного і кількісного складу мікробних спільнот, активності ґрунтових ферментів [199, 201, 212]. Значний вплив на біологічну активність ґрунту має антропогенне навантаження, одним із аспектів якого є забруднення агроценозів важкими металами, зокрема кадмієм і свинцем [202, 204, 215].

Одним із важливих інтегральних індикаторів біологічної активності ґрунтової мікробіоти є виділення CO<sub>2</sub> з ґрунту. Процес виділення CO<sub>2</sub> та споживання кисню ґрунтом називають «ґрунтовим диханням». Ґрунтове дихання є комплексною функціональною характеристикою інтенсивності продукційних і деструкційних процесів у наземних екосистемах [218].

Програмою досліджень передбачалось визначити інтенсивність виділення CO<sub>2</sub> ґрунтом за вирощування капусти білоголової та буряка столового залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання різних систем удобрення та вапнування. Вплив вищезгаданих факторів на біологічну активність ґрунту вивчали за інтенсивністю обліку CO<sub>2</sub>, що виділився в міліграмах за добу на 100 г ґрунту.

На основі результатів трьохрічних досліджень встановлено, що інтенсивність виділення діоксиду вуглецю ґрунтом за вирощування капусти білоголової залежала від ґрунто-кліматичних умов року, внесених норм органічних і мінеральних добрив, меліорантів, а також від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (табл. 3.3 та 3.4).

Таблиця 3.3

**Вплив кадмію на інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування капусти білоголової, мг CO<sub>2</sub>/100 г ґрунту за добу (2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)	Рівні змодельованого забруднення ґрунту (Cd <sup>2+</sup> )		
		1 ГДК	3 ГДК	5 ГДК
1) Без добрив (контроль)	13,4	12,8	12,5	11,8 <sup>+</sup>
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	15,8*	15,1*	14,7*	13,9** <sup>+</sup>
3) Біогумус 8 т/га	19,9**	19,0**	18,5**	17,5*** <sup>+</sup>
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	17,6**	16,8**	16,4**	15,4*** <sup>+</sup>
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	21,9**	20,9**	20,4**	19,2*** <sup>+</sup>
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	24,2**	23,1**	22,6**	21,2*** <sup>+</sup>
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	23,5**	22,4**	21,9**	20,6*** <sup>+</sup>

Примітки: 1. Різниця вірогідна порівняно до контролю – без добрив: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; 2. Різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм порівняно з фоном: + –  $p < 0,05$ .

Як видно з таблиці 3.3, із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 5 ГДК біологічна активність ґрунтових мікроорганізмів зменшувалася, що відобразилося на меншій інтенсивності виділення CO<sub>2</sub> з ґрунту на всіх варіантах досліду за вирощування капусти білоголової ( $p < 0,05$  –  $< 0,01$ ). Однак інтенсивність емісії діоксиду карбону між варіантами зберігалась за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм, на що мали великий вплив внесені добрива та вапняні меліоранти.

Встановлено, що найменшу кількість виділеного вуглекислого газу з ґрунту 13,4 мг/100 г ґрунту за добу відзначали на контрольному варіанті (без добрив). Із збільшенням рівня змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 5 ГДК інтенсивність виділення діоксиду вуглецю знизилася від 12,8 до 11,8 мг/100 г ґрунту за добу за істотної різниці до контрольного фону –  $p < 0,05$ .

Застосування органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів на контрольному фоні в цілому сприяли підвищенню інтенсивності виділення діоксиду вуглецю з ґрунту на всіх варіантах від 15,8 до 24,2 мг/100 г ґрунту за добу, або від 17,9 до 80,5% за вірогідної різниці до контролю – без добрив ( $p < 0,05$  –  $< 0,01$ ).

Встановлено, що добрива та меліоранти по-різному впливали на інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту. Так, високу інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту спостерігали за застосування в повній нормі органічних добрив Біогумус 8 т/га, дещо меншу за спільного внесення органічних і мінеральних добрив у половину норми  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га, а найменшу інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту, порівняно з вищезгаданими варіантами, відзначали за застосування тільки одних мінеральних добрив у повній нормі  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$ . Втім застосування тих самих норм органічних і мінеральних добрив, але на фоні вапнування ґрунту (варіант 5–7) сприяло підвищенню інтенсивності виділення вуглекислого газу з ґрунту, порівняно з 2–4 варіантами дослідів, а також істотної різниці до контролю (без добрив).

За внесення органічних добрив на фоні вапнування ґрунту в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  відзначали найвищий показник емісії діоксиду карбону з ґрунту за добу, відповідно 24,2 мг/100 г ґрунту. За рівня забруднення ґрунту Cd 5 ГДК інтенсивність емісії  $\text{CO}_2$  з ґрунту зменшилася до фону (контроль) на 3,0 мг/100 г ґрунту з добу, або 12,5% за достовірної різниці ( $p < 0,05$ ). Дещо меншу інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту (23,5 та 21,9 мг/100 г ґрунту за добу) спостерігали за внесення добрив і меліорантів в нормі  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  за вірогідної різниці до контролю – без добрив ( $p < 0,05$ ).

За результатами трирічних досліджень встановлено, що в середньому за вирощування капусти білоголової при змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем, відзначали більш токсичну дію на біологічну активність ґрунту, аніж в разі забруднення ґрунту кадмієм, що позначилося на меншій інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту (табл. 3.4).

Таблиця 3.4

**Вплив свинцю на інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування капусти білоголової, мг CO<sub>2</sub>/100 г ґрунту за добу (2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)	Рівні змодельованого забруднення ґрунту (Pb <sup>2+</sup> )		
		1 ГДК	3 ГДК	5 ГДК
1) Без добрив (контроль)	13,4	12,5	12,3	11,3 <sup>+</sup>
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	15,8*	14,7*	14,5*	13,3** <sup>+</sup>
3) Біогумус 8 т/га	19,9**	18,5**	18,3**	16,8*** <sup>+</sup>
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	17,6**	16,4*	16,2**	14,8*** <sup>+</sup>
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	21,9**	20,4**	20,1**	18,5*** <sup>+</sup>
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	24,2**	22,8**	22,2**	20,4*** <sup>+</sup>
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	23,5**	21,9**	21,6**	19,8*** <sup>+</sup>

Примітки: 1. Різниця вірогідна порівняно до контролю – без добрив: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; 2. Різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем порівняно з фоном: + –  $p < 0,05$ .

Характеризуючи таблицю 3.4, відзначимо, що із збільшенням рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем біологічна активність ґрунту на всіх варіантах дослідів зменшувалася, про що свідчить інтенсивність виділення CO<sub>2</sub>. Проте за внесення добрив і кальцієвих меліорантів токсичний вплив свинцю на ґрунтово біоту послаблювався завдяки ефекту детоксикації. Так, на контрольному варіанті (без добрив) за рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК відзначали найменшу кількість виділеного вуглекислого газу з ґрунту – 11,3 мг/100 г ґрунту за добу, що менше за контрольний фон на 2,1 мг/100 г ґрунту за добу, або 15,6% за достовірної різниці ( $p < 0,05$ ).

На варіанті 2 за внесення мінеральних добрив в повній нормі N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> із збільшенням рівня забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК інтенсивність виділення діоксиду вуглецю знизилася від 14,7 до 13,3 мг/100 г ґрунту за добу, тоді

як на контрольному фоні цей показник складав 15,8 мг/100 г ґрунту за добу.

На контрольному фоні за використання органічних добрив в повній нормі Біогумус 8 т/га спостерігали високу інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту (19,9 мг/100 г ґрунту за добу). Однак за внесення такої самої норми добрив, але за змодельованого рівня забруднення ґрунту Рв 5 ГДК інтенсивність виділення вуглекислого газу знизилася до 16,8 мг/100 г ґрунту за добу ( $p < 0,05$ ). Відзначимо, що інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  за внесення органо-мінеральної системи удобрення дещо знизилася, порівняно з органічною системою удобрення, проте була вищою, порівняно із мінеральною системою удобрення. Проте застосування добрив, але на фоні вапнування ґрунту (варіант 5-7) сприяло підвищенню інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту на 17–28% за істотної різниці до контролю – без добрив ( $p < 0,05$ ).

Встановлено, що за використання мінеральної (вар. 5) та органо-мінеральної системи удобрення (вар. 7) на фоні вапнування інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту була меншою, порівняно з органічною системою удобрення (вар. 6). Так, за внесення добрив та меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  за рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК, інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту зменшилася за вірогідної різниці  $p < 0,05$  до контрольного фону на 15,7% і складала 20,4 мг/100 г ґрунту з добу.

### **3.3.2. Ферментативна активність ґрунту за вирощування капусти білоголової**

Одними з найбільш інформативних та чутливих показників біологічної активності ґрунту є активність ферментів та чисельність мікроорганізмів. Антропогенний вплив зумовлений хімічним забрудненням змінює активність ферментативного комплексу ґрунтів, якісний склад та чисельність ґрунтових мікроорганізмів [214, 217].

Відомо, що активність ґрунтових ферментів є ще більш чутливим показником біогенності ґрунту до токсичної дії важких металів у порівнянні з інтенсивністю

мікробіологічних процесів, продукуванням CO<sub>2</sub>, кількістю і складом мікрофлори і фауни [220]. Високі концентрації важких металів знижують ферментативну активність ґрунту як прямим інгібуванням каталітичної активності ферментів, так і затримкою їх синтезу мікроорганізмами пригнічуючи ріст останніх [202, 203, 221].

Для того, щоб використати ферменти в якості біотестів (біоіндикаторів) необхідно враховувати специфічність їх дії і чутливість до антропогенного чинника. Зважаючи на це Н. А. Черных (1991) використовував для біотестування забруднення ґрунту важкими металами каталазну, інвертазну, уреазну, фосфатазну активність ґрунту [219].

Загальновідомо, що із гідролаз, які каталізують розклад вуглецевих сполук у ґрунті, доцільно вивчати інвертазу; із протеаз і амідаз, що беруть участь у розкладі азотистих речовин – уреазу; із ферментів, що беруть участь у розкладі органічних сполук фосфору – фосфатазу; із групи окисно-відновлювальних ферментів – поліфенолоксидазу, пероксидазу, каталазу та дегідрогеназу [203].

Що стосується відновлення ферментативної активності ґрунту за проведення детоксикаційних заходів забрудненого ґрунту ВМ, то поки що це питання детально не вивчено. Тому вважаємо за доцільно поряд з дослідженням ефективності використання добрив та меліорантів і реакції на них овочевих рослин у мікропольових дослідах простежити за змінами еколого-біологічних властивостей ґрунту. Отож, для всебічної оцінки ферментативної активності ґрунту за вирощування капусти білоголової та буряка столового ми скористались шкалою Д. Г. Звягінцева [214] та «ферментативним дзеркалом» А. Ш. Галстяна [216], що відображають діяльність семи ферментів: інвертази, уреазу, фосфатази, дегідрогенази, каталази, пероксидази та поліфенолоксидази.

На основі результатів трьохрічних досліджень встановлено, що активність ґрунтових ферментів за вирощування капусти білоголової залежала від ґрунтово-кліматичних умов року, внесених норм органічних і мінеральних добрив, меліорантів, а також від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (дод. В табл. В.1 та В.2).

Встановлено, що за внесення органічних та мінеральні добрив, а також



кальцієвих меліорантів спостерігали підвищення ферментативної активності ґрунту від 8,7 до 88,9%. І навпаки, відзначали токсичний вплив катіонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$ , який проявлявся у пригніченні ферментативної активності, особливо із збільшенням рівня забруднення ґрунту цими елементами ( $p < 0,05 - 0,001$ ).

Слід зазначити, що добрива та меліоранти по-різному впливали на активність ґрунтових ферментів. Найменшу ферментативну активність ґрунту виявили на контролі (без добрив). Високу ферментативну активність відзначали за застосування в повній нормі органічних добрив Біогумус 8 т/га, дещо меншу за спільного внесення органічних і мінеральних добрив у половину норми  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га, а найменшу активність ґрунтових ферментів, порівняно з вищенаведеними варіантами дослідів, відзначали за використання тільки одних мінеральних добрив нітроамофоска у повній нормі  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$ .

За внесення кальцієвих меліорантів на фоні в нормі 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  (5-7 вар.) спостерігали істотне підвищення ферментативної активності ґрунту на 44,3-89,8% ( $p < 0,05 - 0,01$ ), порівняно з контролем (без добрив), що зумовлено на нашу думку зниженням кислотності ґрунту з  $\text{pH}_{\text{сол}} 5,54$  на контролі до  $\text{pH}_{\text{сол}} 6,30-6,82$ . Крім того слід врахувати, що органічне добриво Біогумус є енергетичним матеріалом для ґрунтових мікроорганізмів. Ферментативна активність Біогумусу має велике агроекологічне значення, адже вермікультури містить багатий набір різноманітних ензимів, оскільки в кишківнику *E.foetida* виявлена протеаза, ліпаза, інвертаза, целюлаза, хитиназа, уреаза, дегідрогеназа, каталаза, поліфенолоксидаза та пероксидаза, ряд вітамінів і біологічно активних речовин. Копроліти черв'яків це цінна субстанція для оживлення ґрунту [210].

Найбільше токсичну дію кадмій та свинець проявили в інгібуванні окисно-відновних ферментів, таких як пероксидаза, поліфенолоксидаза, каталаза та дегідрогеназа, через що їх активність знижувалась на 16,1-72,6% відносно контролю (без добрив) за вірогідної різниці  $p < 0,05 - 0,001$ . Чутливими до токсичної дії полютантів також виявилися фосфатаза та інвертаза, в меншій мірі активність уреазу (дод. В табл. В.1 та В.2).

За зміною активності пероксидази можна судити про абіотичні стреси в

агроекосистемах, які зазнають забруднення різноманітними поллютантами. Оскільки пероксидаза є найбільш чутлива до токсичної дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  її можна використовувати як маркерний фермент. В проведених дослідженнях активність пероксидази знаходилась в тісній кореляції з іншими досліджуваними ферментами і змінювалась під впливом рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05 - 0,001$  (рис. 3.1 та 3.2).

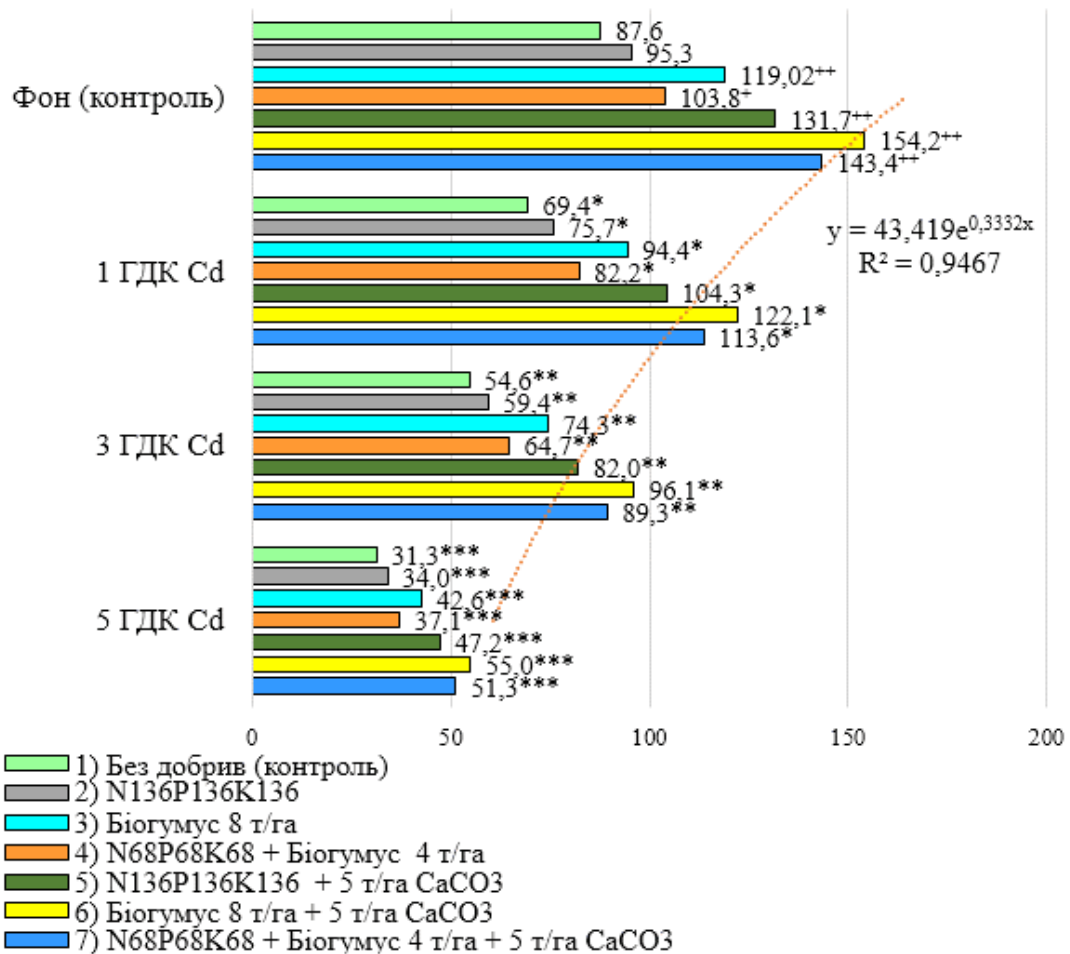


Рис. 3.1. Ферментативна активність пероксидази за вирощування капусти білоголової за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

Примітки: 1.  $+ - p < 0,05$ ;  $++ - p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – 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.

Встановлено, що на фоні найменшу ферментативну активність пероксидази

(87,6 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту) відзначали на варіанті без добрив (контроль). За рівня змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК (вар. 1) її активність знизилась до фону на 64,2% і складала 31,3 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту за вірогідної різниці  $p < 0,001$ . Проте за внесення органічних добрив та меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  (вар. 6) за рівня змодельованого забруднення ґрунту 5 ГДК Cd активність пероксидази становила 55,0 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, що менше на 23,7 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, або на 75,7% порівняно з фоном ( $p < 0,001$ ). Слід відзначити, що активність пероксидази перебувала у тісному кореляційному зв'язку ( $R^2 = 0,94$ ) із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (рис. 3.1).

На основі результатів досліджень встановлено, що ферментативна активність пероксидази на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем пригнічувалась на 4,7-9,5% більше, аніж кадмієм. Так, на фоні (контроль – без добрив) її активність складала 87,6 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту. Проте за рівня забруднення ґрунту свинцем 1 ГДК активність пероксидази на варіанті без добрив істотно зменшилась до фону на 26,5 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, або на 30,2% ( $p < 0,01$ ). Однак за рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК на тому ж варіанті без добрив (контроль) ферментативна активність пероксидази знизилась на 72,6% до фону і становила 24,0 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту. Встановлено, що на цьому ж рівні забруднення за використання добрив та меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  відзначали найвищу активність пероксидази 42,3 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, що більше за контроль (без добрив) на 18,3 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, або 76,3%. Крім того зауважимо, що активність пероксидази була у тісній кореляції ( $R^2 = 0,93$ ) із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем (рис. 3.2).

Внесені добрива та меліоранти, в залежності від ступеня ефективності детоксикації, у тій чи іншій мірі зв'язували катіони  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  і тим самим знижували їх токсичну дію на ґрунтову біоту, що опосередковано відображалось на підвищення активності ґрунтових ферментів, зокрема чутливої пероксидази.

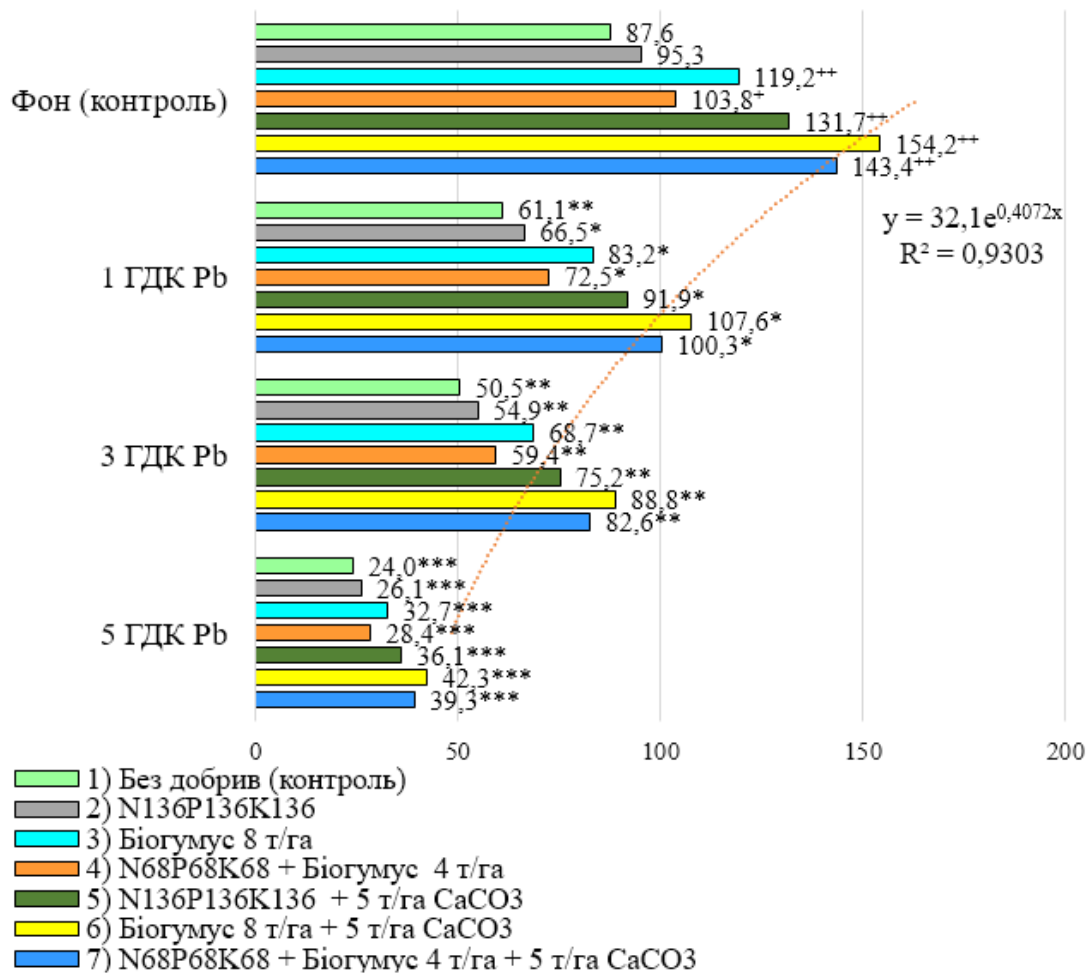


Рис. 3.2. Ферментативна активність пероксидази за вирощування капусти білоголової за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

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

На основі результатів біотестування встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb від 1 до 5 ГДК активність усіх ґрунтових ферментів знижувалась, проте закономірність між варіантами зберігалася. Зазначимо, що за вирощування капусти білоголової відзначали більшу токсичну дію свинцю на ферментативну активність ґрунту, аніж кадмію. Подібну тенденцію також відзначали за вирощування буряка столового.

Проведені дослідження підтверджують, що за внесення органічних і мінеральних і добрив, а також кальцієвих меліорантів спостерігали підвищення

ферментативної активності ґрунту на всіх варіантах досліджу. Такий позитивний відклик ґрунтових ферментів свідчить про агроекологічну доцільність застосування вищезгаданих норм добрив і меліорантів для підвищення родючості ґрунту та зниження токсичної дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  на ґрунтову біоту, зокрема на ферментативну активність ґрунту.

### **3.3.3. Інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування буряка столового**

Важливою складовою частиною ґрунтового повітря є вуглекислий газ, який утворюється в ґрунті в меншій мірі при диханні коріння та головним чином у результаті діяльності мікроорганізмів, які розкладаючи органічні рештки виділяють  $\text{CO}_2$  [207, 208]. Біологічна активність ґрунту, яка зумовлена інтенсивністю виділення  $\text{CO}_2$ , залежить від низки факторів, а саме температури повітря, вологості ґрунту, сезонності, а також від часу доби [211, 214, 218].

Розчиняючись у воді вуглекислий газ збільшує доступність елементів живлення у ґрунті, зокрема фосфатів, які при цьому краще використовуються рослинами. Виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту посилює фотосинтез, сприяє додатковому засвоюванню карбону рослинами з приземного шару повітря, що в цілому підвищує урожайність і якість агрокультур [205, 209].

На основі проведених досліджень та спостережень встановлено, що інтенсивність виділення діоксиду вуглецю ґрунтом за вирощування буряка столового залежала від ґрунтово-кліматичних умов року досліджень, застосованих норм органічних і мінеральних добрив, меліорантів, а також від штучно змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (табл. 3.5 та 3.6).

Як видно з таблиці 3.5, із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 5 ГДК біологічна активність ґрунтових мікроорганізмів зменшувалася, що відобразилося на меншій інтенсивності виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту на всіх варіантах досліджу за вирощування буряка столового. Проте закономірність емісії діоксиду карбону між варіантами зберіглася за різних рівнів змодельованого

забруднення ґрунту кадмієм, на що мали великий вплив внесені добрива та кальцієві меліоранти.

Таблиця 3.5

**Вплив кадмію на інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування буряка столового, мг CO<sub>2</sub>/100 г ґрунту за добу (2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)	Рівні змодельованого забруднення ґрунту (Cd <sup>2+</sup> )		
		1 ГДК	3 ГДК	5 ГДК
1) Без добрив (контроль)	12,7	12,0	11,7	10,2 <sup>+</sup>
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	14,2*	13,4*	13,1*	12,0* <sup>+</sup>
3) Біогумус 4 т/га	15,5*	14,7*	14,3*	13,1* <sup>+</sup>
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> <sup>+</sup> Біогумус 2 т/га	14,8*	14,0*	13,6*	12,5* <sup>+</sup>
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	16,6**	15,7**	15,3**	14,0** <sup>+</sup>
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18,9**	17,9**	17,4**	15,8** <sup>+</sup>
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> <sup>+</sup> Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	17,3**	16,4**	15,9**	14,6** <sup>+</sup>

Примітки: 1. Різниця вірогідна порівняно до контролю – без добрив: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; 2. Різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм порівняно з фоном: <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ .

Так, найменшу кількість виділеного вуглекислого газу з ґрунту 12,7 мг/100 г ґрунту за добу відзначали на контролі – без добрив. Із збільшенням рівня забруднення ґрунту Cd до 5 ГДК інтенсивність виділення діоксиду вуглецю на цьому варіанті знизилася до 10,2 мг/100 г ґрунту за добу, або на 19,6% ( $p < 0,05$ ).

Встановлено, що за використання органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів підвищувалась інтенсивність виділення діоксиду вуглецю з ґрунту на всіх варіантах, порівняно з контролем – без добрив. Однак добрива та меліоранти по-різному впливали на інтенсивність виділення CO<sub>2</sub> з ґрунту. Так, на фоні високу інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту (15,5 мг/100г)

спостерігали за використання в повній нормі органічних добрив Біогумус 4 т/га, дещо меншу (14,8 мг/100 г) за спільного внесення органічних і мінеральних добрив у половину норми  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га, а найменшу інтенсивність (14,2 мг/100 г) виділення  $CO_2$  з ґрунту, порівняно з вищезгаданими варіантами, відзначали за застосування тільки мінеральних добрив у повній нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$ .

Дослідженнями встановлено, що застосування органічних і мінеральних добрив у поєднанні з кальцієвими меліорантами (вар. 5-7), сприяло істотному підвищенню інтенсивності виділення  $CO_2$  з ґрунту до 16,6–18,9 мг/100 г ґрунту за достовірної різниці до контролю (без добрив) –  $p < 0,01$ . За внесення Біогумус 2 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  за рівня забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК інтенсивність емісії  $CO_2$  з ґрунту зменшилася до фону на 3,1 мг/100 г ґрунту за добу, або 16,4% за вірогідної різниці  $p < 0,05$ .

На підставі одержаних результатів досліджень встановлено, що за вирощування буряка столового за змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем, відзначали більш токсичну дію на біологічну активність ґрунту, аніж за змодельованого забруднення ґрунту кадмієм, що позначилося на меншій інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту (табл. 3.6).

Аналіз таблиці 3.6. показує, що із збільшенням рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК інтенсивність виділення  $CO_2$  з ґрунту на всіх варіантах досліджування зменшувалася. Однак за внесення добрив і вапняних меліорантів токсичний вплив свинцю на ґрунтову біоту послаблювався. Так, на контролі (без добрив) за рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК відзначали найменшу інтенсивність виділення вуглекислого газу – 10,3 мг/100 г ґрунту за добу за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05$ . На варіанті 2 за внесення мінеральних добрив в повній нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$  із збільшенням рівня забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК інтенсивність виділення діоксиду вуглецю знизилася від 13,1 до 11,5 мг/100 г ґрунту за добу. За використання органо-мінеральної системи удобрення в нормі  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га, інтенсивність емісії  $CO_2$  з ґрунту на контрольному фоні складала 14,8 мг/100 г ґрунту за добу, а із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем від 3 до 5 ГДК знизилась до 13,3–

12,0 мг/100 г ґрунту за добу за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05$ .

Таблиця 3.6

**Вплив свинцю на інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту за вирощування буряка столового, мг CO<sub>2</sub>/100 г ґрунту за добу (2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)	Рівні змодельованого забруднення ґрунту (Pb <sup>2+</sup> )		
		1 ГДК	3 ГДК	5 ГДК
1) Без добрив (контроль)	12,7	11,8	11,4 <sup>+</sup>	10,3 <sup>+</sup>
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	14,2*	13,1*	12,8* <sup>+</sup>	11,5* <sup>+</sup>
3) Біогумус 4 т/га	15,5*	14,4*	13,9*	12,6* <sup>+</sup>
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> <sup>+</sup> Біогумус 2 т/га	14,8*	13,7*	13,3* <sup>+</sup>	12,0* <sup>+</sup>
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	16,6**	15,4**	14,9**	13,5** <sup>+</sup>
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18,9**	17,5**	17,0**	15,4** <sup>+</sup>
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> <sup>+</sup> Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	17,3**	16,0**	15,5**	14,1** <sup>+</sup>

Примітки: 1. Різниця вірогідна порівняно до контролю – без добрив: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; 2. Різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем порівняно з фоном: <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ .

Найвищу інтенсивність виділення діоксиду карбону з ґрунту відзначали за внесення органічної системи удобрення, порівняно з мінеральною і органо-мінеральною системою удобрення. Так, за використання органічних добрив в повній нормі Біогумус 4 т/га на контрольному фоні інтенсивність виділення вуглекислого газу з ґрунту становила 15,5 мг/100 г ґрунту за добу. Однак за внесення такої самої норми добрив, але за рівня забруднення ґрунту Pb 5 ГДК інтенсивність виділення CO<sub>2</sub> знизилася до 12,6 мг/100 г ґрунту за добу, або на 18,7% за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05$ .

Вапнування ґрунту (вар. 5-7) у поєднанні із різними системами удобрення підвищило на 16-22% інтенсивність виділення діоксиду карбону з ґрунту,



порівняно з 2-4 варіантами за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,01$ .

Таким чином, за внесення органічної системи на фоні вапнування ґрунту відзначали більшу інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту, аніж за внесення органо-мінеральної та мінеральної системи удобрення. Так, найвищий показник емісії діоксиду карбону з ґрунту (18,9 мг/100 г ґрунту за добу) відзначали на контрольному фоні за внесення органічних добрив в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ . Втім на тому самому варіанті, але за рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК, інтенсивність виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту зменшилася до 15,4 мг/100 г ґрунту за добу, або на 18,5% за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05$ .

#### **3.3.4. Ферментативна активність ґрунту за вирощування буряка столового**

До ряду екотоксикологічних критеріїв небезпечності важких металів відноситься показник ферментативної активності ґрунту. Рівень ферментативної активності ґрунту є не тільки важливим показником родючості ґрунту та фізіологічних процесів в рослинах, які є частиною екологічної підсистеми “ґрунт-рослина”, але й характерним показником токсичності полютанта при дії його на ґрунт [202, 203, 219]. Характер токсичної дії ВМ на активність ґрунтових ферментів залежить, перш за все, від природи самого елемента, його валентності, у якій формі з'єднань вносився (оксиди чи солі), їх розчинності, супутніх аніонів та тривалості впливу [217, 221], а також визначається типом ґрунту, вмістом гумусу і механічним складом [203].

В умовах мікропольових експериментальних дослідів за вирощування буряка столового із застосуванням добрив та меліорантів були проведені дослідження щодо вивчення впливу кадмію та свинцю на ферментативну активність пероксидази, поліфенолоксидази, каталази, дегідрогенази, уреаз, фосфатази та інвертази. Користуючись метод біотестування, що базується на спостереженні за активністю ґрунтових ферментів, нам дозволить краще встановити агроекологічний стан темно-сірого ґрунту за різних рівнів забруднення кадмієм та

свинцем.

Встановлено, що ферментативна активність ґрунту за вирощування буряка столового залежала від ґрунтового-кліматичних умов року, внесених норм органічних і мінеральних добрив, меліорантів, а також від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (дод. В табл. В. 3 та В.4).

Застосування органічних та мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів сприяло підвищенню ферментативної активності ґрунту на 5,7-57,2% за вірогідної різниці до контролю – без добрив  $p < 0,05 - 0,01$ . Втім відзначали загальний тренд, а саме із збільшенням рівня змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb від 1 до 5 ГДК активності ґрунтових ферментів знижувалась на 17,3 – 76,9% і варіювала між варіантами, залежно від системи удобрення та проведених заходів із вапнування ґрунту за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05 - 0,001$ .

Слід зауважити, що за вирощування буряка столового ферментативна активність ґрунту була нижчою на 8-32%, аніж за вирощування капусти білоголової, що пов'язано на нашу думку із меншими нормами органічних і мінеральних добрив, які вносили під буряк столовий, а відповідно ефект детоксикації був меншим.

Дослідженнями встановлено, що добрива та меліоранти по-різному впливали на ферментативну активність ґрунту за вирощування буряка столового. Так, найменшу активність усіх досліджуваних ґрунтових ферментів виявлено на контролі (без добрив). Високу ферментативну активність відзначали за використання в повній нормі органічних добрив Біогумус 4 т/га ( $p < 0,05$ ), дещо меншу за спільного внесення органічних і мінеральних добрив у половину норми  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га ( $p < 0,05$ ), а найменшу ферментативну активність, порівняно з вищенаведеними варіантами досліду, відзначали за використання тільки одних мінеральних добрив нітроамофоска у повній нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$ .

Однак за використання меліорантів на 5-7 варіанті, які вносили восени в нормі 5 т/га  $CaCO_3$ , за таких самих норм органічних і мінеральних добрив, ферментативна активність ґрунту зросла на 18,3-36,5%, порівняно з іншими варіантами досліду, де не проводили такий меліоративний захід за вірогідної

різниці до контролю  $p < 0,01$ . На основі цього, можна зробити висновок, що ґрунтові ферменти позитивно реагують на зниження кислотності ґрунту, що зумовлено післядією кальцієвих меліорантів.

Внесені добрива та меліоранти, в залежності від своєї природи, сприяли зменшенню рухомості  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті і тим самим знижували їх інгібуючу дію на ґрунтові ферменти, внаслідок чого спостерігали підвищення їх активності. Така тенденція спостерігалася, як на контрольному фоні, а також на усіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (дод. В табл. В.3 та В.4).

Встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК активність усіх ґрунтових ферментів знижувалась, проте виразна закономірність між варіантами зберігалася. До того ж, за вирощування буряка столового, ми відзначали більшу токсичну дію свинцю на ферментативну активність ґрунту, аніж кадмію. Найбільше  $\text{Cd}$  та  $\text{Pb}$  пригнічували діяльність окисно-відновних ферментів, таких як пероксидаза, поліфенолоксидаза, каталаза та дегідрогеназа, через що їх активність знижувалась на 19,2-78,3% порівняно з фоном ( $p < 0,05 - 0,001$ ). Вразливими до токсичної дії йонів важких металів також виявилися фосфатаза та інвертаза, в меншій мірі ферментативна активність уреаз.

Відзначимо, що пероксидаза має підвищену чутливість до токсичної дії цілого ряду важких металів, зокрема кадмію та свинцю з поміж інших ферментів. Тому активність пероксидази ми розглядали як маркер стресових станів загальної ферментативної активності ґрунту під впливом інгібуючої дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  за вирощування буряка столового (рис. 3.3. та 3.4.).

Дослідженнями встановлено, що найменшу ферментативну активність пероксидази (87,6 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту) відзначали на контролі – без добрив. Із збільшенням рівня забруднення ґрунту кадмієм до 5 ГДК активність пероксидази знизилась на 70,4% і складала 26,1 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ . Однак за внесення органічних добрив та меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ , на тому ж рівні забруднення ґрунту, активність пероксидази зросла до 38,9 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, що

більше за фон на 12,8 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту, або на 49%  $p < 0,001$  (рис. 3.3).

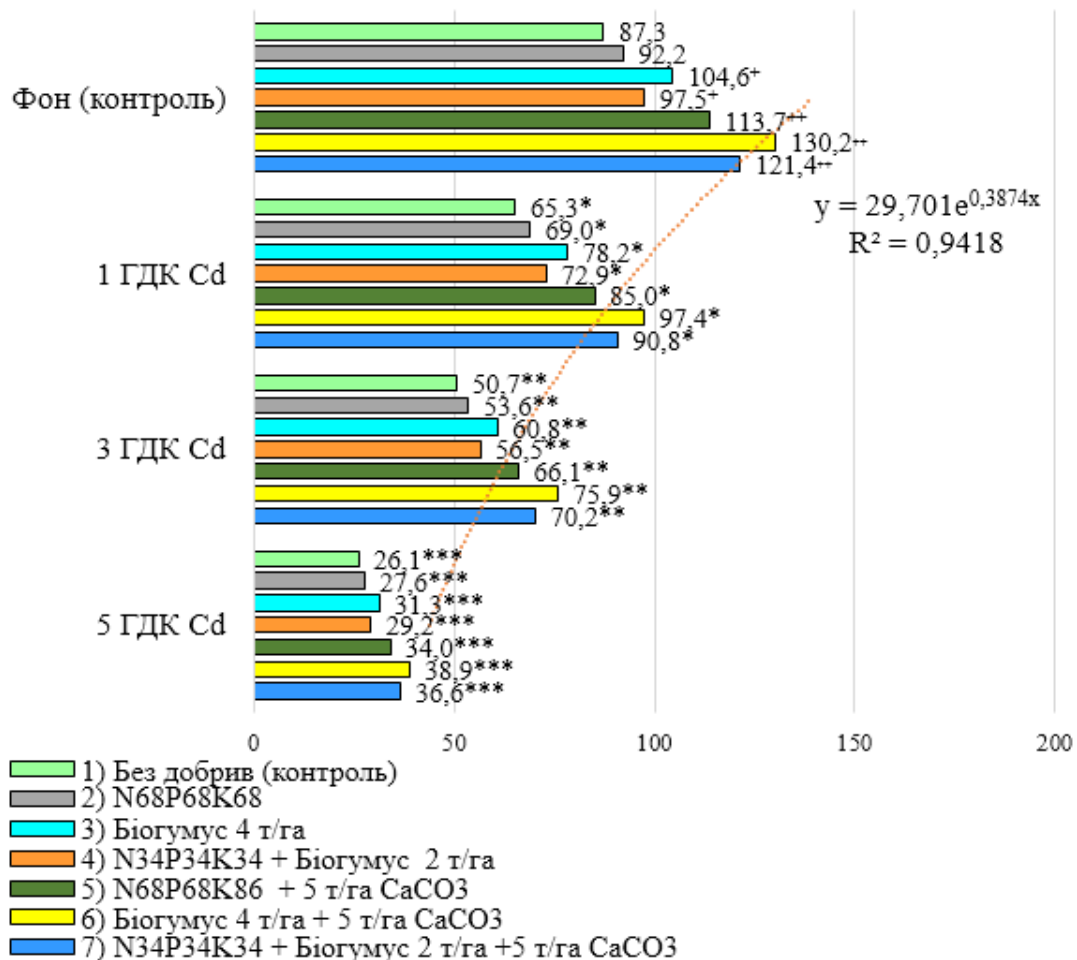


Рис. 3.3. Ферментативна активність пероксидази за вирощування буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

Примітки: 1.  $+ - p < 0,05$ ;  $++ - p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – 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.

На основі результатів досліджень встановлено, що ферментативна активність пероксидази за вирощування буряка столового на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем пригнічувалась на 5,9-10,8% більше, аніж кадмієм. Так, на фоні її активність складала 87,3 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту (рис. 3.4). Із збільшенням рівня забруднення свинцем від 1 ГДК до 3 ГДК на контролі (без

добрив) активність пероксидази зменшилась на 35,4 – 47,5% до фону ( $p < 0,01$ ).

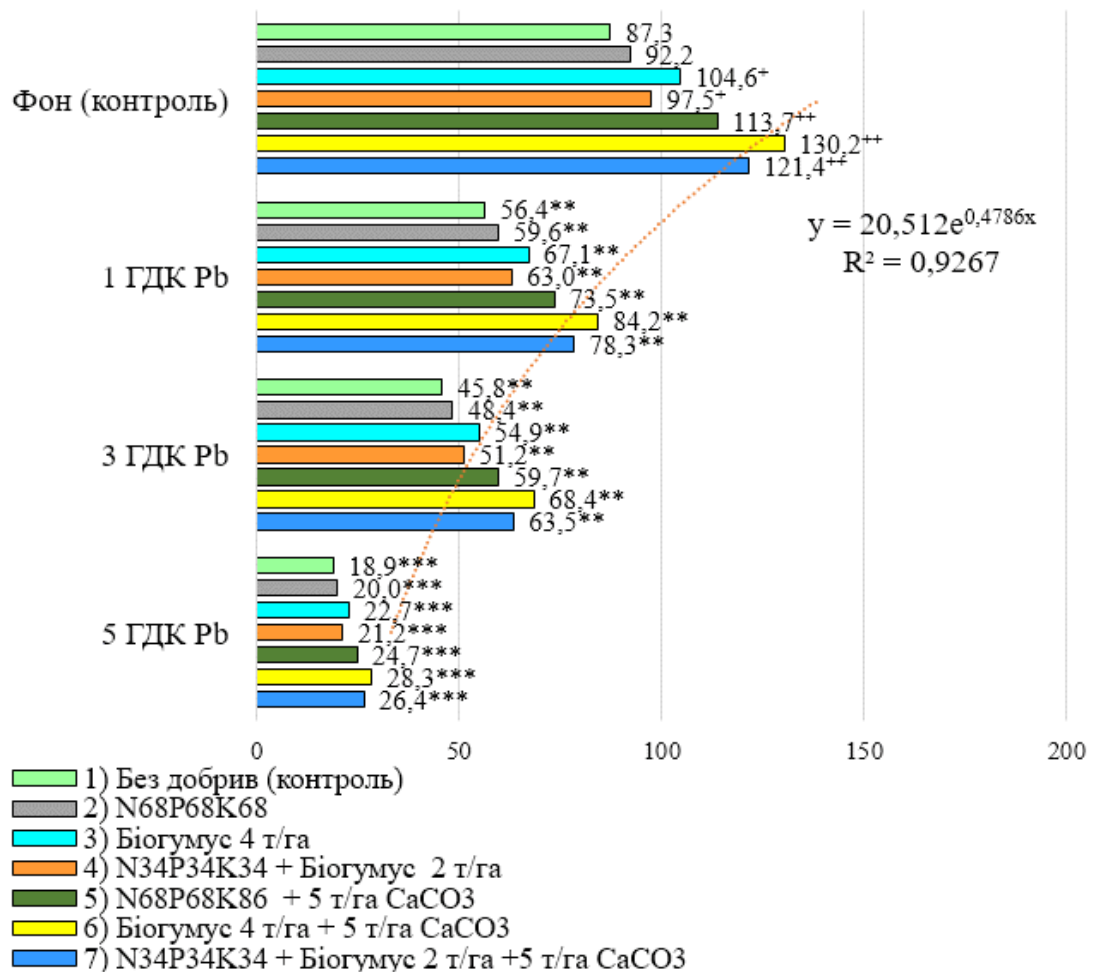


Рис. 3.4. Ферментативна активність пероксидази за вирощування буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

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

За рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК на контролі (без добрив) ферментативна активність пероксидази зменшилась на 78,3% до фону і становила 18,9 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту ( $p < 0,01$ ). Відзначимо, що найвищу активність пероксидази на цьому ж рівні забруднення (28,3 та 26,4 мг пурпургаліну на 100 г ґрунту) встановлено за використання добрив та меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га

+ 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га +5 т/га  $\text{CaCO}_3$  за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ .

Раціональне застосування органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів активізує мікробіологічну та ферментативну активність ґрунту, зменшує токсичний вплив йонів кадмію та свинцю на ґрунтово біоту, а в цілому депресивний вплив полютантів на агрофітоценози.

### Висновок до розділу 3

Внесені добрива та меліоранти у різних нормах та співвідношеннях впливали на зміни агрохімічних та мікробіологічних параметрів ґрунту. Застосування органічної та органо-мінеральної системи удобрення дозволило у більшій мірі забезпечити рослини капусти білоголової та буряка столового доступними елементами живлення (N, P, K, Ca, Mg і S), аніж застосування тільки мінеральної системи удобрення, за вірогідної різниці до контролю – без добрив ( $p < 0,05 - 0,01$ ). Встановлено, що на 5-7 варіантах, де проводили вапнування ґрунту відзначали утворення агрономічно цінних ґрунтових агрегатів, зниження кислотності ґрунту, збільшення вмісту гумусу та легкодоступних елементів живлення, а також вищий ступінь насичення ґрунту основами, порівняно з іншими варіантами експерименту, що в цілому позитивно позначилося на ростових процесах капусти білоголової та буряка столового.

На змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем, відзначали більш токсичну дію на біологічну активність ґрунту, аніж кадмієм, що відобразилось на меншій інтенсивності виділення діоксиду карбону з ґрунту та зниження ферментативної активності. Застосування органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами сприяло найбільшій інтенсивності виділення  $\text{CO}_2$  з ґрунту за достовірної різниці до контролю – без добрив ( $p < 0,01$ ), як на фоні так і на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

За вирощування буряка столового та капусти білоголової із збільшенням

змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК пригнічувалась активність ґрунтових ферментів за вірогідної різниці до контрольного фону  $p < 0,05 - 0,001$ . Відповідно, причиною зниження ферментативної активності ґрунту було як пряме інгібування каталітичної активності ферментів важкими металами, так і затримка їх синтезу мікроорганізмами. Однак за внесення добрив та меліорантів на різних градаціях змодельованого забруднення ВМ, токсична дія йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  на ґрунтові ферменти послаблювалась. Найвищу ферментативну активність ґрунту відзначали за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту.

За ступенем чутливості до забруднення кадмієм та свинцем темно-сірого ґрунту за вирощування капусти білоголової та буряка столового ґрунтові ферменти розташувалися у такий ряд: пероксидаза  $\leq$  поліфенолоксидаза  $\leq$  каталаза  $\leq$  дегідрогеназа  $\leq$  фосфатаза  $\leq$  інвертаза  $\leq$  уреаза.

Активність пероксидази динамічно змінювалася з іншими ферментами під впливом добрив і меліорантів та знаходилась в тісному кореляційному зв'язку ( $R^2 = 0,93-0,94$ ) із зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05 - 0,001$ . Оскільки пероксидаза виявилася найбільш чутлива до токсичної дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  її було обрано як маркерний фермент за активністю якої можна дати оцінку абіотичним стресам в агроєкосистемах, які зазнають забруднення різноманітними поллютантами, зокрема важкими металами.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 3

198. Кабата–Пендиас А., Пендиас Х. Микроэлементы в почвах и растениях. Москва: Мир, 1989. 439 с.
199. Медведєв В. В., Чесняк Г. Я., Лактіонова Т. М. Родючість ґрунтів: моніторинг та управління / за ред. В. В. Медведєва. Київ: Урожай, 1992. 248 с.
200. Карасюк І. М., Геркіял О. М., Господаренко Г. М. Агрохімія: підручник / за

- ред. І. М. Карасюка. Київ: Вища школа, 1995. 471 с.
201. Соловев Г. А., Парамонова Н. И., Парамонов Е. А. Пути получения экологически чистой продукции в условиях интенсивного применения удобрений. *Агрoхимия и качество растениеводческой продукции*. Москва: Изд-во МГУ, 1992. С.14–28.
202. Зырин Н. Г., Раськова Н. В., Платонов Г. В. Действие тяжелых металлов на ферментативную активность почв. *Мелиорация, использование и охрана почв Нечерноземной зоны*: тез. докл. Всесоюз. конф., 24-26 дек. 1980 г. Москва: Изд-во МГУ, 1980. С. 186.
203. Галстян А. Ш., Григорян К. В. Ферментативная диагностика почв. *Тр. НИИ почвовед, и агрохимии / М-во сельск. хоз-ва АрмССР*. 1978. №13. С. 132–140.
204. Золотарева Б. Н. и др. Содержания и распределения тяжелых металлов (свинца, кадмия и ртути) в почвах Европейской территории СССР. В. Кн.: Генезис, плодородия и мелиорация почв. Пущино, 1980. С. 217.
205. Коць С. Я., Петерсон Н. В. Мінеральні елементи і добрива в живленні рослин: навч. посіб. Київ: Логос, 2005. 150 с.
206. Самохвалова В. Л., Фатеев А. І., Зуза С. Г., Зуза В. О. Спосіб ремедіації ґрунту техногенно забрудненого важкими металами. *Агрoхимія та ґрунтознавство*. 2013. Вип. 80. С.101–110.
207. Тихоненко Д. Г., Горін М. О., Лактіонова М. І. Ґрунтознавство: підручник / за ред. Д. Г. Тихоненка. Київ: Вища освіта, 2005. 703 с.
208. Городній М. М., Бикін А. В., Нагаєвська Л. М. Агрoхимія: підручник. Київ: Алефа, 2003. 786 с.
209. Господаренко Г. М. Агрoхимія: підручник. Київ: СІК ГРУП Україна, 2015. 376 с
210. Шувар А. І., Бунчак О. М., Сендецький В. М. та ін. Виробництво та використання органічних добрив: монографія / за ред. І. А. Шуvara. Івано-Франківськ: Симфонія форте, 2015. 596 с.
211. Бикін А. В. Інтенсивність мікробіологічних процесів при використанні продуктів біоконверсії органічних відходів. *Науковий вісник національного*



- аграрного університету*. Київ: НАУ, 1998. № 5. С. 189–205.
212. 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.
213. Лихочвор В. В. Петриченко В. Ф. Мінеральні добрива та їх застосування. 2-ге видання, доповн. і виправл. Львів: НФВ «Українські технології», 2012. 324 с.
214. Методы почвенной микробиологии и биохимии / под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.
215. Звягинцев Д. Г., Бабьева И. П., Зенова Г. М. Биология почв: учебник. Москва: Изд-во МГУ, 2005. 445 с.
216. Галстян А. Ш. Унификация методов определения активности ферментов почв. *Почвоведение*. 1978. № 2. С. 107–122.
217. Экологическая роль микробных метаболитов / под ред. Д. Г. Звягинцева. Москва: Изд-во МГУ, 1986. 240 с.
218. Наумов А. В. Дыхание почвы: составляющие, экологические функции, географические закономерности. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 208 с.
219. Черных Н. А. Влияние тяжелых металлов на ферментативную активность почв. *Химизация сельского хозяйства*. 1991. №1. С. 40–42.
220. Галиулин Р. В. Индикация загрязнения почв тяжелыми металлами путем определения активности почвенных ферментов. *Агрохимия*. 1989. №11. С.133–141.
221. Раськова Н. В., Скворцова И. Н., Обухов А. И., Дерябин Н. Ф. Влияние свинца на биологическую активность почв. *Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах*. Ленинград: Гидрометеиздат, 1989. С. 289–297.

## РОЗДІЛ 4

### РУХОМІСТЬ КАДМІЮ І СВИНЦЮ У ГРУНТІ ЗАЛЕЖНО ВІД ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СИСТЕМ УДОБРЕННЯ Й ВАПНУВАННЯ

#### 4.1. Концентрація валових та рухомих форм кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової

Рухомість важких металів у ґрунті, тобто здатність елемента переходити із твердих фаз ґрунту у розчини, залежить від багатьох факторів, серед яких домінують хімічна природа самих металів, фізико-хімічні характеристики ґрунтів та агрометеорологічні умови конкретної природної зони [225, 233].

При різних рівнях вмісту валових і рухомих форм ВМ, для всіх ґрунтів спостерігається єдина тенденція. На фоні зростання валових запасів ВМ (від дерново-підзолистих ґрунтів до чорноземів), кількість металів у рухомих формах зменшувалася. Проте найбільш небезпечною є та кількість ВМ, 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 [228, 232, 235].

У зв'язку з тим постало актуальне питання щодо розробки, вивчення та практичного впровадження у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах ефективної і доступної, екологічно безпечної системи удобрення у поєднанні з меліорантами, завдяки якій проходить швидкодіюча детоксикація окультуреного ґрунту забрудненого важкими металами з відновленням його родючості, збільшення захисних (буферних) властивостей ґрунтової системи, що в цілому сприятиме одержанню екологічно безпечної та біологічно повноцінної рослинницької продукції [222, 229, 234,]. Застосування меліорантів, як антидотів, попереджає міграцію забруднювачів у суміжні середовища, знижує токсичність процесів, викликаних забрудненням [223].

Програмою досліджень передбачалось визначити концентрацію валових та

рухомих форм кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової та буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення важкими металами та внесених добрив і меліорантів. Визначали вміст важких металів у ґрунті на глибині орного горизонту (0-20 см) методом атомно-адсорбційної спектрофотометрії за атестованими і стандартизованими методиками [227]. Перед закладанням дослідів вміст валових форм ВМ у ґрунті дослідної ділянки (природний фон) в середньому за роки досліджень становив: Cd – 0,710 мг/кг; Pb – 12,54 мг/кг сухого ґрунту. Концентрація рухомих форм ВМ у ґрунті: Cd<sup>2+</sup> – 0,175 мг/кг; Pb<sup>2+</sup> – 0,874 мг/кг сухого ґрунту.

Дослідженнями встановлено, що на рухомість кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової впливали: ґрунтово-кліматичні умови року, норми внесення органічних і мінеральних добрив, меліоранти та рівні змодельованого забруднення ґрунту важкими металами [224, 226].

Як показують результати трьохрічних досліджень, зі зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до збільшення концентрації рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті на всіх варіантах за вірогідної різниці до фону  $p < 0,01 - 0,001$ . Проте загальні закономірності рухомості важких металів у ґрунті між варіантами зберігалися, на що мали великий вплив внесенні органічні і мінеральну добрива, а також кальцієві меліоранти (дод. Д табл. Д.1 та Д.2).

На основі результатів трьохрічних досліджень встановлено, що на варіантах за внесення добрива та меліорантів концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті була значно меншою порівняно до контролю – без добрив ( $p < 0,05 - 0,001$ ). Однак вплив добрив та меліорантів на рухомість кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової на різних варіантах проявлялася по-різному (рис. 4.1 та 4.2). Так, спільне застосування органічних і мінеральних добрив у половину норми N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га (вар. 4) виявилось більш ефективно у зв'язуванні рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті, аніж внесення тільки мінерального добрива у повній нормі N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> (вар. 2). Проте ще більш міцніше закріплювалися рухомі фракції ВМ ґрунтово-вбирним комплексом за внесення органічного добрива у

повній нормі Біогумус 8 т/га (вар. 3).

Утім, за внесення тих самих норм органічних і мінеральних добрив, але на провапнованому ґрунті (вар. 5-7), концентрація лабільних форм кадмію та свинцю суттєво знизилась, порівняно з іншими варіантами дослідження за вірогідної різниці до контролю – без добрив  $p < 0,01 - 0,001$ . Так, на фоні (контроль) найменшу концентрацію рухомих форм кадмію (0,051 і 0,063 мг/кг) та свинцю (0,247 і 0,354 мг/кг) у ґрунті, відзначали за внесення Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  (рис. 4.1 та 4.3).

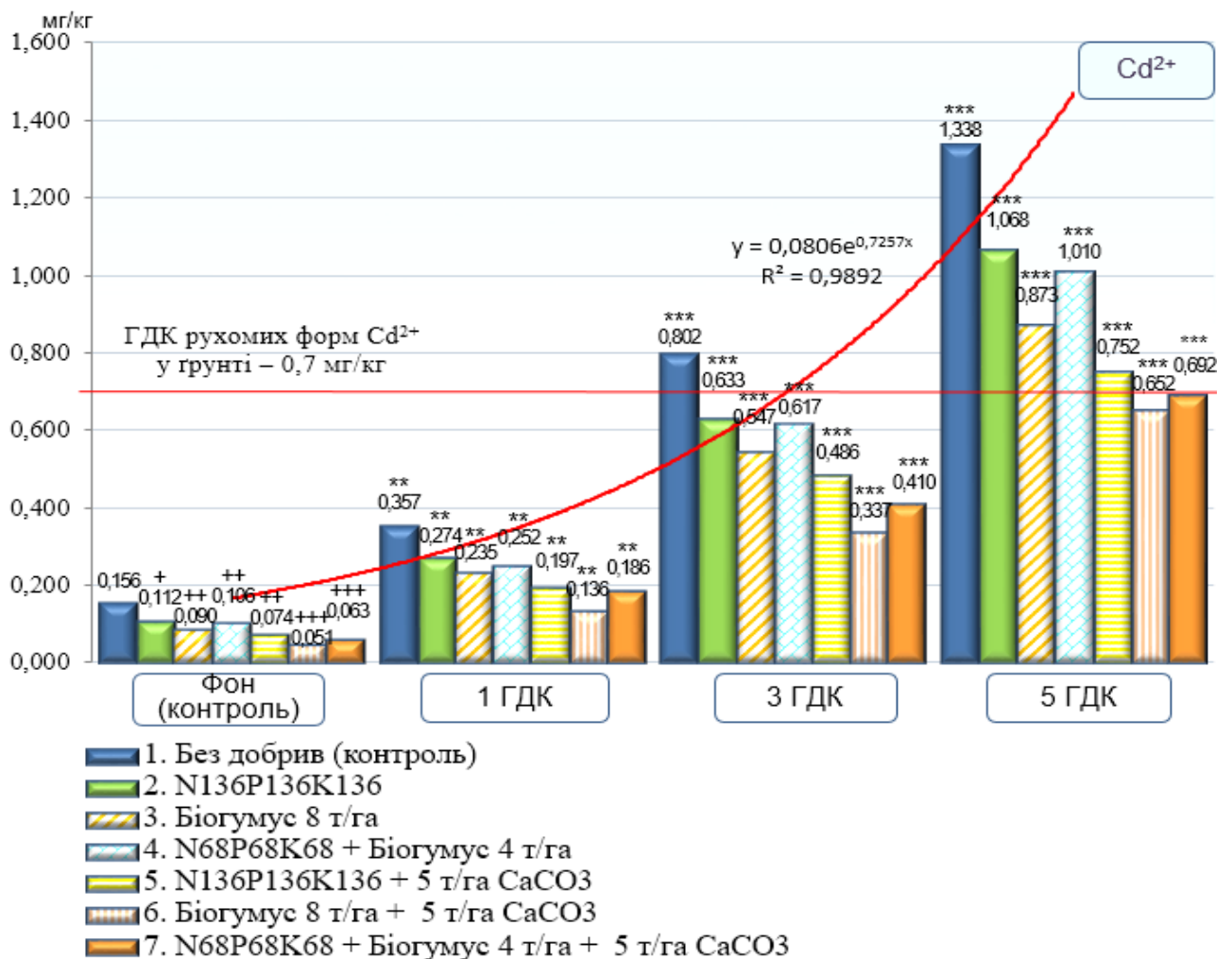


Рис. 4.1. Вплив добрив та меліорантів на концентрацію рухомих форм кадмію у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування капусти білоголової, мг/кг сухого ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

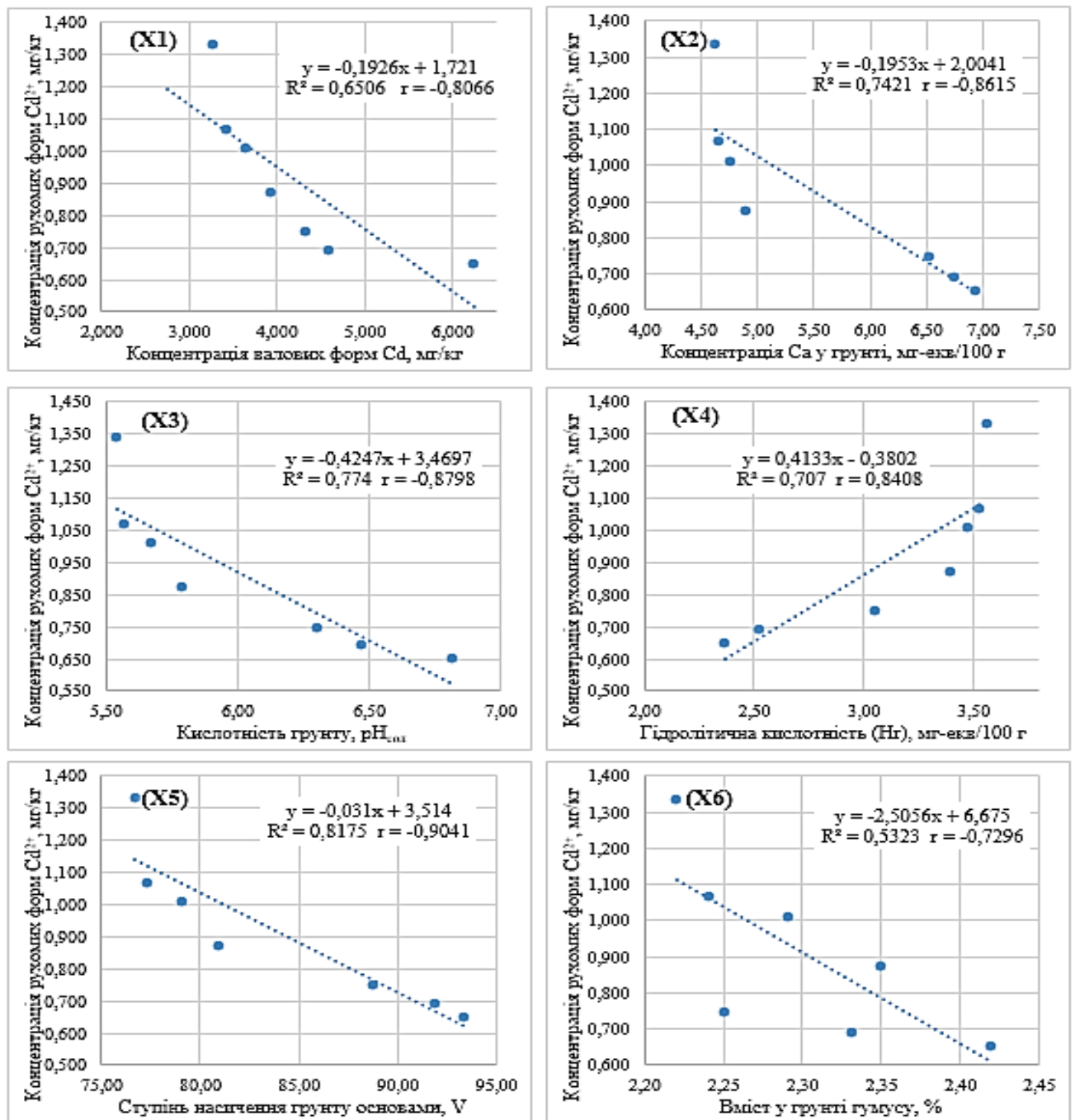
Примітки: 1. + –  $p < 0,05$ ; ++ –  $p < 0,01$ ; +++ –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна між показниками на фоні до контролю – без добрив; 2) \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм порівняно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

Із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм від 1 до 5 ГДК динамічно збільшувалася і концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті, проте закономірність між варіантами зберігалася за вірогідної різниці до фону  $p < 0,01 - 0,001$ . Крім того, за внесення добрив і меліорантів спостерігали загальну тенденцію, а саме із зменшенням рухомості ВМ (перехід елемента із валової форми у рухому), зменшувалась відповідно і концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, знижувалися коефіцієнти їх небезпеки, проте збільшувалась концентрація валових фракцій важких металів у ґрунті, які переходили у більш стійкі та недоступні ґрунтовій біоті та рослинам комплекси. Також слід зазначити, що рухомість свинцю у ґрунті за використання добрив і меліорантів була меншою, аніж кадмію (дод. Д. табл. Д.1 та Д.2).

Встановлено, що при рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту, концентрація рухомих форм кадмію у ґрунті була найнижчою і становила 0,652 та 0,692 мг/кг, що менше за контроль (без добрив) на 0,686 та 0,646 мг/кг сухого ґрунту, або 51,2 та 48,2% за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ . У зазначених варіантах коефіцієнт небезпеки був також найменшим, відповідно 0,93 та 0,99, тоді як на контролі –1,91.

За використання повної норми мінеральних добрив  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  (вар. 2) та органічних добрив Біогумус 8 т/га (вар. 3) при рівні змодельованого забруднення кадмієм 5 ГДК концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті становила 1,068 та 0,873 мг/кг, перехід елемента з валової форми у рухому складав 31,22 та 22,28%, при коефіцієнті небезпеки 1,53 та 1,25 за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ .

Для кращого розуміння природи рухомості кадмію у ґрунті залежно від внесених добрив та меліорантів за змодельованого рівня забруднення 5 ГДК, було проведено кореляційний аналіз між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та валовими формами,  $\text{pH}_{\text{сол}}$ . витяжки ґрунту, гідролітичною кислотністю (Нг), ступенем насичення ґрунту основами (V), вмістом гумусу і кальцію. Також було розраховано множинну кореляцію між усіма вищезгаданими агрохімічними параметрами ґрунту щодо їх взаємного впливу один на одного (рис. 4.2).



	(Y)	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(X5)	(X6)
Рухомі форми Cd <sup>2+</sup> (Y)							
Валові форми Cd (X1)	-0,8066						
Вміст Са (X2)	-0,8615	0,8505					
pH <sub>сольове</sub> (X3)	-0,8798	0,9425	0,9758				
Hr кислотність (X4)	0,8408	-0,9146	-0,9481	-0,9756			
Ступ. нас. осн., V (X5)	-0,9041	0,8855	0,9884	0,9877	-0,9681		
Вміст гумусу (X6)	-0,7296	0,8366	0,5561	0,7098	-0,7264	0,6625	

Рис. 4.2. Матриця кореляційного аналізу між концентрацією рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та агрохімічними показниками за вирощування капусти білоголової при змодельованому рівні забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК

На основі проведеної множинної кореляції було встановлено тісний від'ємний зв'язок між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті та вмістом валових форм елемента ( $r = -0,8066$ ), вмістом кальцію ( $r = -0,8615$ ),  $\text{pH}_{\text{сол}}$  ґрунту ( $r = -0,8798$ ), ступенем насичення ґрунту основами ( $r = -0,9041$ ), вмістом гумусу ( $r = -0,8491$ ), а також тісний позитивний кореляційний зв'язок із гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,8408$ ). Крім того, вищезгадані параметри ґрунту тісно корелювали між собою ( $r = 0,6625-0,9877$ ).

Отримані результати досліджень підтверджують, що зі зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Pb від 1 до 5 ГДК спостерігали єдину тенденцію до збільшення концентрації рухомих фракцій  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті на всіх варіантах досліду. Однак великий вплив на зменшення рухомості свинцю у ґрунті мали внесенні добрива та меліоранти за використання яких концентрація рухомих форм свинцю у ґрунті зменшилась більше ніж на 24,8% за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,05 - 0,001$ . Утім, вплив добрив та меліорантів на ступінь рухомості свинцю у ґрунті за вирощування капусти білоголової на різних варіантах проявлялася неоднаково (рис. 4.3).

Так, спільне застосування органо-мінеральної системи удобрення  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68} + \text{Біогумус } 4 \text{ т/га}$  (вар. 4) виявилось більш ефективно у зв'язуванні рухомих форм  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, аніж використання тільки мінеральної  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  (вар. 2). Однак за використання органічної системи удобрення Біогумус 8 т/га (вар. 3) рухомі фракції  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті ще більш міцніше закріплювалися ґрунтово-вбирним комплексом. Проте застосування органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення, але на фоні вапнування, сприяли зменшенню концентрації рухомих форм  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті на 58,0–70,7 % за вірогідної різниці до контролю – без добрив  $p < 0,001$ .

Як видно з рисунку 4.3 за рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем 3 ГДК відзначали перевищення концентрації рухомих форм  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті відносно ГДК (2,0 мг/кг) на 0,581 мг/кг сухого ґрунту тільки на варіанті без добрив (контроль). Найменшу концентрація рухомих форм свинцю (0,998 мг/кг) встановлено на варіанті за внесення Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ . Таку саму

тенденцію на цьому ж варіанті відзначали на змодельованому рівні забруднення ґрунту Pb 5 ГДК з найменшою концентрацією рухомих фракцій Pb<sup>2+</sup> (1,885 мг/кг), проте із підвищеною концентрацією валових форм (55,13 мг/кг). На вар. 7 концентрація рухомих форм Pb<sup>2+</sup> у ґрунті перевищувала ГДК на 0,275 мг/кг, втім була меншою порівняно із вар. 5 на 0,396 мг/кг, або 15%. Найбільшу концентрацію (4,304 мг/кг сухого ґрунту) рухомих форм Pb<sup>2+</sup> встановлено на варіанті без добрив – контроль за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ .

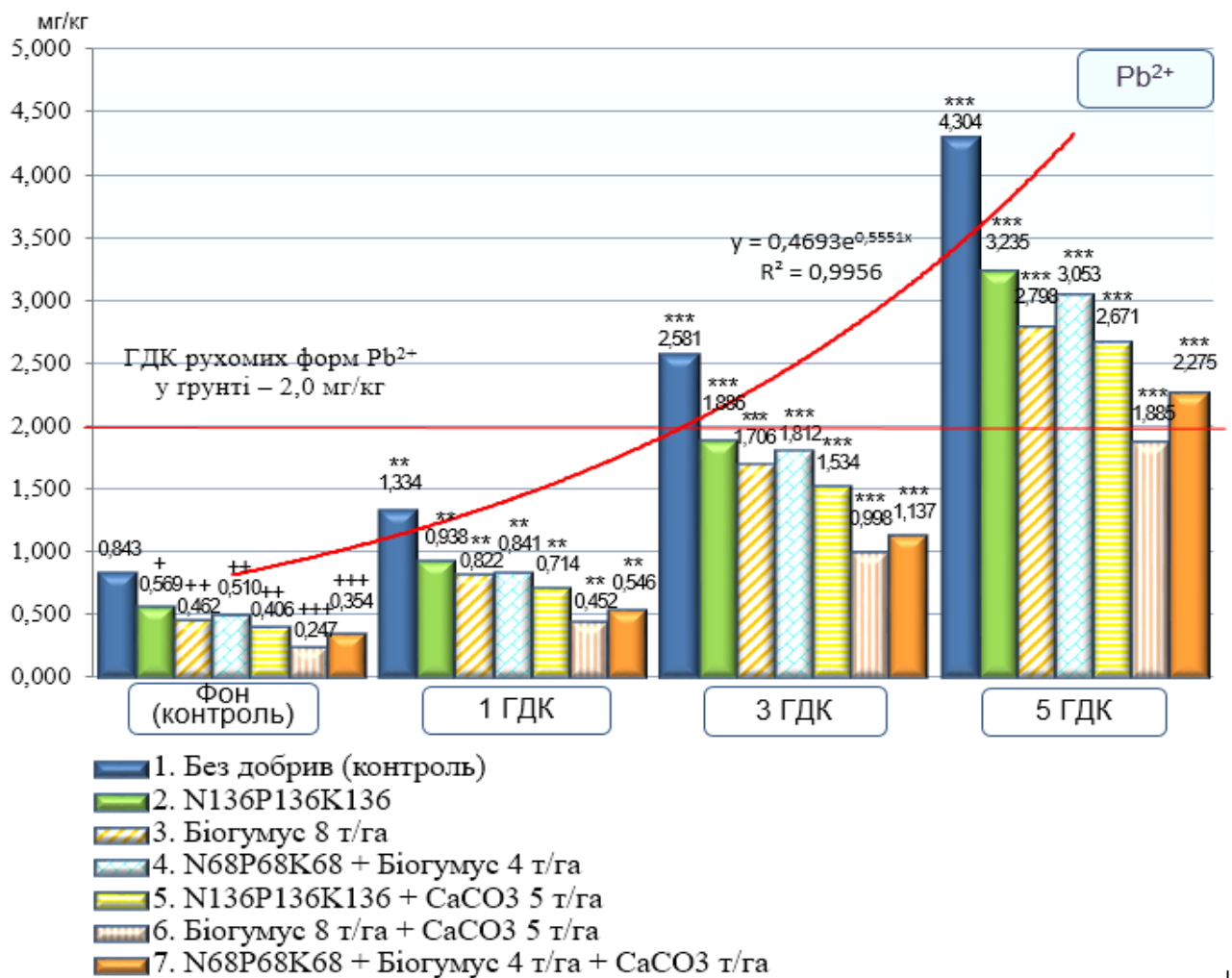


Рис. 4.3. Вплив добрив та меліорантів на концентрацію рухомих форм свинцю у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування капусти білоголової, мг/кг сухого ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

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



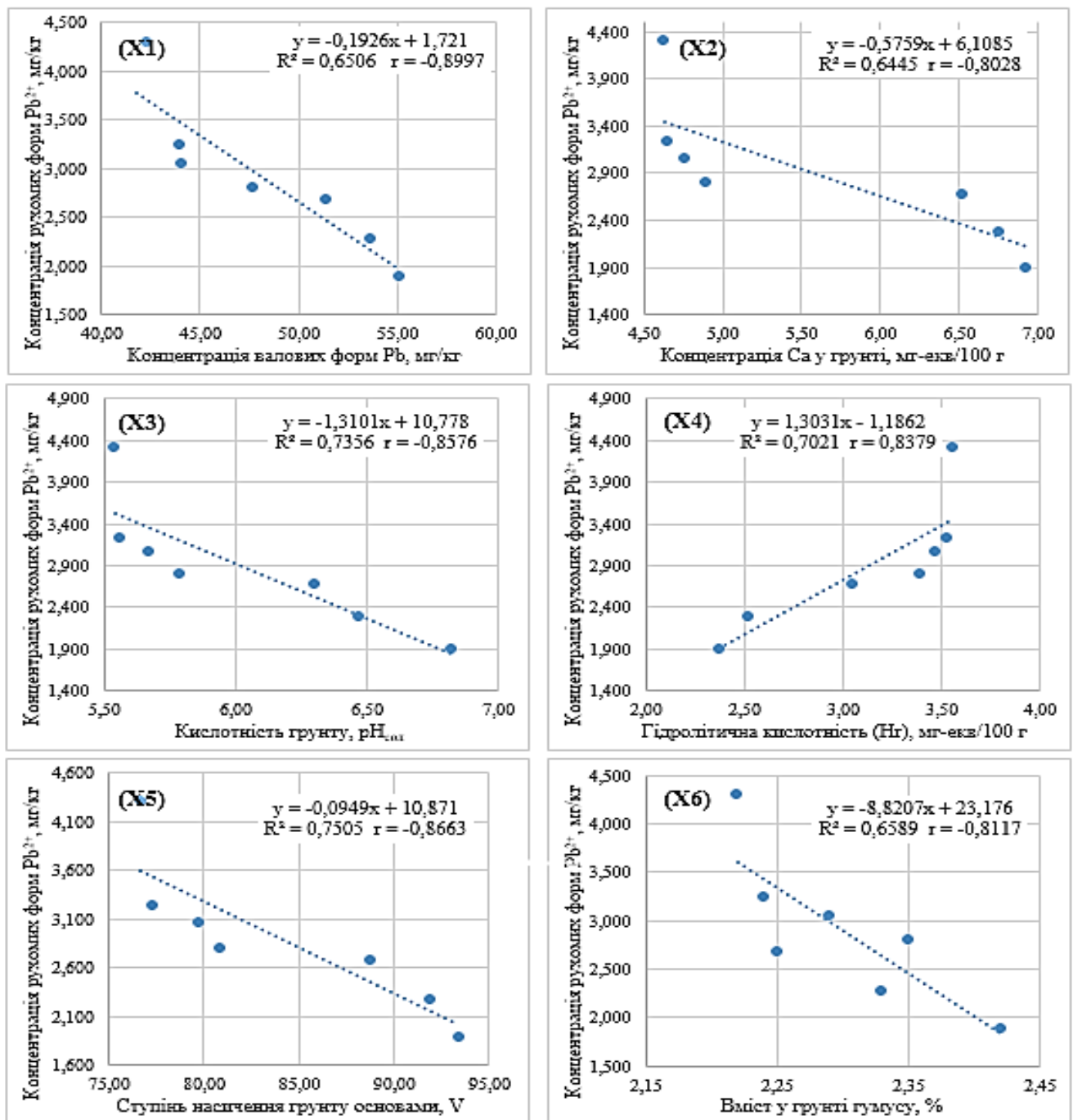
Відзначити загальну тенденцію, а саме із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК зростала концентрація як рухомих так і валових форм за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05 - 0,001$ . Проте виявлено певну закономірність на кожному конкретному рівні змодельованого забруднення. Так, за внесення добрив (вар. 2-4), а особливо кальцієвих меліорантів (вар. 5-7), концентрації рухомих форм  $Pb^{2+}$  істотно зменшувалася, а концентрація валових форм навпаки, збільшувалася (дод. Д. табл. Д.2).

Даючи аналіз дод. Д. табл. Д. 2. слід зауважити, що найменшу концентрацію рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті (0,247 та 0,354 мг/кг), а відтак найменший перехід металу з валової форми у рухому (1,22 та 1,85%) із найнижчим коефіцієнтом небезпеки (0,12 та 0,18) відзначали за внесення добрив та меліорантів на фоні (контроль) в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  та  $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$ . На контрольному варіанті (без добрив) концентрацію катіонів  $Pb^{2+}$  у ґрунті була найбільша (0,843 мг/кг) при коефіцієнті небезпеки 0,42.

Особливу увагу привертає той факт, що на 5-7 вар., де проводили вапнування ґрунту відмічали найменшу концентрацію рухомих форм  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ , порівняно з іншими варіантами, натомість виявлено підвищену концентрацію валових форм кадмію та свинцю. Така закономірність відслідковується на кожному рівні змодельованого забруднення ґрунту солями важких металів.

На основі отриманих результатів досліджень, було проведено кореляційний аналіз між концентрацією рухомих форм свинцю  $Pb^{2+}$  у ґрунті та агрохімічними показниками ґрунту (рис. 4.4).

З результатів кореляційного аналізу виявлено від'ємний тісний лінійний зв'язок між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті та вмістом валових форм свинцю ( $r = -0,8997$ ), вмістом кальцію ( $r = -0,8028$ ),  $pH_{сол}$  ґрунту ( $r = -0,8576$ ), ступенем насичення ґрунту основами ( $r = -0,8663$ ), вмістом гумусу ( $r = -0,8117$ ), а також позитивний тісний кореляційний зв'язок із гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,8379$ ). Окрім того, вищезгадані агрохімічні показники тісно корелювали між собою, що видно на матриці кореляційного аналізу (рис. 4.4)



	(Y)	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(X5)	(X6)
Рухомі форми $Pb^{2+}$ (Y)							
Валові форми $Pb$ (X1)	-0,8997						
Вміст $Ca$ (X2)	-0,8028	0,9642					
$pH_{sol}$ ове (X3)	-0,8576	0,9768	0,9758				
$Hr$ кислотність (X4)	0,8379	-0,9532	-0,9481	-0,9756			
Ступ. нас. осн., $V$ (X5)	-0,8663	0,9834	0,9884	0,9877	-0,9681		
Вміст гумусу (X6)	-0,8117	0,7184	0,5561	0,7098	-0,7264	0,6625	

Рис. 4.4. Матриця кореляційного аналізу між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  та агрохімічними показниками за вирощування капусти білоголової при змодельованому рівні забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК

Таким чином, за вирощування капусти білоголової при внесенні органічних добрив та кальцієвих меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  відзначали найбільшу ефективність від детоксикації, а саме переведення рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті у більш стійкі, нерозчинні, малорухомі комплекси, як на контрольному фоні (без змодельованого забруднення ґрунту ВМ), так і на усіх змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (1, 3; 5 ГДК).

#### **4.2. Концентрація валових та рухомих форм кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування буряка столового**

Отримані результати досліджень підтверджують, що на рухомість  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті за вирощування буряка столового впливали: ґрунтово-кліматичні умови року, норми внесення органічних і мінеральних добрив, вапнування ґрунту та рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем [230, 231].

Як показують результати досліджень, із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до зростання концентрації їх рухомих форм у ґрунті на всіх варіантах досліді. Однак ступінь рухомості ВМ у ґрунті між варіантами зберігався на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, на що мали великий вплив внесені добрива та меліоранти у різних нормах та співвідношеннях (рис. 4.5 та 4.7).

Застосування добрив та меліорантів сприяло зниження рухомості кадмію у ґрунті на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цим елементом на 15,9 – 48,5% порівняно до контролю (без добрив). Утім, вплив добрив і меліорантів на рухомість кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування буряка столового на різних варіантах проявлялася по-різному (дод. Д табл. Д.3 та Д.4)

Так, спільне застосування органічних і мінеральних добрив у половину норми  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га (вар. 4) виявилось більш ефективним у зв'язуванні рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті, аніж внесення тільки мінерального добрива у повній нормі  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  (вар. 2). Утім, за використання органічного добрива у повній нормі Біогумус 4 т/га (вар. 3) рухомі фракції  $\text{Cd}^{2+}$  міцніше

закріплювалися ГВК, порівняно з вищезгаданими варіантами. Однак за внесення тих самих норм добрив, але на фоні кальцієвих меліорантів в нормі 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  (вар 5-7 вар.) відзначали найменшу концентрації рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті, порівняно з іншими варіантами досліді на всіх змодельованих рівнях забруднення.

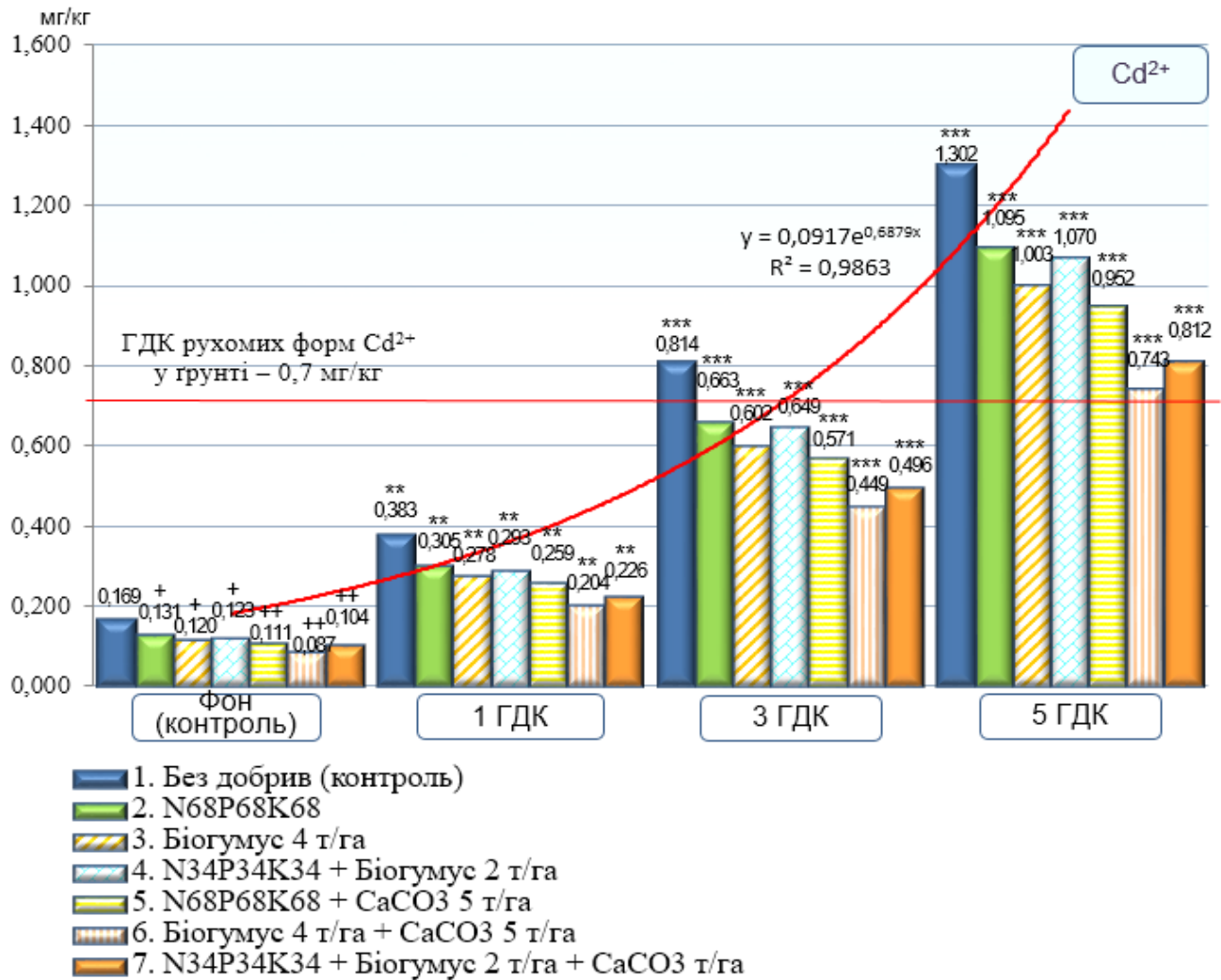


Рис. 4.5. Вплив добрив та меліорантів на концентрацію рухомих форм кадмію у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового, мг/кг сухого ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

Примітки: 1. + –  $p < 0,05$ ; ++ –  $p < 0,01$ ; +++ –  $p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні до контролю – 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.

Відзначимо, що за внесення добрив і меліорантів спостерігали загальну тенденцію, а саме із зменшенням рухомості ВМ (перехід елемента із валової форми

у рухому), зменшувалась відповідно і концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, натомість обернено пропорційно збільшувалась концентрація їх валових фракцій. Крім того, за внесення добрив і меліорантів рухомість свинцю у ґрунті була меншою, аніж кадмію (дод. Д табл. Д.3. та Д.4.).

Аналізуючи дані дод. Д табл. Д.3 відмітимо, що найменшу концентрацію рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті (0,087 та 0,104 мг/кг) та найменший перехід металу з валової форми у рухому (7,80 та 10,29%) і найнижчий коефіцієнт небезпеки (0,12 та 0,15) відзначали на контрольному фоні за внесення добрив та меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,01$ . Найбільшу концентрацію рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті (0,169 мг/кг сухого ґрунту), встановлено на контролі (без добрив) за коефіцієнта небезпеки 0,24. Отримані експериментальні дані свідчать про те, що за внесення кальцієвих меліорантів (вар. 5-7), концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті на всіх рівнях забруднення була меншою порівняно з контролем (без добрив) на 37,6 – 48,5%.

Із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті та його валових фракцій динамічно збільшувалася на всіх варіантах досліджу, а також збільшувався і перехід елемента з валової форми у рухому. Так, на природному фоні варіанті без добрив (контроль) перехід Cd з валової форми у рухому був найвищим і становив 24,84%. Із збільшенням рівнів змодельованого забруднення кадмієм від 1 до 5 ГДК на контролі (вар. 1) перехід елемента між фракціями валових і рухомих форм зріс від 27,2 до 40,7%.

За рівня забруднення ґрунту кадмієм 1 ГДК при внесенні добрив в нормі Біогумус 4 т/га (вар. 3) та  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 2 т/га (вар. 4) концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті становила 0,278 та 0,293 мг/кг, що менше за контроль (без добрив) на 0,090 та 0,105 мг/кг сухого ґрунту, або 23,5 та 27,4%. Перехід елемента з валової форми у рухому становив 18,07 та 20,06%, а коефіцієнт небезпеки складав 0,40 та 0,42. Застосування мінеральних добрив у повній нормі  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  (вар. 2) виявилось менш ефективним, порівняно з вищезгаданими варіантами, щодо

зменшення рухомості кадмію у ґрунті. Проте за використання добрив і меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub> та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub> концентрація рухомих форм кадмію у ґрунті була найменша, порівняно з усіма іншими варіантами модельного дослідження і становила 0,204 та 0,226 мг/кг сухого ґрунту.

Дослідженнями встановлено, що за рівня забруднення кадмієм 5 ГДК за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту, концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> у ґрунті була найменша 0,743 та 0,812 мг/кг, а порівняно до контролю (без добрив) вона зменшилася на 0,559 та 0,490 мг/кг сухого ґрунту, або 42,8 та 37,6% за вірогідної різниці до фону  $p < 0,001$ . При застосуванні вищезгаданих систем удобрення відзначали аналогічно і найменший перехід елемента з валової форми у рухому (16,88 та 19,53%), а також і найнижчий коефіцієнт небезпеки (1,05 та 1,16). Тоді, як за внесення повної норми мінеральних добрив N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> (вар. 2) концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> у ґрунті становила 0,952 мг/кг сухого ґрунту, перехід з валової форми у рухому складав 25,6%, а коефіцієнт небезпеки становив 1,37 (дод. Д табл. Д.3).

На основі результатів досліджень проведено кореляційний аналіз між концентрацією рухомих форм кадмію Cd<sup>2+</sup> у ґрунті та валовими фракціями цього елемента, рН<sub>сол</sub> ґрунту, гідролітичною кислотністю (Нг), ступенем насичення ґрунту основами (V), вмістом у ґрунті гумусу і кальцію. Також обчислено множинну кореляцію між усіма вищезгаданими агрохімічними параметрами щодо їх взаємовпливу один на одного, а дані висвітлено у матриці кореляційного аналізу (рис. 4.6).

Встановлено, що вищезгадані агрохімічні показники тісно корелювали між собою. Виявлено тісний від'ємний кореляційний зв'язок між концентрацією рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та вмістом валових форм кадмію ( $r = -0,9358$ ), вмістом кальцію ( $r = -0,8631$ ), рН<sub>сол</sub> ґрунту ( $r = -0,9083$ ), ступенем насичення ґрунту основами ( $r = -0,8999$ ), вмістом гумусу ( $r = -0,8084$ ), а також тісний позитивний кореляційний зв'язок із гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,8608$ ).

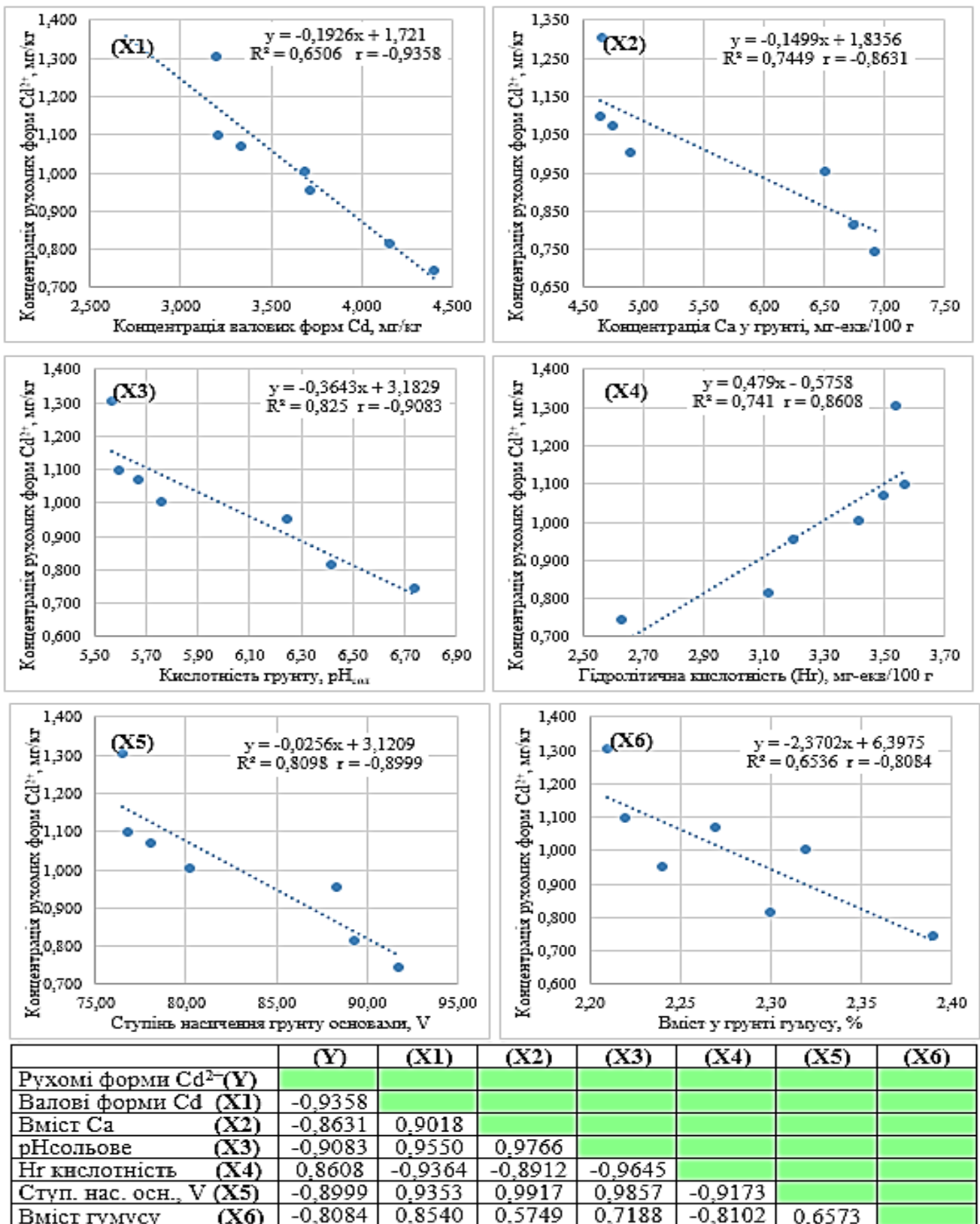


Рис. 4.6. Матриця кореляційного аналізу між концентрацією рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та агрохімічними показниками за вирощування буряка столового при змодельованому рівні забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК

Отримані результати свідчать, що на рухомість свинцю у ґрунті за вирощування буряка столового мали значний вплив внесені добрив та меліоранти, які сприяли зменшенню концентрації рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті на всіх рівнях змодельованого забруднення цим елементом на 17,6 – 51,7%, порівняно з контрольним варіантом – без добрив (рис. 4.7).

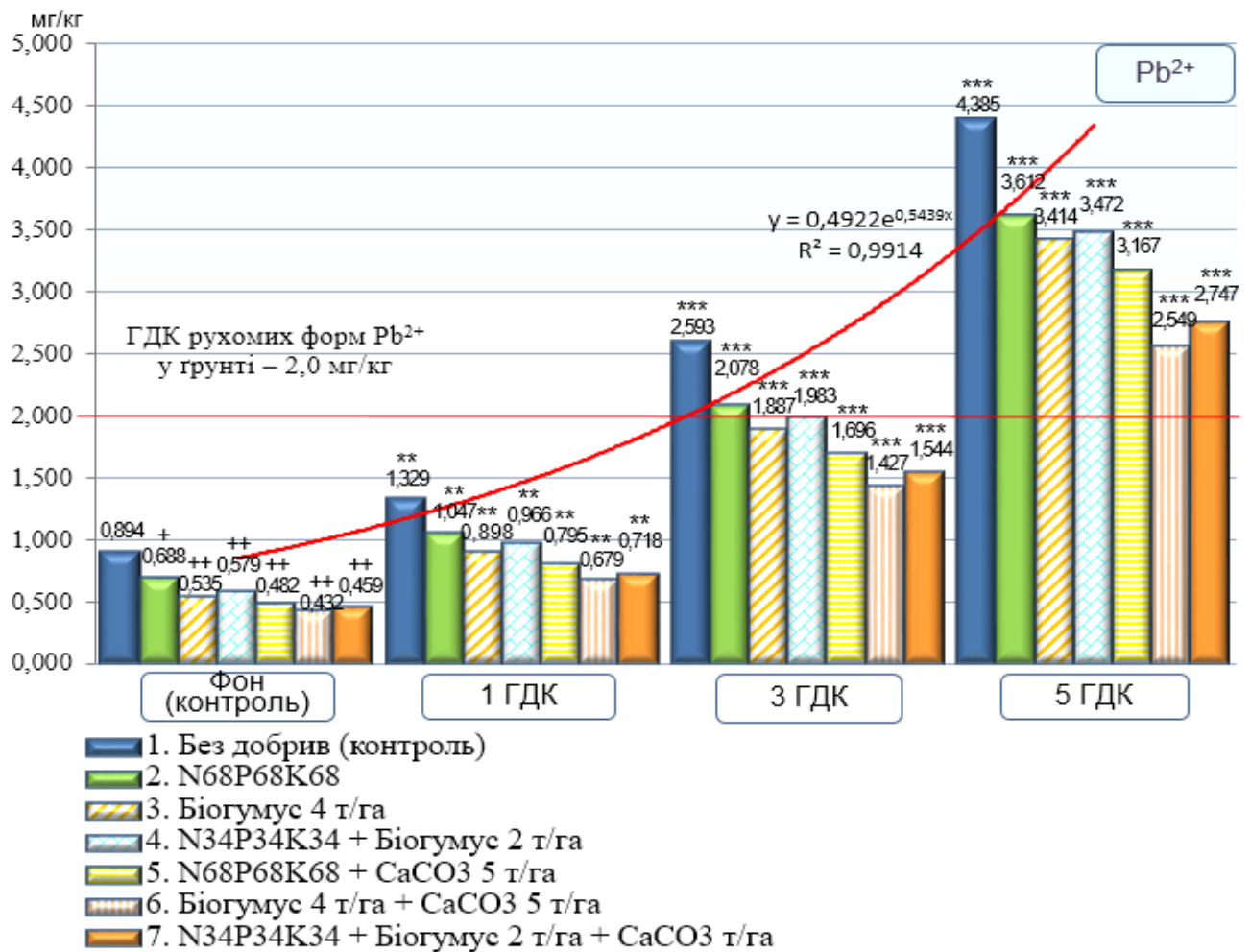


Рис. 4.7. Вплив добрив та меліорантів на концентрацію рухомих форм свинцю у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового, мг/кг сухого ґрунту (середнє за 2009–2011 рр.)

Примітки: 1. + –  $p < 0,05$ ; ++ –  $p < 0,01$ ; +++ –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна між показниками на фоні до контролю – 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.

Як видно з рис. 4.7 за використання на фоні органічної системи удобрення Біогумус 4 т/га (вар. 3) та органо-мінеральної  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га (вар. 4)



концентрація рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті зменшилася до контролю (без добрив) на 0,359 та 0,315 мг/кг, або на 40,1 та 35,2% за вірогідної різниці  $p < 0,01$  і становила 0,535 та 0,579 мг/кг. Проте найменші концентрації рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті (0,432–0,482 мг/кг), порівняно з усіма іншими варіантами досліду, відмічали на 5-7 вар. за внесення кальцієвих меліорантів в нормі 5 т/га  $CaCO_3$  за достовірної різниці до контролю  $p < 0,01$ . Найвищу концентрацію рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті (0,894 мг/кг) виявлено на фоні контрольного варіанту (без добрив)

Дослідженнями встановлено, що за рівня змодельованого забруднення ґрунту  $Pb$  3 ГДК на контролі (без добрив), спостерігали перевищення ГДК за рухомими формами  $Pb^{2+}$  у ґрунті на 0,593 мг/кг сухого ґрунту. Проте за рівня забруднення ґрунту  $Pb$  5 ГДК концентрація мобільних фракцій свинцю у ґрунті на всіх варіантах досліду перевищувала ГДК (2,0 мг/кг сухого ґрунту). Утім, закономірність впливу добрив і меліорантів на рухомість свинцю зберігалася.

Аналізуючи дод. Д табл. Д.4 відзначимо, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК концентрація рухомих та валових форм динамічно збільшувалася на всіх варіантах досліду, а також збільшувався перехід елемента з валової форми у рухому. Проте вагомий вплив на зменшення ступеня рухомості свинцю у ґрунті на кожному рівні змодельованого забруднення цим елементом мали внесені агрохімікати

За рівня змодельованого забруднення ґрунту  $Pb$  1 ГДК при застосуванні органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи удобрення на фоні вапнування ґрунту, концентрація рухомих катіонів  $Pb^{2+}$  у ґрунті була найменшою і становила 0,679 та 0,718 мг/кг сухого ґрунту, тоді як валових форм навпаки, найбільшою 21,84 та 19,15 мг/кг сухого ґрунту. Тобто, на цих варіантах ефективність детоксикації щодо рухомих форм  $Pb^{2+}$  проявлялась так само, як і на контрольному природному фоні.

Аналізуючи поведінку свинцю у ґрунті за рівня забруднення 5 ГДК слід відзначити, що концентрація його рухомих форм  $Pb^{2+}$  на всіх варіантах досліду перевищувала ГДК (2,0 мг/кг сухого ґрунту). Так, за використання мінеральних добрив в нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$  (вар. 2) концентрація мобільних катіонів  $Pb^{2+}$  у ґрунті

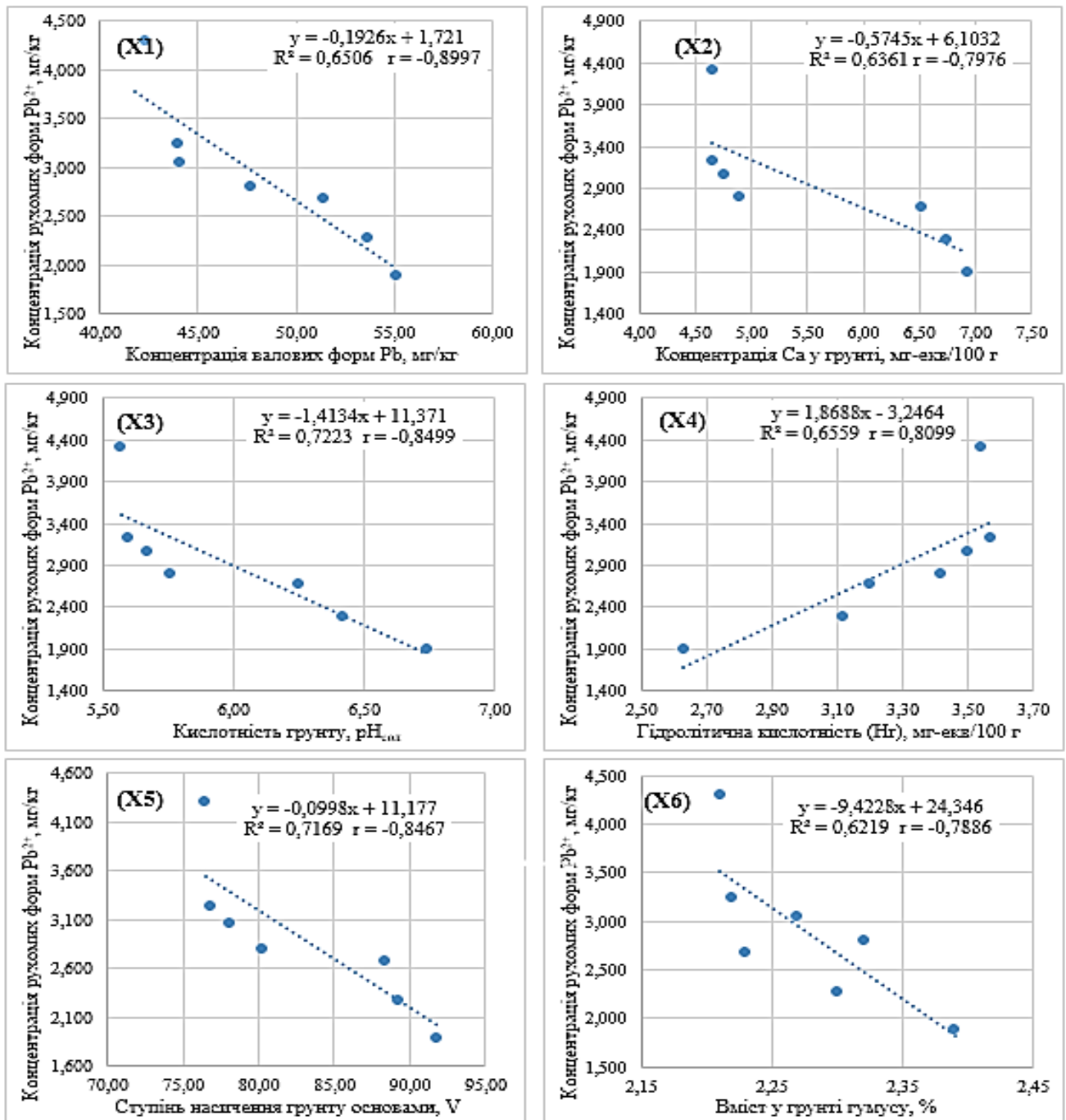
становила 3,612 мг/кг, а валових 39,05 мг/кг сухого ґрунту за коефіцієнта небезпеки 1,81. Меншу рухомість свинцю у ґрунті, відзначали за використання органічної (вар. 3) та органо-мінеральної (вар. 4) системи удобрення. Проте найменшу концентрацію рухомих фракцій свинцю у ґрунті (2,549 та 2,747 мг/кг сухого ґрунту) відзначали за вищезгаданими системами удобрення, але на фоні вапнування ґрунту (вар. 6 та вар. 7). На контрольному варіанті (без добрив) концентрація рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті була найбільша – 4,385 мг/кг сухого ґрунту з коефіцієнтом небезпеки 2,19, а перехід елемента з валової форми у рухому становив 11,75%.

На основі даних результатів досліджень, було проведено кореляційний аналіз між концентрацією рухомих форм свинцю  $Pb^{2+}$  у ґрунті та його валовими формами, рН сольової витяжки ґрунту, гідролітичною кислотністю (Нг), ступенем насичення ґрунту основами (V), вмістом у ґрунті гумусу і кальцію. Також було проведено множинну кореляцію між усіма вищезгаданими агрохімічними параметрами. Отримані дані подані у матриці множинної кореляції (рис. 4.8).

Аналіз отриманих результатів множинної кореляції свідчить про тісний від'ємний зв'язок між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті та вмістом валових форм свинцю ( $r = -0,8997$ ), вмістом кальцію ( $r = -0,7976$ ), рН<sub>сол</sub> ґрунту ( $r = -0,8499$ ), ступенем насичення ґрунту основами ( $r = -0,8467$ ), вмістом гумусу ( $r = -0,7886$ ), а також міцний позитивний кореляційний зв'язок із гідролітичною кислотністю ґрунту ( $r = 0,8099$ ).

Кореляційний аналіз підтвердив великий вплив агрохімічних показників на рухомість свинцю у ґрунті внаслідок застосування добрив та меліорантів. Окрім того, згадані агрохімічні параметри тісно корелювали один між одним, що видно із матриці кореляції.

Отже, на основі результатів досліджень можна зробити висновок, що застосування органічних і мінеральних добрив, а також кальцієвих меліорантів за вирощування буряка столового значно знижували рухомість кадмію свинцю на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цими металами.



	(Y)	(X1)	(X2)	(X3)	(X4)	(X5)	(X6)
Рухомі форми $Pb^{2+}$ (Y)							
Валові форми Pb (X1)	-0,8997						
Вміст Са (X2)	-0,7976	0,9627					
$pH_{sol}$ ове (X3)	-0,8499	0,9724	0,9766				
Hr кислотність (X4)	0,8099	-0,9077	-0,8912	-0,9645			
Ступ. нас. осн., V (X5)	-0,8467	0,9844	0,9917	0,9857	-0,9173		
Вміст гумусу (X6)	-0,7886	0,7020	0,5428	0,6927	-0,7899	0,6250	

Рис. 4.6. Матриця кореляційного аналізу між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  та агрохімічними показниками за вирощування буряка столового при змодельованому рівні забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК

Таким чином, перевищення ГДК за рухомими формами  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті на всіх варіантах дослідів відзначали лише на рівні змодельованого забруднення ґрунту 5 ГДК. Перехід  $\text{Pb}$  з валової форми у рухому був нижчий, аніж у досліді за змодельованого забруднення ґрунту  $\text{Cd}$ , що свідчить про меншу рухомість свинцю у ґрунті, аніж кадмію.

#### Висновок до розділу 4

На основі проведених експериментальних модельних дослідів встановлено, що на рухомість кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. впливали: ґрунтово-кліматичні умови року, норми внесення органічних і мінеральних добрив, вапнування ґрунту та рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Результати досліджень свідчать, що на всіх варіантах дослідів, де вносили добрива та меліоранти за вирощування капусти білоголової та буряка столового, концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті була меншою на 15 – 67%, порівняно з контрольним варіантом (без добрив). Проте із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту  $\text{Cd}$  та  $\text{Pb}$  від 1 до 5 ГДК спостерігали єдину тенденцію до зростання концентрації їх рухомих та валових форм у ґрунті на всіх варіантах за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05 - 0,001$ . Також відзначали меншу концентрацію рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  за вирощування капусти білоголової, аніж буряка столового, що пов'язано на нашу думку з різними нормами добрив, які застосовували під кожну культуру. Втім вплив добрив та меліорантів на рухомість кадмію та свинцю у ґрунті на різних варіантах проявлявся по-різному.

Так, застосування органо-мінеральної системи удобрення (вар. 3) виявилось більш ефективне у зв'язуванні рухомих фракцій  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, аніж використання тільки мінеральної системи удобрення (вар. 2). Але, за внесення органічної системи удобрення (вар. 4) рухомі форми ВМ ще більш міцніше закріплювалися ґрунтово-вбирним комплексом, порівняно з вищезгаданими варіантами. Проте на 5 – 7 вар., на яких додатково проводили вапнування ґрунту,

рухомість кадмію та свинцю була суттєво меншою, порівняно з усіма іншим варіантами модельних дослідів.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за рівня змодельованого забруднення Cd та Pb в 3 ГДК за вирощування капусти білоголової та буряка столового відмічали перевищення ГДК за рухомими формами (для Cd – 0,7 мг/кг, а Pb – 2,0 мг/кг сухого ґрунту) тільки на контролі (без добрив). Однак на рівні змодельованого забруднення Cd та Pb в 5 ГДК за вирощування буряка столового було встановлено перевищення ГДК рухомих форм у ґрунті на всіх варіантах дослідів. Що стосується поведінки ВМ у ґрунті за вирощування капусти білоголової за рівня забруднення 5 ГДК, то слід відмітити, що за використання добрив і меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub> (вар.6) та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub> (вар. 7) концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті була в межах ГДК.

Відзначимо, що за вирощування *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. на кожному рівні змодельованого забруднення спостерігали загальну тенденцію, а саме із зменшенням рухомості ВМ (перехід елемента із валової форми у рухому) зменшувалась відповідно і концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті і знижувалися їх коефіцієнти небезпеки, натомість збільшувалась концентрація їх валових фракцій у ґрунті, які переходили у більш стійкі та недоступні комплекси. Крім того, відзначали меншу рухомість свинцю у ґрунті, аніж кадмію.

На основі проведеної кореляційного аналізу встановлено тісний від'ємний лінійний зв'язок ( $r = 0,6-0,9$ ) між концентрацією рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті та вмістом їх валових форм, рН<sub>сол</sub> ґрунту, ступенем насичення ґрунту основами, вмістом гумусу та кальцію, а також позитивний тісний лінійний кореляційний зв'язок із гідролітичною кислотністю ґрунту, що свідчить про великий вплив вищезгаданих агрохімічних параметрів на поведінку ВМ у ґрунті за використання добрив та меліорантів. Крім того, вищезгадані агрохімічні показники також тісно корелювали між собою.

Отже, застосування органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) системи

удобрення на фоні вапнування ґрунту за вирощування капусти білоголової та буряка столового значно знизило рухомість катіонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цими ВМ, а відтак зменшило їх токсичний вплив на ґрунтову біоту та транслокацію в овочеві рослини, а в цілому підтвердило ефективність проведених заходів з хімічної детоксикації змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 4

222. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л., Мірошніченко М. М. Надходження важких металів до рослин та ефективність добрив на техногенно забруднених ґрунтах. *Вісник аграрної науки*. 1999. №2. С. 61–65.
223. Фатєєв А. І., Самохвалова В. Л. Детоксикація важких металів у ґрунтовій системі: методичні рекомендації. Харків: КП “Міськдрук”, 2012. 70 с.
224. Дидів А. І. Заходи щодо нейтралізації важких металів у ґрунтах агроландшафту і зменшення їх транслокації в овочеві рослини. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2011. № 15 (1). С. 393–396.
225. Биндич Т. Ю., Мурза І. Ф. Міграційні здібності важких металів при поліелементному складі забруднювачів. *Агрохімія і ґрунтознавство*. Спец. вип. до V з’їзду УТГА. ч. 4. Київ, 1998. С. 181–185.
226. Снитынский В. В., Дыдив А. И. Эффективность различной систем удобрения и мелиорантов на подвижность свинца в почве и его влияние на биохимический состав капусты белокочанной. *Овощеводство: сборник научных трудов*. Национальная академия наук Беларуси. 2016. Т. 24. С. 136–143.
227. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва: Гидрометеиздат, ЦИНАО, 1992. 61 с.
228. 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.
229. Патика В. П., Макаренко Н. А., Моклячук Л. І. Агроекологічна оцінка мінеральних добрив та пестицидів: монографія Київ: Основа, 2005. 300 с.
230. 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 Wrocławiu: seria rolnictwo*. 2017. CXXXII (625). Str. 87–98.
231. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив удобрення на рухомість іонів важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$ ) у ґрунті за вирощування буряка столового. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2013. №17 (3). С. 23–28.
232. Роева Н. Н., Ровинский Ф. Я., Кононова Э. Я. Специфические особенности поведения тяжелых металлов в различных природных средах. *Журнал аналит. химии*. 1996. Т. 51, № 4. С. 384-397.
233. Овчаренко М. М. Подвижность тяжелых металлов в почве и доступность их растениям. *Аграрная наука*. 1996. № 3. С. 39–41.
234. Попова А. А. Влияние минеральных и органических удобрений на состояние тяжелых металлов в почвах. *Агрохимия*. 1991. №3. С. 62–67.
235. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2011. 505 p.

## РОЗДІЛ 5

### ТРАНСЛОКАЦІЯ КАДМІЮ ТА СВИНЦЮ З ҐРУНТУ В РОСЛИНИ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО

#### 5.1. Нагромадження та розподіл кадмію і свинцю у рослинах капусти білоголової

Забруднення агрофітоценозів важкими металами внаслідок зростаючого антропогенного навантаження сьогодні є актуальним питанням, яке потребує детального вивчення та практичного вирішення. За поступового збільшення концентрації рухомих форм іонів ВМ в ґрунтовому середовищі спостерігається їх інтенсивне нагромадження та перерозподіл в тканинах рослин, включення в метаболічні процеси, які призводить до морфологічних та біохімічних змін, які виявляються в пригніченні росту і розвитку рослин, хлорозу листя, некрозів верхівок і країв листків, відмирання коренів тощо [249].

Однією з найпоширеніших овочевих рослин в Україні є капуста білоголова та буряк столовий, які входять до «борщового набору» [247]. Проте біологічна стійкість (толерантність) рослин, які належать до родини капустяних (*Brassicaceae*) та особливо лободових (*Chenopodiaceae*) до токсичної дії іонів важких металів є незначною, що зумовлено генетично [245]. З огляду на це перевищені рівні в 3-5 ГДК небезпечних рухомих форм  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$ , особливо на кислих, бідних на вміст гумусу і глини, легкого гранулометричного складу ґрунтах, знижують урожайність, а найважливіше – якість капусти білоголової та буряка столового [239, 254].

Стійкість рослин до підвищених концентрацій ВМ та їх здатність накопичувати високі концентрації забруднювачів можуть представляти велику небезпеку для здоров'я людей [237]. Знання про особливості розподілу ВМ в окремих органах і тканинах овочевих рослин дадуть змогу оцінити їх потенційну небезпеку та дозволять провести механічне видалення певних частини, які відзначаються підвищеними концентраціями забруднювачів [249].

Раціональне застосування органічних і мінеральних добрив, а також



кальцієвих меліорантів у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах дозволяє знизити фітотоксичний вплив важких металів на культурні рослини [253].

В результаті трирічних досліджень встановлено, що із збільшенням концентрацій внесених у ґрунт водних розчинів солей ВМ від 1 до 5 ГДК валових форм, збільшувалась і концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті на всіх варіантах, що позначилось на інтенсивнішому нагромадженню цих елементів рослинами капусти білоголової. Проте великий вплив на рухомість  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, а від так їх фітотоксичну дію на рослини капусти білоголової мали внесені добрива та меліоранти у різних нормах і співвідношеннях.

Нагромадження та перерозподіл йонів  $\text{Cd}^{2+}$  в різних органах рослин капусти білоголової представлено на рис. 5.1. та 5.2.

Встановлено, що найбільше кадмій концентрувався в підземній частині кореневої системи (0,235 мг/кг маси сирої речовини), оскільки корінь капусти білоголової є першим органом і біологічним бар'єром на шляху транспорту катіонів  $\text{Cd}^{2+}$  з ґрунту в рослини. У зовнішньому качані концентрація кадмію в 2,9 рази була меншою, порівняно з кореневою системою і складала 0,081 мг/кг. Зазначимо, що у внутрішньому качані головки концентрація Cd зменшилась лише на 18%, порівняно із зовнішнім качаном до 0,066 мг/кг. Привертає увагу той факт, що у розетці листя капусти білоголової також виявили підвищену концентрацію кадмію (0,054 мг/кг), порівняно із покривними листками головки (0,032 мг/кг). У внутрішніх листках капусти білоголової (їстівній частині головки) відзначали найменшу концентрацію кадмію – 0,017 мг/кг маси сирої речовини (рис. 5.2).

Аналіз отриманих результатів свідчить (дод. Е табл. Е.1) про певні тенденції та закономірності щодо нагромадження та розподілу йонів  $\text{Cd}^{2+}$  в рослинах капусти білоголової за внесення добрив і меліорантів на різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм.

Встановлено, що у зовнішньому качані концентрація кадмію в 3,92 – 4,76 рази була більшою, аніж у головці (їстівній частині). Однак із збільшенням рівня змодельованого забруднення ґрунту від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до зростання вмісту кадмію в головках капусти і зменшенням у зовнішньому качані.

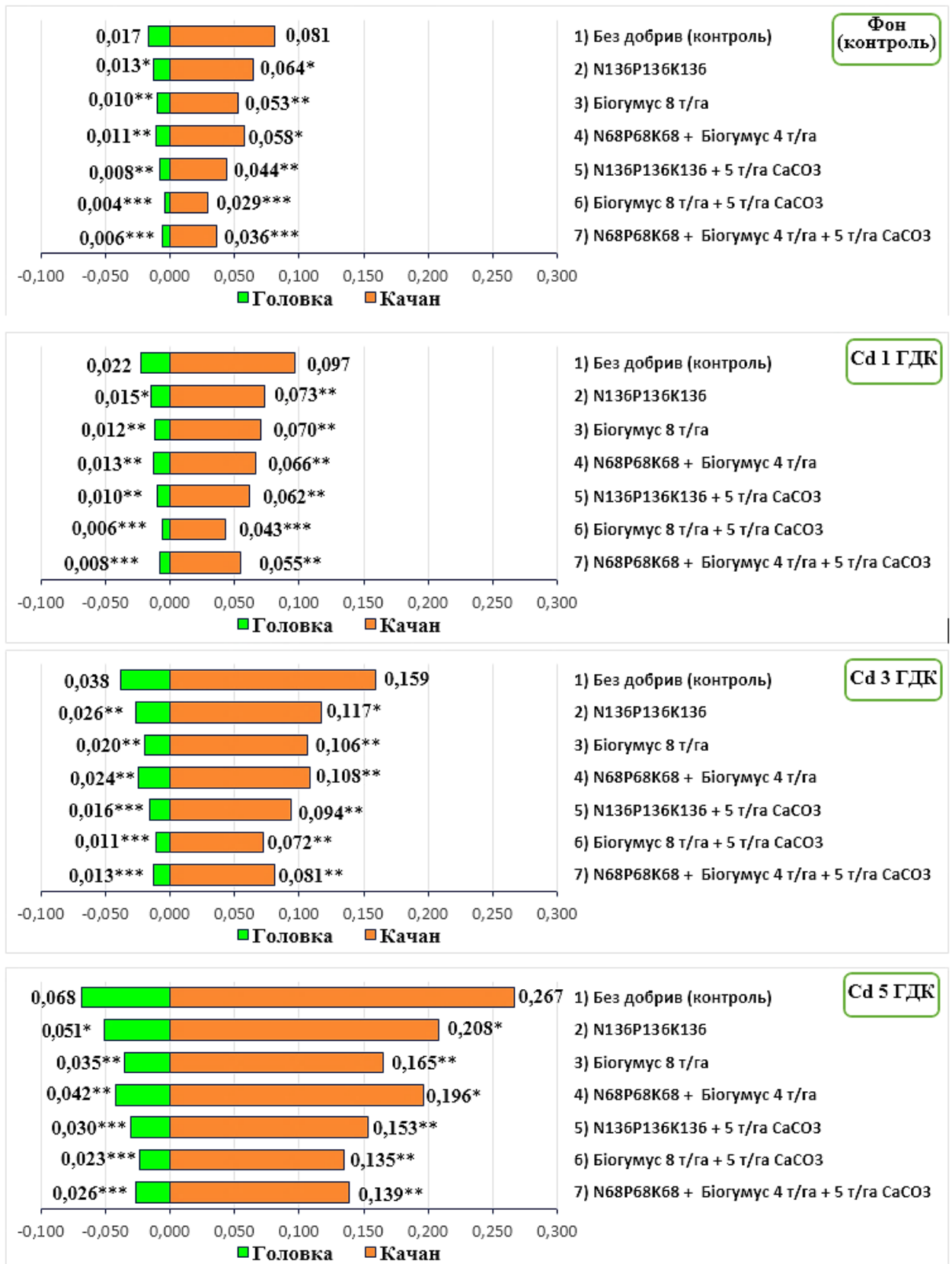


Рис. 5.1. Розподіл кадмію в рослинах капусти білоголової у фазі технічної стиглості залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (2009–2011 рр.) Примітка. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна до контролю (без добрив).

Визначено, що на контрольному фоні варіант (без добрив) концентрація кадмію у головках капусти становила 0,017 мг/кг (20,98%), а у зовнішньому качані 0,081 мг/кг (79,02%). Особливо помітно така тенденція відстежувалася на контролі (без добрив), але за рівня забруднення ґрунту 5 ГДК, на якому вміст кадмію в головках становила 0,068 мг/кг (25,46%), а у зовнішньому качані 0,267 мг/кг маси сирі речовини (74,54%).

Важливим показником якості капусти білоголової є коефіцієнт небезпеки (*К.н.*), котрий характеризує ступінь небезпечності забруднення важкими металами агропродукції і вираховується як співвідношення між концентрацією кадмію та свинцю у рослині до їх ГДК в овочах. Для оцінки можливості переходу рухомих форм ВМ із ґрунту у рослини використовували коефіцієнт біологічного поглинання (*К.б.п.*), який вираховується за відношенням концентрації важких металів в рослинній продукції до їх концентрації рухомих форм у ґрунті. Проте слід зазначити, що такий показник виявився менш інформативним і не показав очевидної закономірності між цим параметрами. Слід сказати, що із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту коефіцієнт небезпеки також динамічно збільшувався разом із зростанням концентрації рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті. Цей показник змінювався між варіантами на кожному рівні змодельованого забруднення та залежав від внесених добрив і меліорантів (дод. Е табл. Е. 1).

Отримані результати свідчать, що коренева система є вагомим бар'єром на шляху транслокації йонів кадмію у надземні продуктивні органи рослин капусти білоголової, оскільки саме підземній частині кореневої системи та у зовнішньому качані концентрація кадмію була в рази більша, аніж концентрація цього елемента в головках капусти. Так, на контрольному варіанті (без добрив) за рівня забруднення 1 ГДК (Cd) концентрація кадмію в головках капусти становила 0,022 мг/кг, а у зовнішньому качані 0,097 мг/кг маси сирі речовини, що майже в 4,4 рази більше, аніж у головці. Коефіцієнт небезпеки на цьому варіанті становив відповідно 0,73 (для головки) та 3,23 для зовнішнього качана. Виявлено, що на цьому ж рівні забруднення у вар. 6 за внесення органічних добрив та меліорантів в нормі Біогумус в нормі 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  концентрація кадмію в головках

капусти становила 0,006 мг/кг, а у зовнішньому качані 0,043 мг/кг маси сирі речовини за вірогідної різниці до контро  $p < 0,001$ . При тому коефіцієнт небезпеки для головки становив 0,20, а для зовнішнього качана – 1,43.

На рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 3 ГДК концентрація кадмію в головках капусти перевищила ГДК тільки на контрольному варіанті (без добрив), а коефіцієнт небезпеки становив 1,27. Найменшу концентрацію йонів  $\text{Cd}^{2+}$  в рослинах капусти (на цьому рівні забруднення) відзначали за внесення добрив і меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ , відповідно 0,011 та 0,013 мг/кг маси сирі речовини ( $p < 0,001$ ).

Добрива та меліоранти суттєво впливали на зниження транслокації йонів кадмію з ґрунту в рослини капусти білоголової. Так, за внесення нітроамофоски у повній нормі  $\text{N}_{136}\text{P}_{136}\text{K}_{136}$  (вар. 2) за рівня забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК концентрація йонів  $\text{Cd}^{2+}$  в головках капусти становила 0,051 мг/кг за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,05$ , а *К.н.* – 1,70. За внесення Біогумус 8 т/га (вар. 3) концентрація кадмію в головках становила 0,035 мг/кг сирі маси ( $p < 0,01$ ) при коефіцієнті небезпеки 1,17. Проте за внесення  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га (вар. 4) концентрація  $\text{Cd}^{2+}$  в головках становила 0,042 мг/кг ( $p < 0,01$ ), тоді як у зовнішньому качані – 0,196 мг/кг маси сирі речовини ( $p < 0,05$ ), при коефіцієнтах небезпеки – 1,40 (головка) та 6,53 (зовнішній качан).

Відзначимо, що такий агрозахід як вапнування ґрунту сприяв істотному зниженню рухомості кадмію у ґрунті, а відповідно і меншому нагромадженню цього елемента в рослинах капусти білоголової на 5, 6 і 7 варіантах дослідів на усіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту ВМ, порівняно з 2, 3 та 4 варіантами. Виявлено, що на контрольному варіанті (без добрив) концентрація кадмію в рослинах капусти білоголової була найбільшою на всіх рівнях змодельованого забруднення цим металом, порівняно з іншими варіантами дослідів.

Встановлено тісну кореляційну залежність ( $r = 0,96-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  у ґрунті та нагромадженням цього елемента в рослинах капусти білоголової на кожному рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (рис. 5.3).

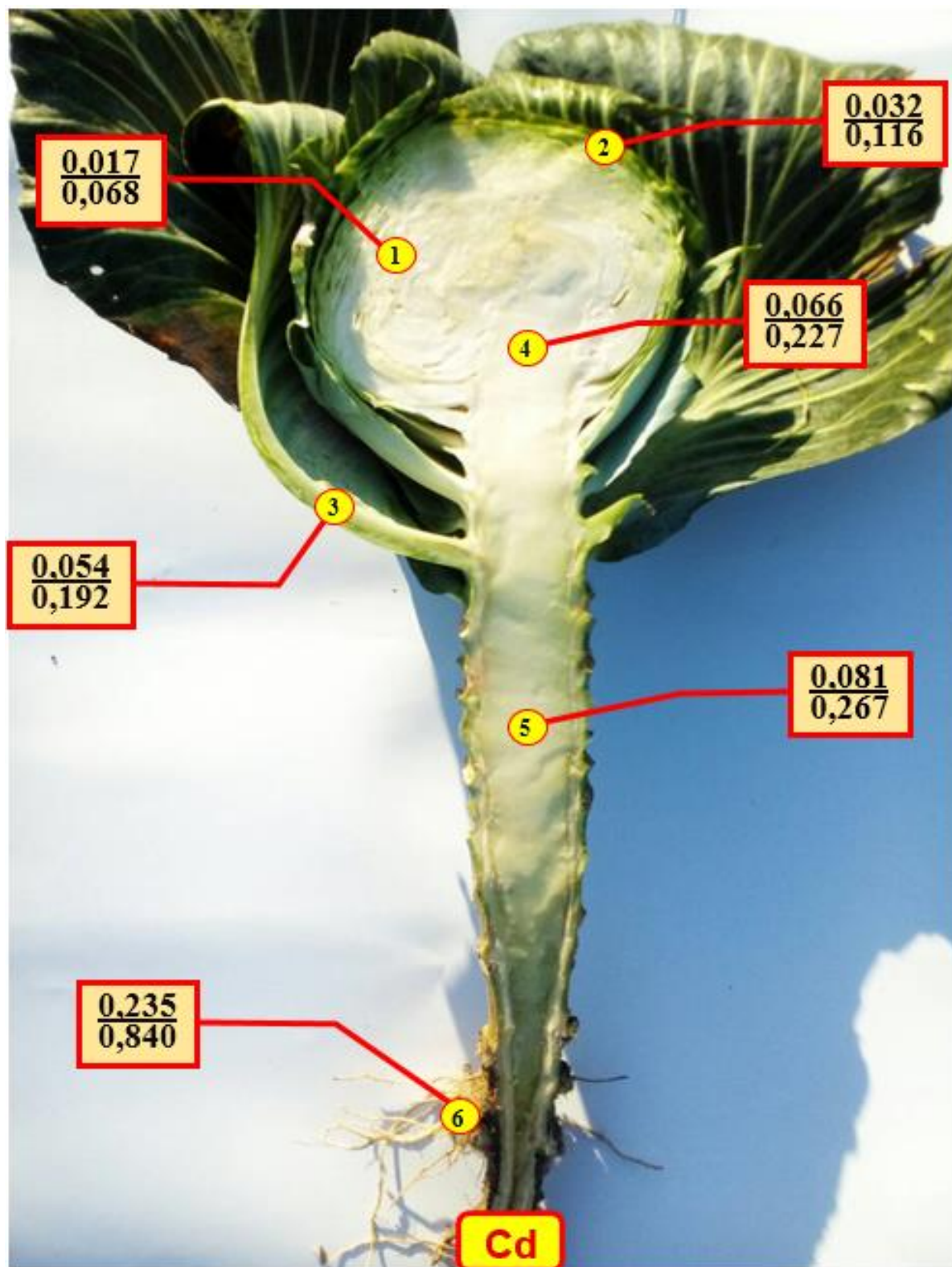


Рис. 5.2. Концентрація кадмію у різних органах капусти білоголової, мг/кг маси сирої речовини

Примітки: 1. Чисельник – фон (контроль), знаменник – рівень змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК; 2. (1) внутрішні листки, (2) покривні листки, (3) розетка листя, (4) внутрішній качан, (5) зовнішній качан, (6) коренева система.

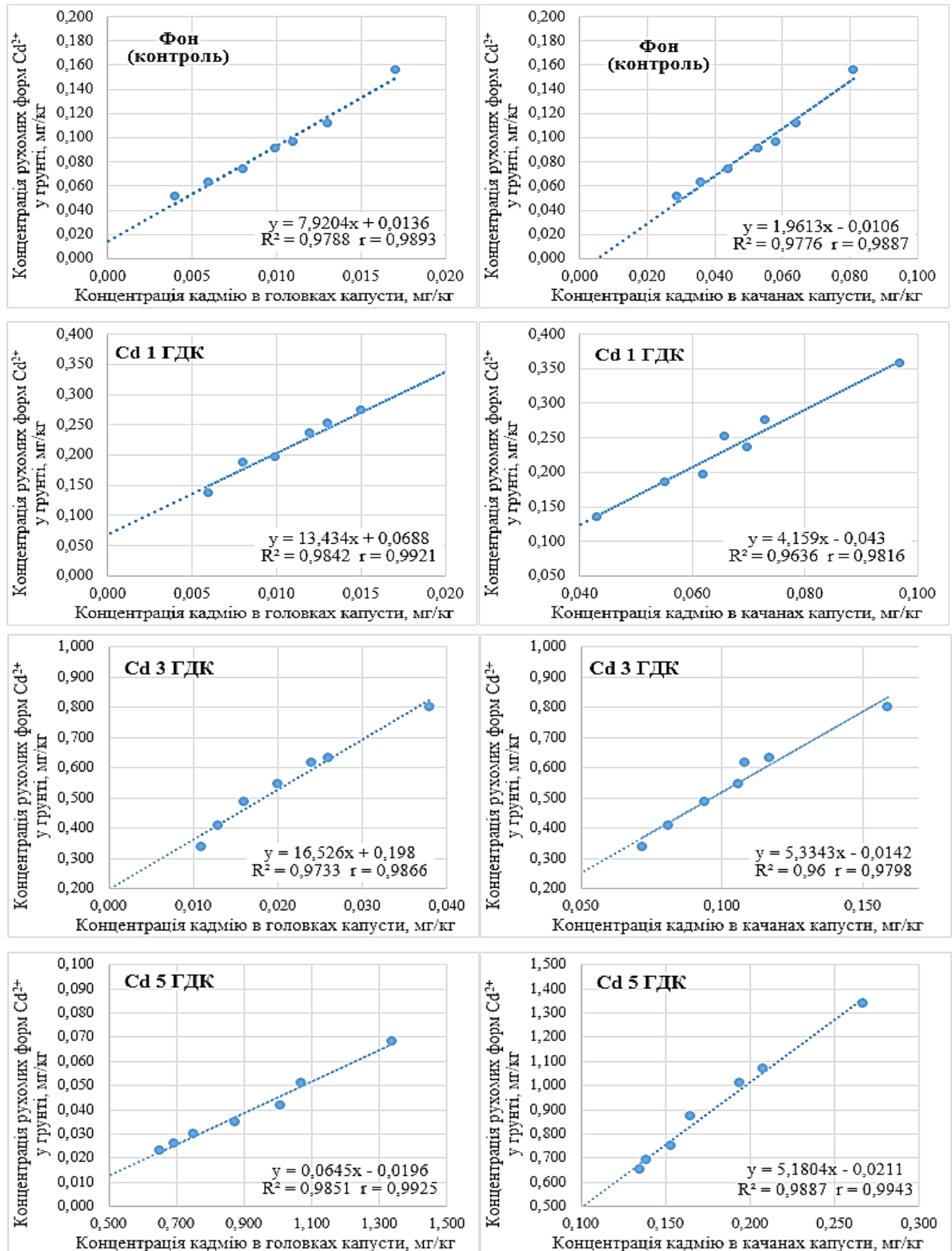


Рис. 5.3. Графік кореляційної залежності між концентрацією рухомих форм Cd<sup>2+</sup> у ґрунті та концентрацією кадмію в рослинах капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим металом за внесення добрив і меліорантів

Дослідженнями встановлено, що найбільше свинець концентрувався в підземній частині кореневої системи (12,19 мг/кг маси сирової речовини) за рівня змодельованого забруднення ґрунту 5 ГДК, адже коренева система є першим і основним біологічним бар'єром на шляху транслокації катіонів  $Pb^{2+}$  з ґрунту в рослини. Відзначимо, що свинець більше затримувався кореневою системою рослин капусти білоголової, ніж кадмій (рис. 5.4, 5.5).

Виявлено, що на природному фоні в контрольному варіанті (без добрив) у зовнішньому качані концентрація свинцю в 2,3 рази була меншою, порівняно з підземною кореневою системою і складала 1,946 мг/кг сирової маси. Зауважимо, що у внутрішньому качані головки концентрація йонів  $Pb^{2+}$  була меншою, порівняно із зовнішнім качаном на 24% і складала 1,475 мг/кг маси сирової речовини. У розетці листя капусти білоголової концентрацію свинцю становила 1,063 мг/кг, що більше на 0,604 мг/кг, або на 43%, аніж у покривних листках головки. Тоді як у внутрішніх листках капусти білоголової (продуктивній частині рослини) відзначали найменшу концентрацію свинцю – 0,238 мг/кг маси сирової речовини. Зазначимо, що співвідношення між концентрацією свинцю у головці та підземною частиною кореневої системи відрізнялося у 18,9 раз.

Результати досліджень свідчать, що за внесення добрив та меліорантів спостерігали певні тенденції та закономірності щодо нагромадження та розподілу йонів  $Pb^{2+}$  в рослинах капусти білоголової на різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту свинцем (дод. Е табл. Е. 2). Так, у зовнішньому качані концентрація свинцю була у 8,1 – 7,8 раз більшою, аніж у головці (їстівній частині). Однак із збільшенням рівня забруднення ґрунту від 1 до 5 ГДК спостерігали збільшення концентрації свинцю у головці. Встановлено, що на природному фоні у контрольному варіанті (без добрив) концентрація кадмію в головках капусти становила 0,238 мг/кг (12,23%), а у зовнішньому качані 1,946 мг/кг маси сирової речовини (87,76%).

Особливості нагромадження та розподілу свинцю в рослинах капусти білоголової залежать як від біологічних особливостей рослин так і від природи самого елемента, його здатності долати біологічні бар'єри.

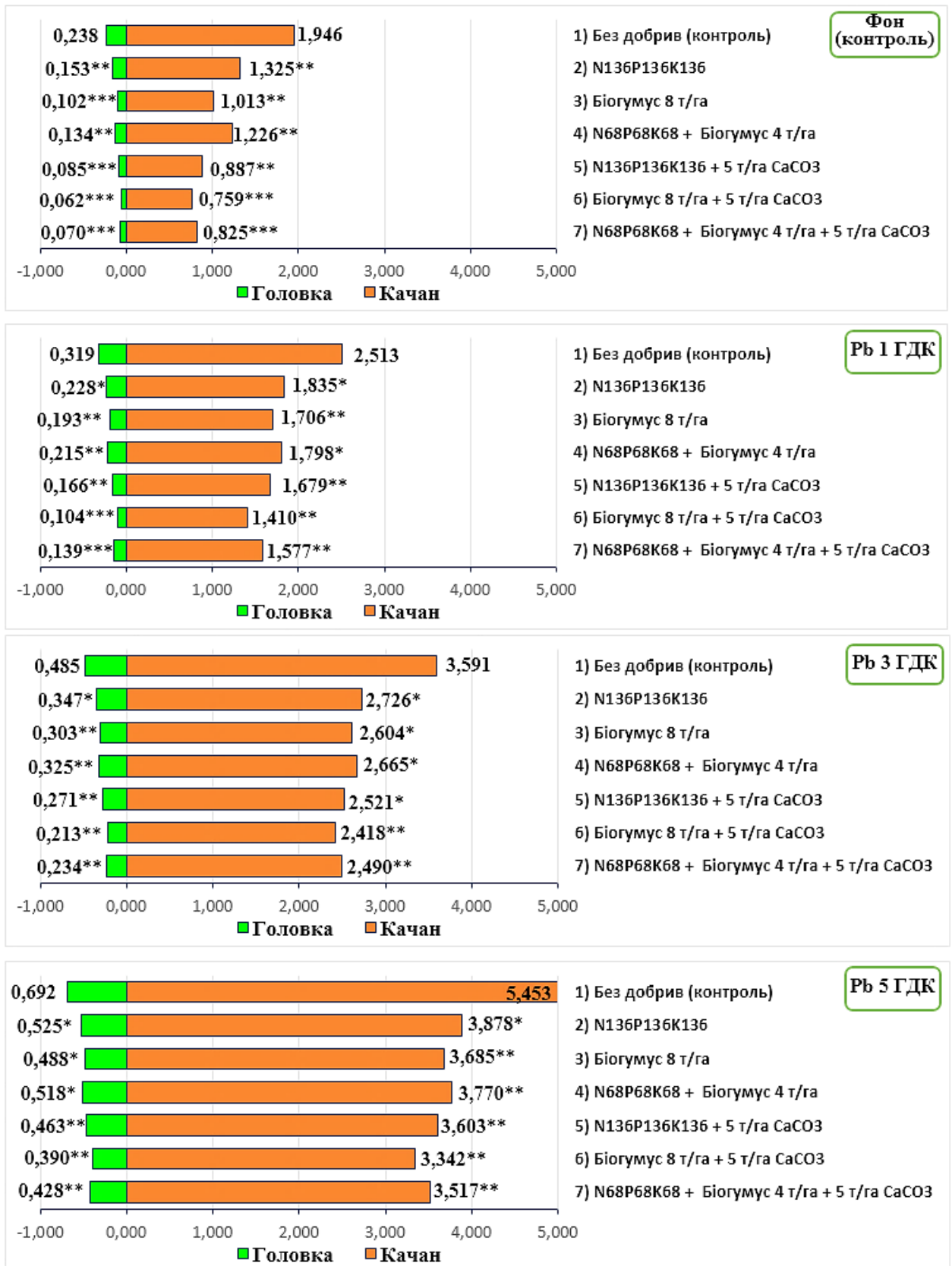


Рис. 5.4. Розподіл свинцю в рослинах капусти білоголової у фазі технічної стиглості залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (2009–2011 рр.)  
Примітка. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна до контролю (без добрив)



Аналізуючи дод. Е табл. Е. 2. слід зауважити, що коефіцієнт небезпеки (*К.н.*) зростав із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК. Що стосується коефіцієнту біологічно поглинання (*К.б.п.*), то тут виявлено цікаву тенденцію, а саме те, що він був найбільшим за рівня забруднення 1 ГДК (Pb) на всіх варіантах досліді. Однак із збільшенням градацій забруднення від 3 до 5 ГДК цей коефіцієнт знижувався. На нашу думку, така тенденція до зниження даного коефіцієнта пов'язаний із реакцією внутрішніх захисних механізмів рослин капусти білоголової до підвищеної концентрації рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті, а відповідно і збільшення концентрації свинцю у самій рослині.

Встановлено, що зі збільшенням рівня забруднення ґрунту свинцем від 1 до 5 ГДК зростала й концентрація рухомих форм  $Pb^{2+}$  цього металу у ґрунті, а відтак збільшувалась концентрація цього елементу в рослинах капусти білоголової на всіх варіантах (рис. 5.6). Проте добрива і меліоранти суттєво вплинули на зниження транслокації  $Pb^{2+}$  в рослини. Виявлено, що свинець більше нагромаджувався у зовнішньому качані, аніж у головці. Відзначали подібну тенденцію, за використання добрив і меліорантів, на зменшення нагромадження  $Pb^{2+}$  в рослинах капусти білоголової, як і на рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм.

Зазначимо, що на 5 – 7 варіантах досліді, де проводили вапнування ґрунту, нагромадження катіонів  $Pb^{2+}$  в рослини капусти білоголової на усіх рівнях забруднення були значно меншим, порівняно з іншими варіантами. Аналіз отриманих результатів свідчить, що застосування органічних і мінеральних добрив на фоні вапнування ґрунту в нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  (вар. 6) та  $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/г  $CaCO_3$  (вар. 7) на всіх рівнях змодельованого забруднення Pb сприяло мінімальній концентрації свинцю в рослинах капусти білоголової за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,01 - 0,001$ . Найбільшу концентрацію  $Pb^{2+}$  в головках капусти (0,692 мг/кг маси сирої маси) відзначали на контролі (без добрив) за рівня змодельованого забруднення ґрунту 5 ГДК.

Встановлено тісну кореляційну залежність ( $r = 0,81-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті та концентрацією свинцю в рослинах капусти білоголової на всіх рівнях змодельованих забруднення ґрунту (рис. 5.6).

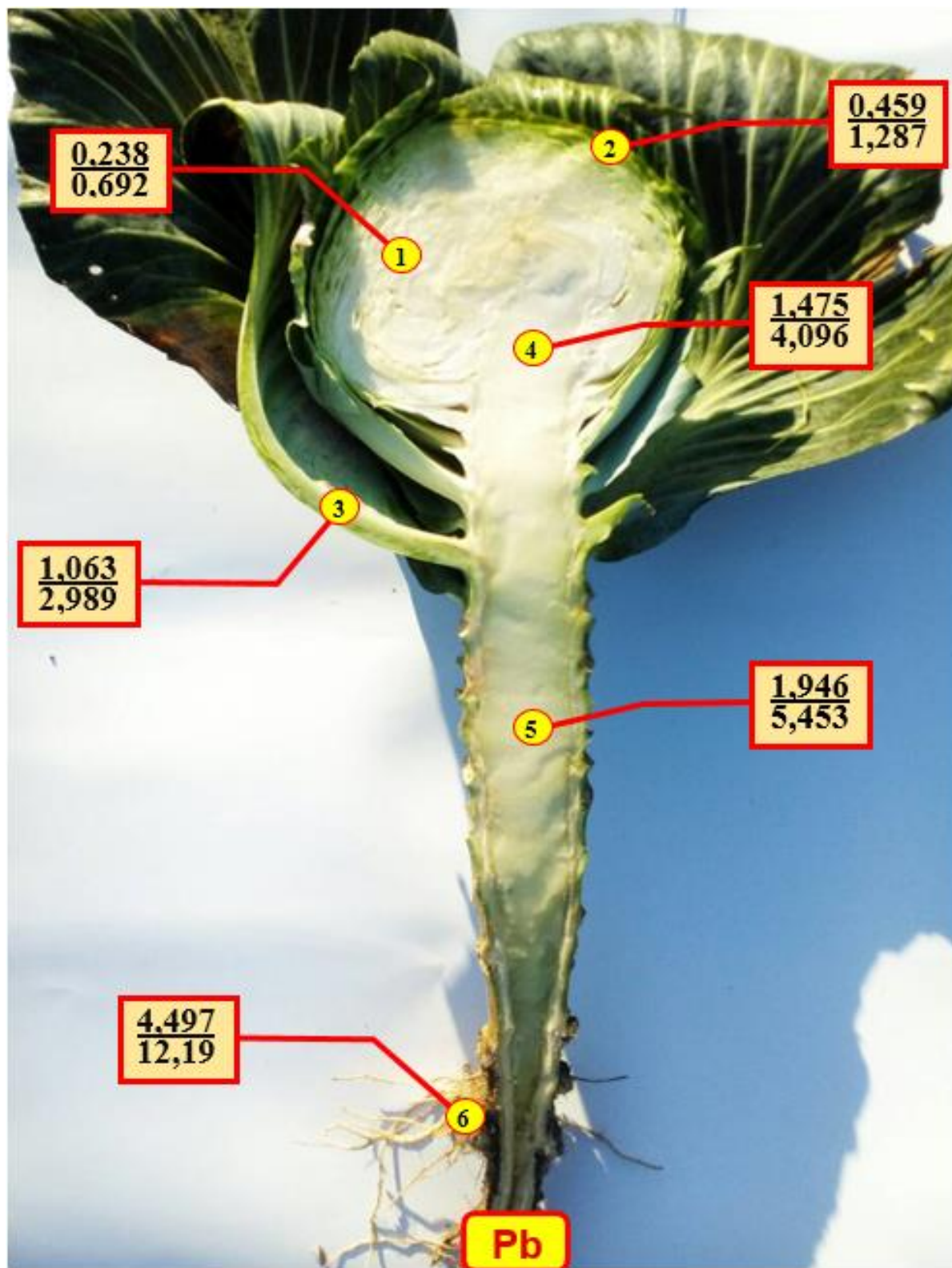


Рис. 5.5. Концентрація свинцю у різних органах капусти білоголової, мг/кг маси сирої речовини

Примітки: 1. Чисельник – фон (контроль), знаменник – рівень змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК; 2. (1) внутрішні листки, (2) покривні листки, (3) розетка листя, (4) внутрішній качан, (5) зовнішній качан, (6) коренева система.

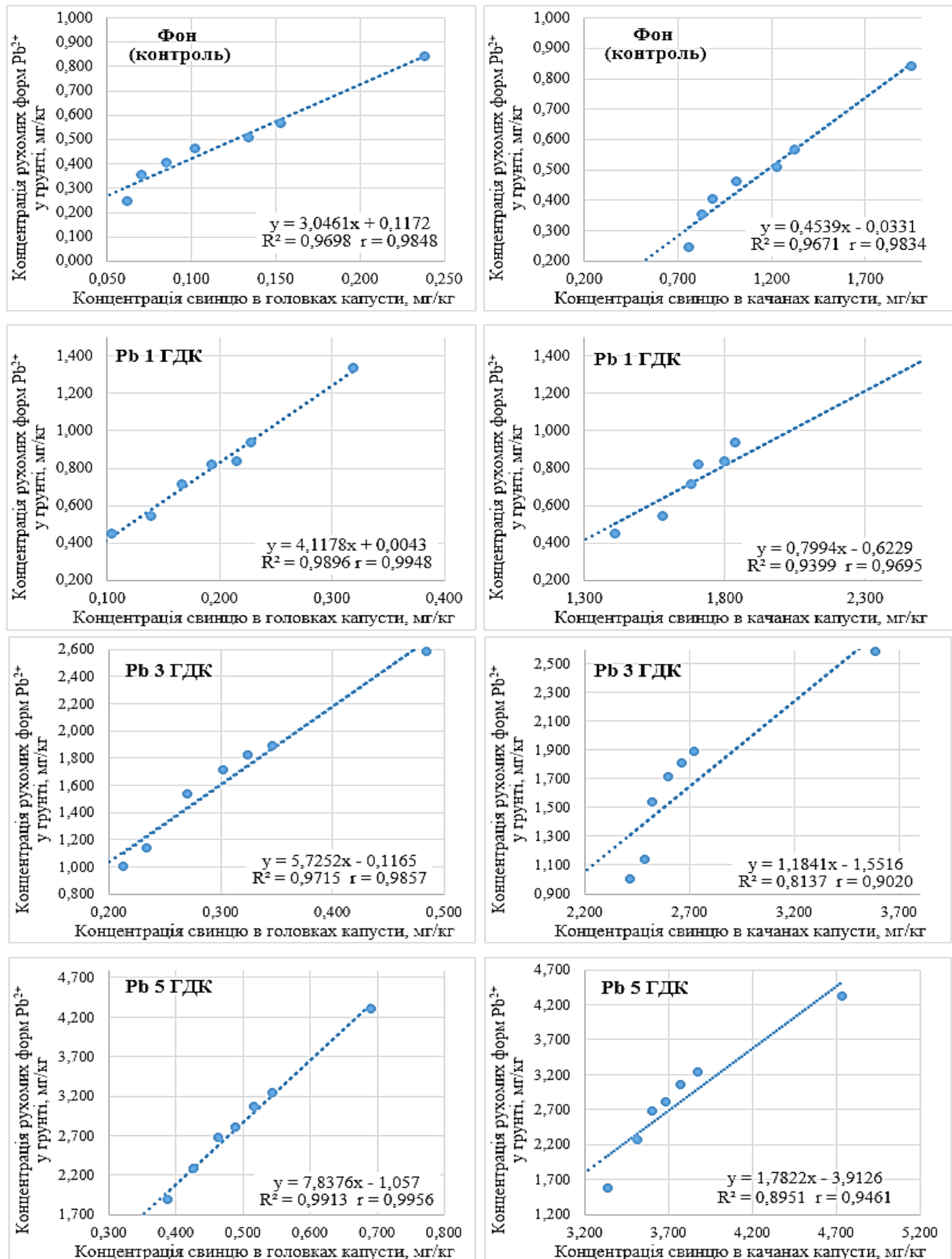


Рис. 5.6. Графік кореляційної залежності між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті та концентрацією свинцю в рослинах капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим металом за внесення добрив і меліорантів

Отже, нагромадження та розподіл йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в рослини капусти білоголової відбувався по-різному. Найбільше затримувалися ВМ в підземній частині кореневої системи, а у внутрішніх листках головки їх концентрація суттєво знижувалась. За внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення відзначали найменшу концентрацію йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  в рослинах капусти.

## **5.2. Фенологічна динаміка активності пероксидази у листках капусти білоголової як індикатор стресу в рослинах за дії йонів кадмію та свинцю**

Зміна в рослинах ферментативної активності у значній мірі залежить від підвищених концентрацій у фотосинтезувальних тканинах активних форм кисню (АФК), які продукуються у відповідь на біотичні та абіотичні стресові чинники, серед яких можливі водний дефіцит, засолення, низька або підвищена температура, дія гербіцидів, важких металів, радіації, інфекції патогенів [238, 251]. АФК реагують з білками, ліпідами, нуклеїновими кислотами, ушкоджуючи структури мембран та макромолекул, що негативно впливає на проходження фізіологічних процесів у рослинах та формування їх продуктивності [255].

Визначну роль у нейтралізації АФК відіграє антиоксидантна система, що представлена комплексом низькомолекулярних антиоксидантних сполук та ферментів, у тому числі таких як каталаза, пероксидаза, аскорбатоксидаза та поліфенолоксидаза. Так, каталаза нейтралізує негативну дію пероксиду водню шляхом розкладу до водню і кисню, пероксидаза – відновлює пероксид до води [242]. Стан антиоксидантної системи рослин та зміну її активності, як реакцію на стресові чинники, досліджували на різних сільськогосподарських культурах [241], проте зміни активності антиоксидантних ферментів у рослинах капусти білоголової за дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  є практично не вивченими.

Програмою досліджень передбачалось вивчити динаміку активності пероксидази у листках *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за основними фазами розвитку, як індикатора стресу в рослинах за дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  (рис. 5.7 та 5.8).

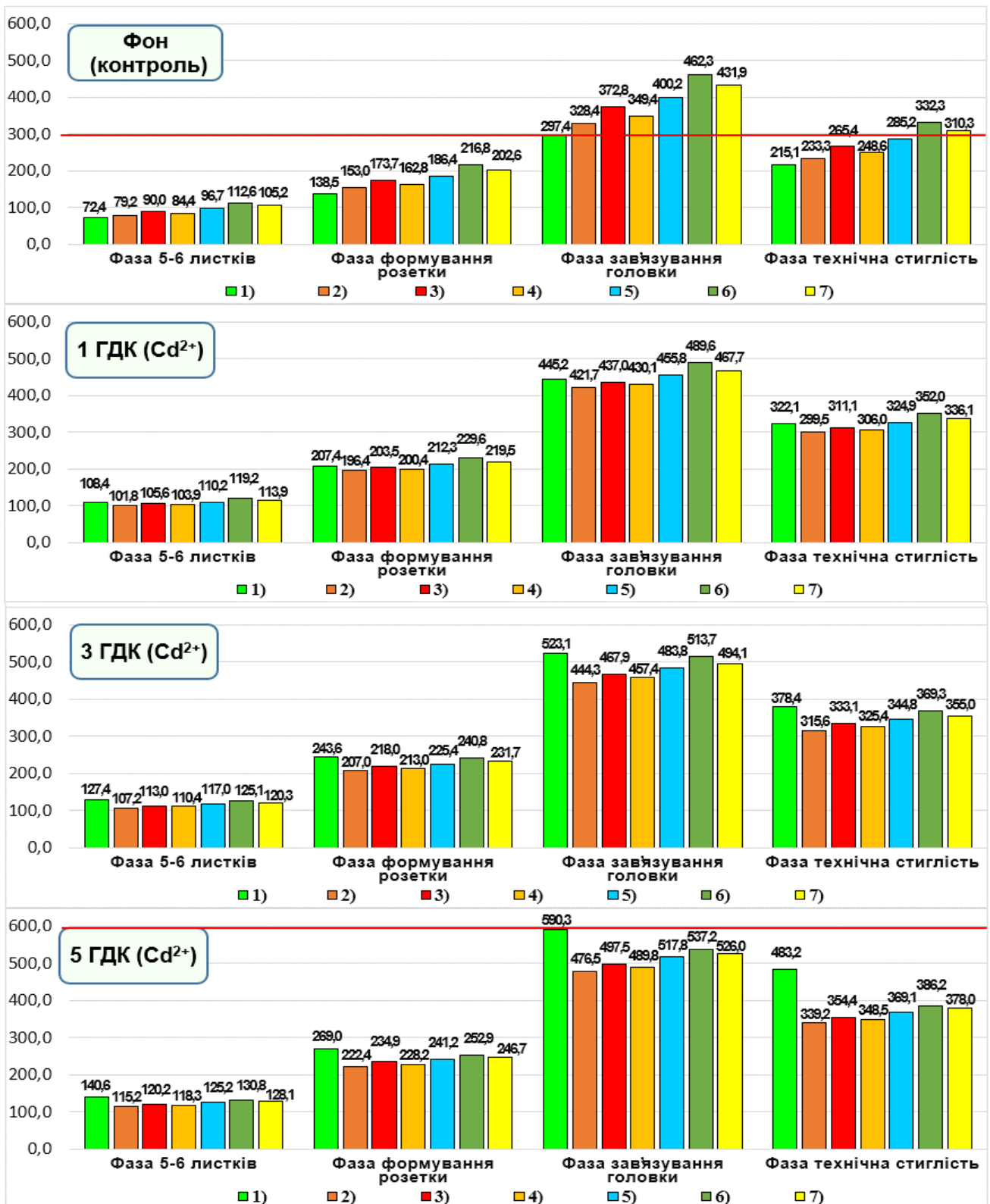


Рис. 5.7. Активність пероксидази в листках капусти білоголової за фазами розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирої маси за 1 хв (2009–2011 рр.)

Примітка: 1) Контроль (без добрив); 2) N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub>; 3) Біогумус 8 т/га; 4) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га; 5) N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 7) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>

Дослідженнями встановлено, що активність пероксидази в листках рослин *Brassica oleracea var. capitata* L. динамічно змінювалася впродовж вегетаційного періоду. Так, на природному фоні (варіант без добрив – контроль) на початках вегетації у фазі 5-6 листків активність пероксидази була найменшою і становила 72,41 ммоль/г сирої маси за 1 хв. У фазі формування розетки активність пероксидази зростає до 138,52 ммоль/г сирої маси за 1 хв. Найвищу активність пероксидази (297,36 ммоль/г сирої маси за 1 хв) відзначали у фазі зав'язування головки. Під кінець вегетації у фазі технічної стиглості активність пероксидази знизилась до 215,14 ммоль/г сирої маси за 1 хв. Визначено, що концентрації кадмію та свинцю у листках капусти також зростали впродовж вегетаційного періоду і була найбільшою у технічній стиглості (рис. 5.7, дод. Е табл. Е.3).

Отримані результати свідчать, що за внесення добрив і меліорантів на природному фоні відзначали підвищену активність пероксидази та нижчі концентрації кадмію і свинцю у листках капусти за фазами вегетації, порівняно з варіантом без добрив (контроль). Так, найбільшу її активність (462,3 та 431,9 ммоль/г сирої маси за 1 хв) виявили на фоні у фазі зав'язування головки за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub> та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>, при концентрації кадмію в листках 0,005 та 0,006 мг/кг маси сирої речовини. Проте за внесення тих самих норм добрив і меліорантів, але на рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК активність пероксидази зростає до 537,23 та 526,04 ммоль/г сирої маси за 1 хв, а концентрація кадмію в листках становила 0,020 та 0,022 мг/кг маси сирої речовини. Тоді як на контролі (без добрив) на цьому ж рівні змодельованого забруднення вона збільшилась до 594,32 ммоль/г сирої маси за 1 хв, а концентрація кадмію в листках становила 0,058 мг/кг маси сирої речовини.

Виявлено, що активність пероксидази зростала із збільшенням концентрації йонів Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у листках капусти білоголової на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем. Зауважимо, що фітотоксичність свинцю позначилась у більшій мірі на підвищеній активності пероксидази впродовж вегетації, аніж кадмію (рис. 5.8, дод. Е табл. Е.4).

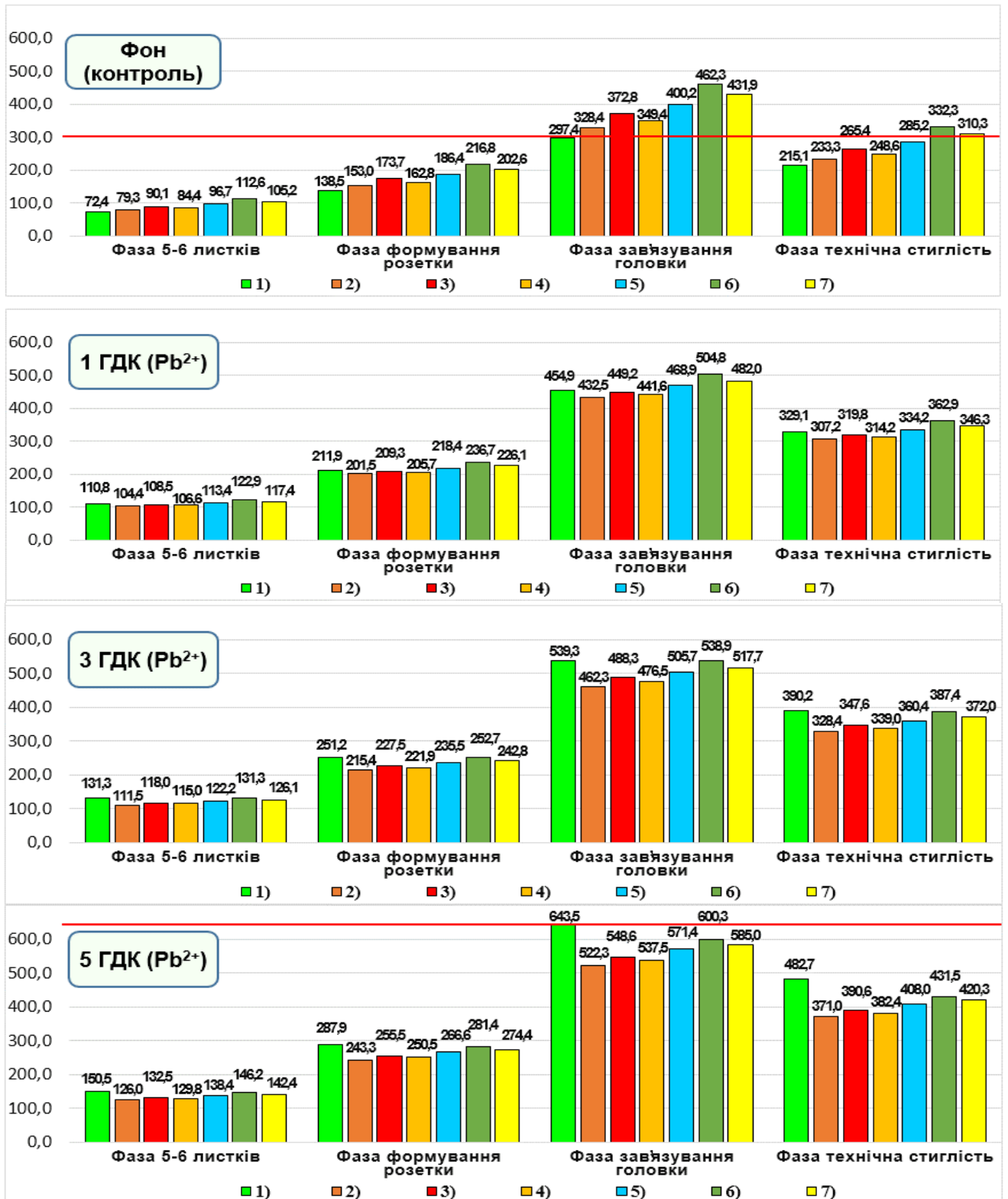


Рис. 5.8. Активність пероксидази в листках капусти білоголової за фазами розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирої маси за 1 хв (2009–2011 рр.)

Примітка: 1) Контроль (без добрив); 2) N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub>; 3) Біогумус 8 т/га; 4) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га; 5) N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 7) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>

Таким чином, із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, зростала і концентрація рухомих форм ВМ у ґрунті, відповідно посилилась транслокація йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у рослини, а це вплинуло на підвищення активності пероксидази в листках капусти, як внутрішньої захисної реакції антиоксидантної системи рослин до забруднювачів. Проте за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування фітотоксична дія йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  на рослини послабилась, а відповідно вони отримали значно менший стрес у процесі росту і розвитку.

## **5.2. Нагромадження та розподіл кадмію і свинцю у рослинах буряка столового**

Рослини здатні обмежувати надходження надлишкових йонів в надземні органи і особливо в органи відкладання асимілятів. Корінь є першим органом і біологічним бар'єром на шляху транспорту ВМ з ґрунту у рослину. В корені відбувається значна частина процесів “первинного транспорту” [248]. За більших рівнів забруднення інактивація токсикантів у ґрунтовому розчині стає неповною, і потік катіонів ВМ починає атакувати коріння в яке вони надходять в основному шляхом дифузії та пасивного трансферу [252]. Незначну частину йонів ВМ рослини переводять в неактивний стан ще до проникнення у коріння, де затримується їх певна частина (хелатують за допомогою кореневих виділень і адсорбують на зовнішній поверхні) [246]. Загальною закономірністю є розподіл ВМ у рослині таким чином, що максимальна кількість затримується у тканинах кореневої системи, мінімальна – проникає до генеративних органів [248]. Кореневі системи рослин містять більше ВМ, ніж надземні органи, але є і виключення, де більш рухомі ВМ, такі як  $\text{Cd}^{2+}$ ,  $\text{Hg}^{2+}$  і  $\text{Cu}^{2+}$  можуть накопичуватися у надземних органах рослин, зокрема у насінні [236].

Програмою досліджень передбачалось вивчити як проходить нагромадження та перерозподіл йонів  $\text{Cd}^{2+}$  в  $\text{Pb}^{2+}$  у органах рослин *Beta vulgaris* L. на різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем за використання добрив та кальцієвих меліорантів (рис. 5.9, 5.10).



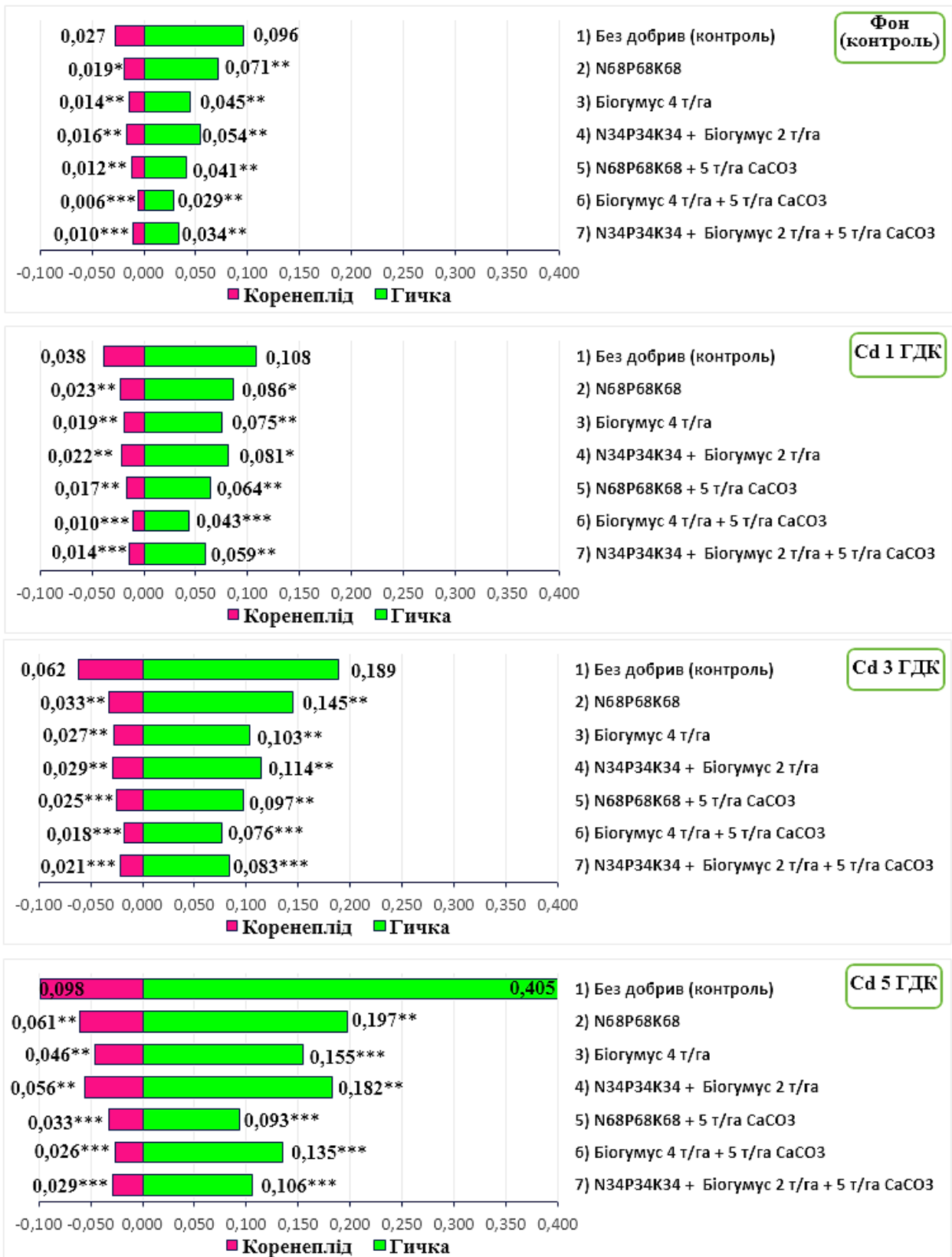


Рис. 5.9. Розподіл кадмію в рослинах буряка столового у фазі технічної стиглості залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (2009–2011 рр.)  
Примітка. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна до контролю (без добрив)

Встановлено, що фоні (контроль) найбільше кадмій нагромаджувався у підземній частині коренеплоду (хвостіку) – 0,324 мг/кг маси сирової речовини. У шкірці коренеплоду концентрація кадмію становила 0,058 мг/кг, у м'якуші коренеплоду – 0,028 мг/кг, тоді як у серцевині коренеплоду вона знизилась до 0,012 мг/кг маси сирової речовини. Проте у черешках листків концентрація кадмію знову збільшилась до 0,043 мг/кг, тоді як у листових пластинах вона ще більше зросла до 0,096 мг/кг маси сирової речовини. Таким чином, у листовій пластині концентрація  $Cd^{2+}$  в 3,5 рази була більша, ніж у м'якуші коренеплоду буряка столового (рис. 5.10).

В результаті трирічних досліджень встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм збільшувалась і концентрація рухомих форм  $Cd^{2+}$  у ґрунті на всіх варіантах, що позначилось на інтенсивнішому нагромадженню цих йонів у рослинах буряка столового (рис. 5.11). Проте значний вплив на рухомість  $Cd^{2+}$  у ґрунті, а від так їх накопичення в рослинах *Beta vulgaris* L. мали внесені добрива та меліоранти (дод. Е табл. Е.5).

Виявлено, що на рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 3 ГДК концентрація  $Cd^{2+}$  у коренеплодах буряка столового перевищувала ГДК на контрольному варіанті (без добрив), а коефіцієнт небезпеки становив 1,27. На цьому рівні змодельованого забруднення найменшу концентрацію йонів  $Cd^{2+}$  у рослинах буряка столового (0,018 та 0,021 мг/кг маси сирової речовини) відзначали за внесення добрив і меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  та  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,001$ , а коефіцієнт небезпеки становив відповідно 0,60 та 0,70.

За внесення мінеральних та органічних добрив у нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$  (вар. 2) та Біогумус 4 т/га (вар. 3) за рівня змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК концентрація йонів  $Cd^{2+}$  у коренеплодах становила 0,061 та 0,046 мг/кг маси сирової речовини, а *К.н.* становив відповідно 2,03 та 1,50 за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,01$ . Проте за внесення добрив і меліорантів в нормі  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га (вар. 6) концентрація  $Cd^{2+}$  в коренеплодах становила 0,026 мг/кг ( $p < 0,01$ ) за коефіцієнта небезпеки – 0,87.

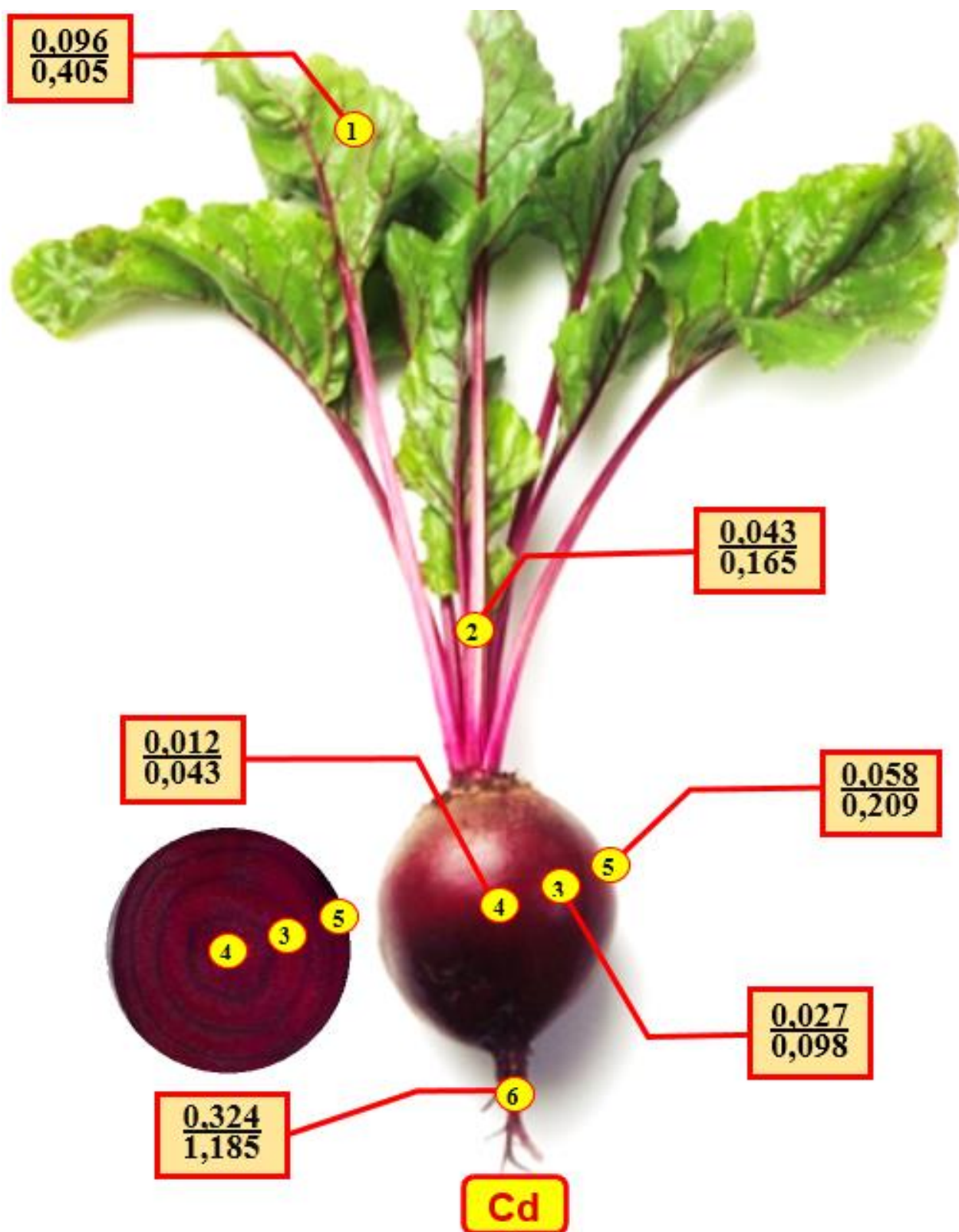


Рис. 5.10. Концентрація кадмію у різних органах буряка столового, мг/кг маси сирої речовини

Примітки: 1. Чисельник – фон (контроль), знаменник – рівень змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК; 2. (1) листкова пластина, (2) черешок, (3) м'якуш коренеплоду, (4) серцевина коренеплоду, (5) шкіра коренеплоду, (6) борозенка (хвостик)

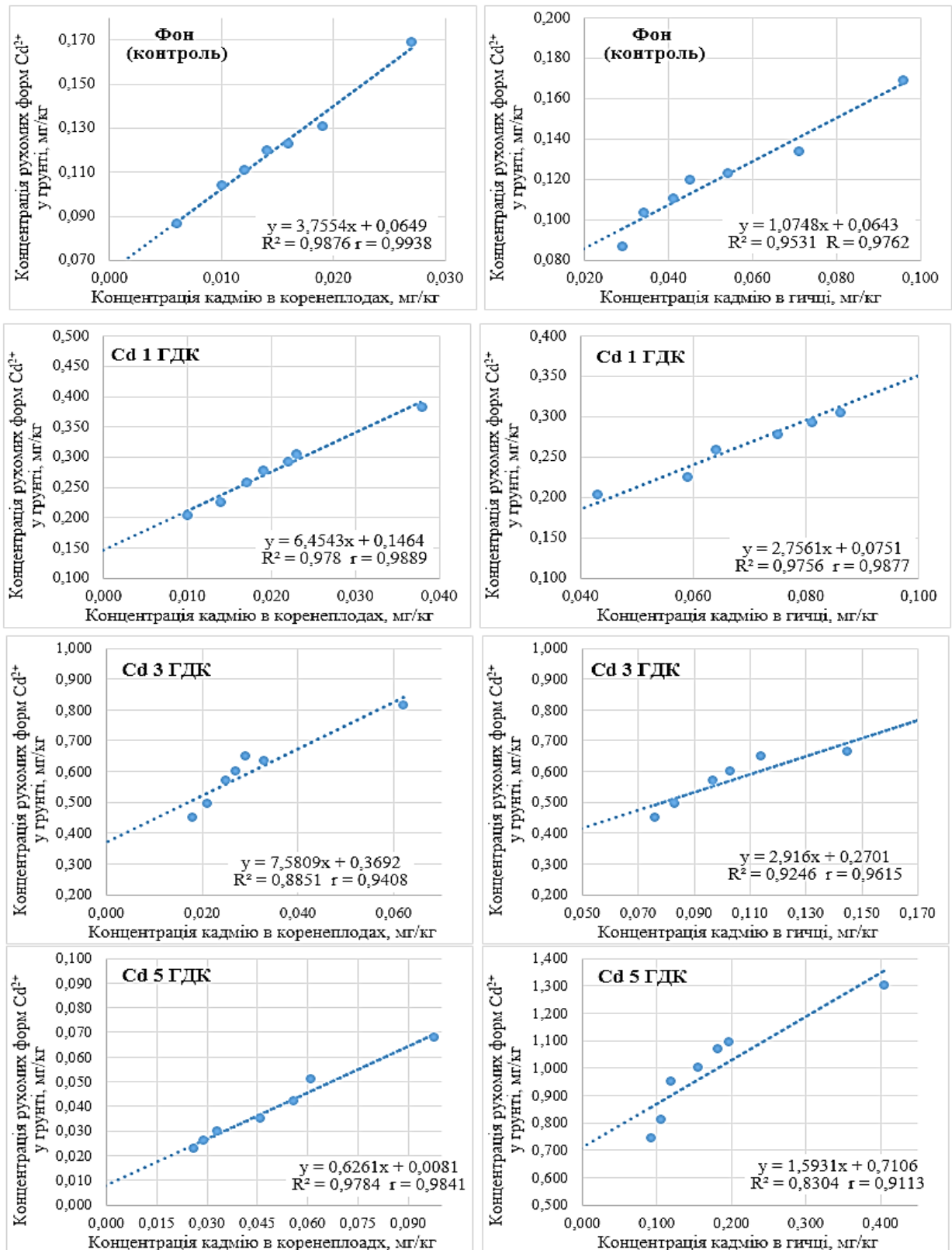


Рис. 5.11. Кореляційні зв'язки між концентрацією рухомих форм  $Cd^{2+}$  у ґрунті та нагромадженням елемента в рослинах буряка столового залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм за внесення добрив і меліорантів

На основі результатів проведеного кореляційного аналізу встановлено тісну кореляційну залежність ( $r = 0,91-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм  $Cd^{2+}$  у ґрунті та нагромадженням цього елемента в рослинах буряка столового на кожному рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм. Очевидно, що буряка столовий належить до рослин безбар'єрного типу щодо нагромадження йонів  $Cd^{2+}$  (рис. 5.11).

Отримані результати досліджень підтверджують, що найбільше свинець нагромаджувався у підземній частині коренеплоду (хвостик) – 1,465 мг/кг маси сирі речовини на фоні (контроль). У шкірці коренеплоду концентрація свинцю становила 0,733 мг/кг, у м'якуші коренеплоду – 0,517 мг/кг, тоді як у серцевині коренеплоду вона знизилась до 0,224 мг/кг маси сирі речовини. Проте у черешках листків концентрація йонів  $Pb^{2+}$  знову збільшилась до 0,448 мг/кг, тоді як у листових пластинах вона становила 0,327 мг/кг маси сирі речовини. Отже, у листовій пластині (гички) концентрація  $Pb^{2+}$  в 1,58 рази була меншою, аніж у м'якуші коренеплоду буряка столового (рис. 5.13).

За результатами трирічних досліджень встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем, збільшувалась і концентрація рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті на всіх варіантах, що позначилось на інтенсивнішому нагромадженню цих йонів у рослинах буряка столового. Крім цього, відзначали зміни у співвідношенні нагромадження свинцю між гичкою та коренеплодом. Як виявилось, свинець більше накопичувався у коренеплоді. (рис. 5.12). Проте значний вплив на рухомість йонів  $Pb^{2+}$  у ґрунті, а від так їх накопичення у рослинах *Beta vulgaris* L. мали внесені добрива та кальцієві меліоранти. (дод. Е табл. Е.5).

Виявлено, що нагромадження та розподіл свинцю в рослинах буряка столового залежать як від біологічних особливостей рослин, так і від природи самого елемента, зокрема, його здатності вступати у різноманітні комплекси та долати цілий ряд біологічних бар'єрів.

Зазначимо, що на 5 – 7 варіантах досліду, де проводили вапнування ґрунту, нагромадження катіонів  $Pb^{2+}$  в рослини буряка столового на усіх рівнях змодельованого забруднення були значно меншим, порівняно з іншими варіантами за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,001$ .

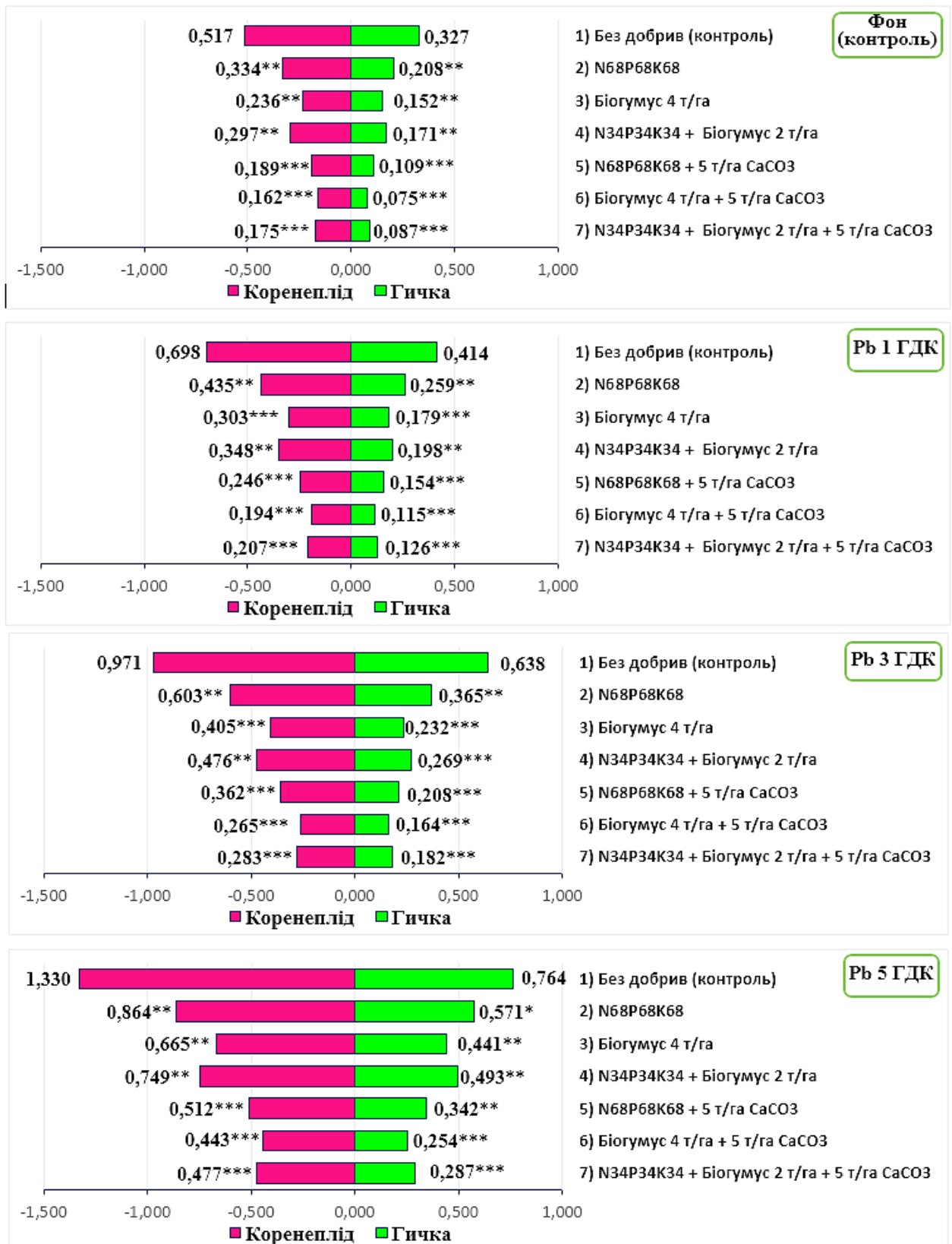


Рис. 5.12. Розподіл свинцю в рослинах буряка столового у фазі технічної стиглості залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (2009–2011 рр.) Примітка. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна до контролю (без добрив)

Встановлено, що на природному фоні за внесення добрив і меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га (вар. 6) та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га (вар. 7) відзначали найменшу концентрацію Pb<sup>2+</sup> у коренеплодах (0,162 та 0,175 мг/кг) та гичці (0,075 та 0,087 мг/кг маси сирової речовини) порівняно з іншими варіантами експерименту за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,001$ . Коефіцієнт небезпеки для коренеплодів становив відповідно 0,32 та 0,35, а для гички – 0,15 та 0,17. Найбільша концентрація свинцю у коренеплодах та гичці рослин *Beta vulgaris* L. була на контрольному варіанті (0,517 та 0,327 мг/кг маси сирової речовини) при коефіцієнті небезпеки – 1,03 та 0,65.

Особливу увагу привертає той факт, що за рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК за внесення тих самих норм добрив і кальцієвих меліорантів (вар. 6, 7), виявлено також найменшу концентрацію Pb<sup>2+</sup> у коренеплодах буряка столового (0,443 та 0,477 мг/кг маси сирової речовини) та гичці (0,254 та 0,287 мг/кг маси сирової речовини), порівняно з іншими варіантами модельного експерименту за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,001$ . Із збільшенням концентрації свинцю у рослинах, збільшився і коефіцієнт небезпеки, який для коренеплодів становив відповідно 0,86 та 0,95, а для гички – 0,51 та 0,57. Визначено, що на контролі (без добрив) концентрація свинцю у гичці та коренеплодах була найбільшою у цілому модельному досліді (1,330 та 0,764 мг/кг маси сирової речовини), а коефіцієнт небезпеки становив відповідно 2,66 та 1,53 (дод. Е табл. Е6).

На основі результатів кореляційного аналізу встановлено тісну кореляційну залежність ( $r = 0,95-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм Pb<sup>2+</sup> у ґрунті та нагромадженням цього елемента в рослинах буряка столового на кожному рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем. Отже, можна припустити, що буряк столовий належить до рослин безбар'єрного типу та здатний інтенсивно нагромаджувати йони Pb<sup>2+</sup> (рис. 5.14).

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за використання органічної системи удобрення на фоні вапнування (вар. 6) концентрація Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> зменшилась у коренеплодах у 4,5-3,2 раза, або на 77,7-68,1% за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,001$ .

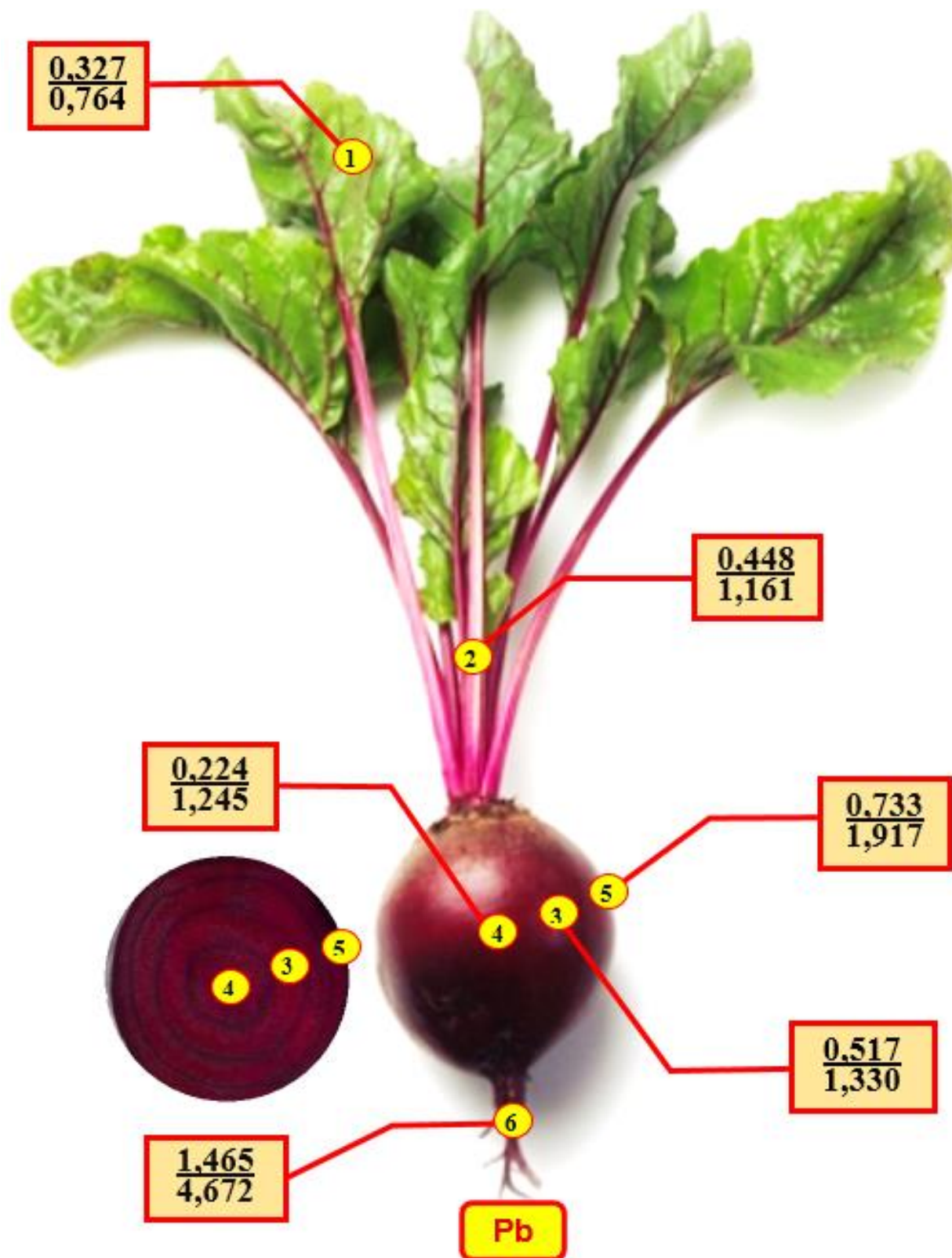


Рис. 5.13. Концентрація свинцю у різних органах буряка столового, мг/кг маси сирої речовини

Примітки: 1. Чисельник – фон (контроль), знаменник – рівень змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК; 2. (1) листкова пластина, (2) черешок, (3) м'якуш коренеплоду, (4) серцевина коренеплоду, (5) шкіра коренеплоду, (6) борозенка (хвостик).



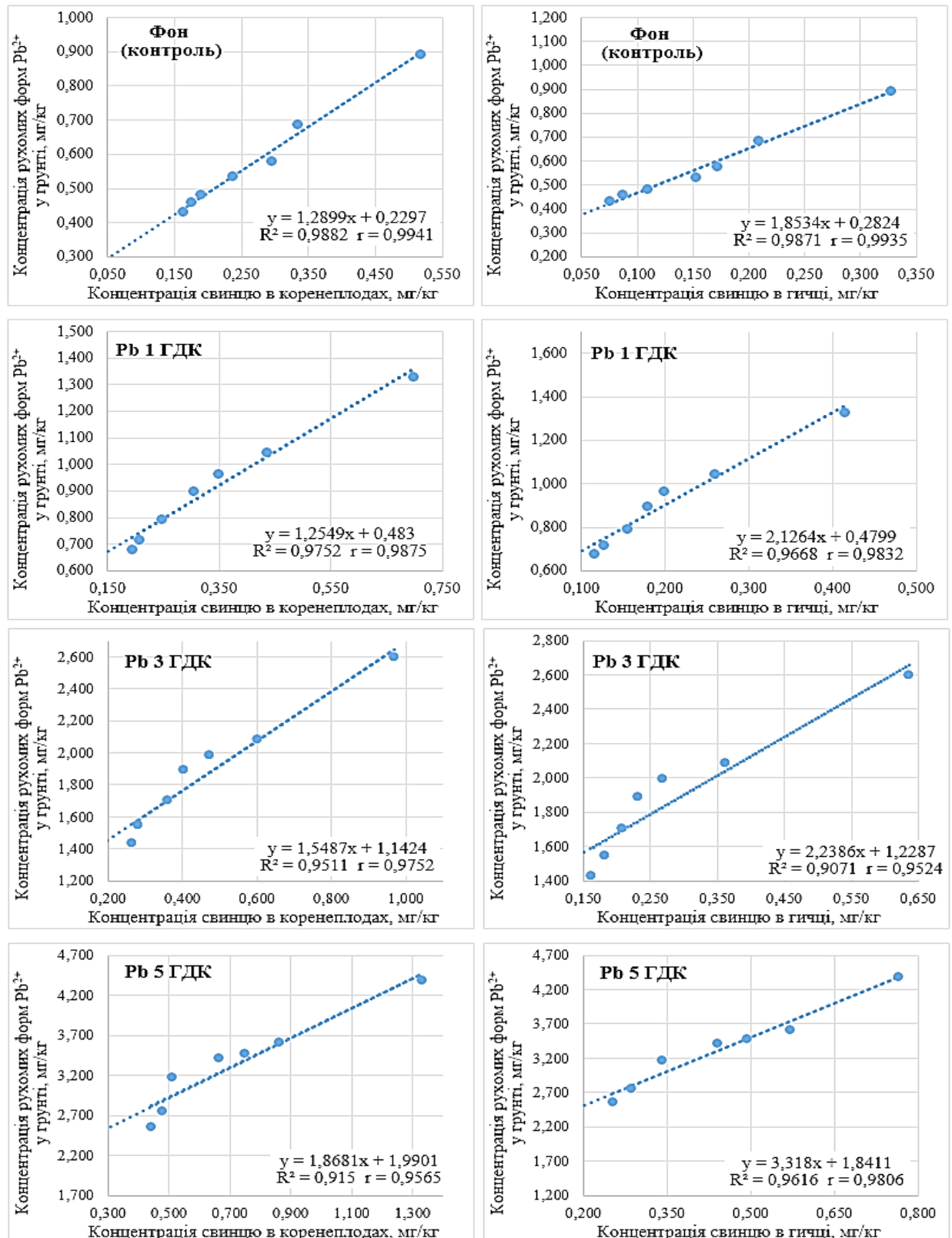


Рис. 5.14. Кореляційні зв'язки між концентрацією рухомих форм  $Pb^{2+}$  у ґрунті та нагромадженням елемента в рослинах буряка столового залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем за внесення добрив і меліорантів

З'ясовано, що на фоні у рослинах *Beta vulgaris* L. найбільше кадмій та свинець нагромаджувалися у підземній частині коренеплоду (хвостіку), відповідно 0,324 та 1,465 мг/кг. У м'якуші коренеплоду концентрація  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  становила 0,027 та 0,517 мг/кг. В листовій пластині концентрація  $\text{Cd}^{2+}$  була в 3,5 рази більша, аніж в м'якуші коренеплоду, тоді як  $\text{Pb}^{2+}$ , навпаки в 1,58 рази менша.

Встановлено, що за внесення добрив та меліорантів спостерігали певні тенденції та закономірності щодо нагромадження та розподілу йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  в рослинах буряка столового на різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем. Однак слід сказати, що за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення відзначали найменшу концентрацію йонів  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  в рослинах буряка столового. Така закономірність відслідковувалась на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

#### **5.4. Фенологічна динаміка активності пероксидази у листках буряка столового як індикатор стресу в рослинах за дії йонів кадмію та свинцю**

Пероксидаза – фермент, який в першу чергу реагує на різні негативні впливи і виконує знешкоджувальну функцію щодо токсичних перекисних сполук та відіграє важливу роль в стійкості рослин [240].

Пероксидаза має підвищену чутливість до зовнішніх впливів. Часто її розглядають як стресовий фермент [250]. Такі властивості пероксидази дозволяють використовувати її як маркер стресових станів рослин. Була показана можливість використання пероксидази для виявлення активації захисних механізмів рослин [243, 244]. За зміною активності пероксидази можна судити про абіотичні стреси в агроєкосистемах, які зазнають промислового забруднення [241, 255].

Програмою досліджень передбачалось дослідити фенологічну динаміку активності пероксидази в листках *Beta vulgaris* L. за дії йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$ , а також виявити вплив добрив та меліорантів на адаптаційні властивості рослин буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (рис. 5.15, 5.16).

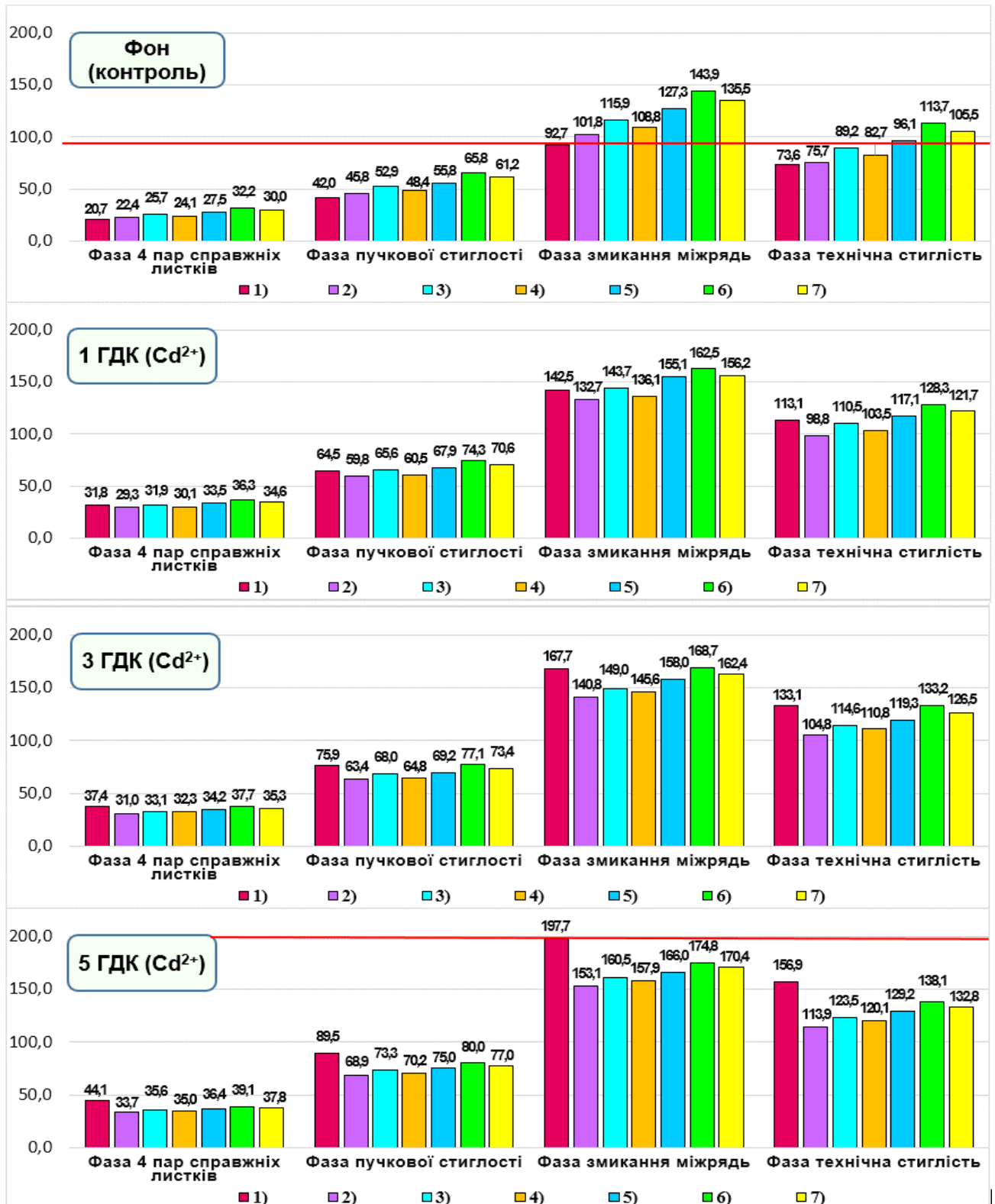


Рис. 5.15. Активність пероксидази в листках буряка столового за фазами розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв (2009–2011 рр.)

Примітка: 1) Контроль (без добрив); 2) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub>; 3) Біогумус 4 т/га; 4) N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га; 5) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 7) N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>

В експериментальних дослідженнях було встановлено, що активність пероксидази в листках рослин *Beta vulgaris L.* динамічно змінювалася впродовж вегетаційного періоду. Так, на природному фоні (варіант без добрив – контроль) на початках вегетації у фазі 4-х пар справжніх листків активність пероксидази була найменшою і становила 20,68 ммоль/г сирової маси за 1 хв. У фазі пучкової стиглості активність пероксидази зросла до 41,97 ммоль/г сирової маси за 1 хв. Найвищу активність пероксидази (92,72 ммоль/г сирової маси за 1 хв) відзначали у фазі змикання міжрядь. Проте на кінець вегетаційного періоду у фазі технічної стиглості активність пероксидази знизилась до 73,55 ммоль/г сирової маси за 1 хв. Визначено, що концентрація кадмію та свинцю у листках буряка столового мала тенденцію до зростання впродовж вегетаційного періоду і була найбільшою у фазі технічної стиглості (рис. 5.15, дод. Е табл. Е.7).

Отримані результати свідчать, що за внесення добрив і меліорантів на природному фоні відзначали підвищену активність пероксидази та нижчі концентрації кадмію і свинцю у листках буряка столового за фазами вегетації, порівняно з варіантом без добрив (контроль). Так, найбільшу її активність (143,9 та 135,4 ммоль/г сирової маси за 1 хв) виявили на фоні у фазі змикання міжрядь за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га, при концентрації кадмію в листках 0,017 та 0,020 мг/кг маси сирової речовини. Втім за внесення тих самих норм добрив і меліорантів, але на рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК активність пероксидази зросла до 174,84 та 170,40 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрація кадмію в листках становила 0,054 та 0,062 мг/кг маси сирової речовини. Тоді як на контролі (без добрив) на цьому ж рівні змодельованого забруднення активність пероксидази збільшилась до 197,68 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрація кадмію в листках становила 0,238 мг/кг маси сирової речовини.

Виявлено, що активність пероксидази зростала із збільшенням концентрації йонів Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> в листках буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту цими металами. Найбільша її активність була за рівня змодельованого забруднення 5 ГДК на контролі у фазі змикання міжрядь (рис. 5.16).

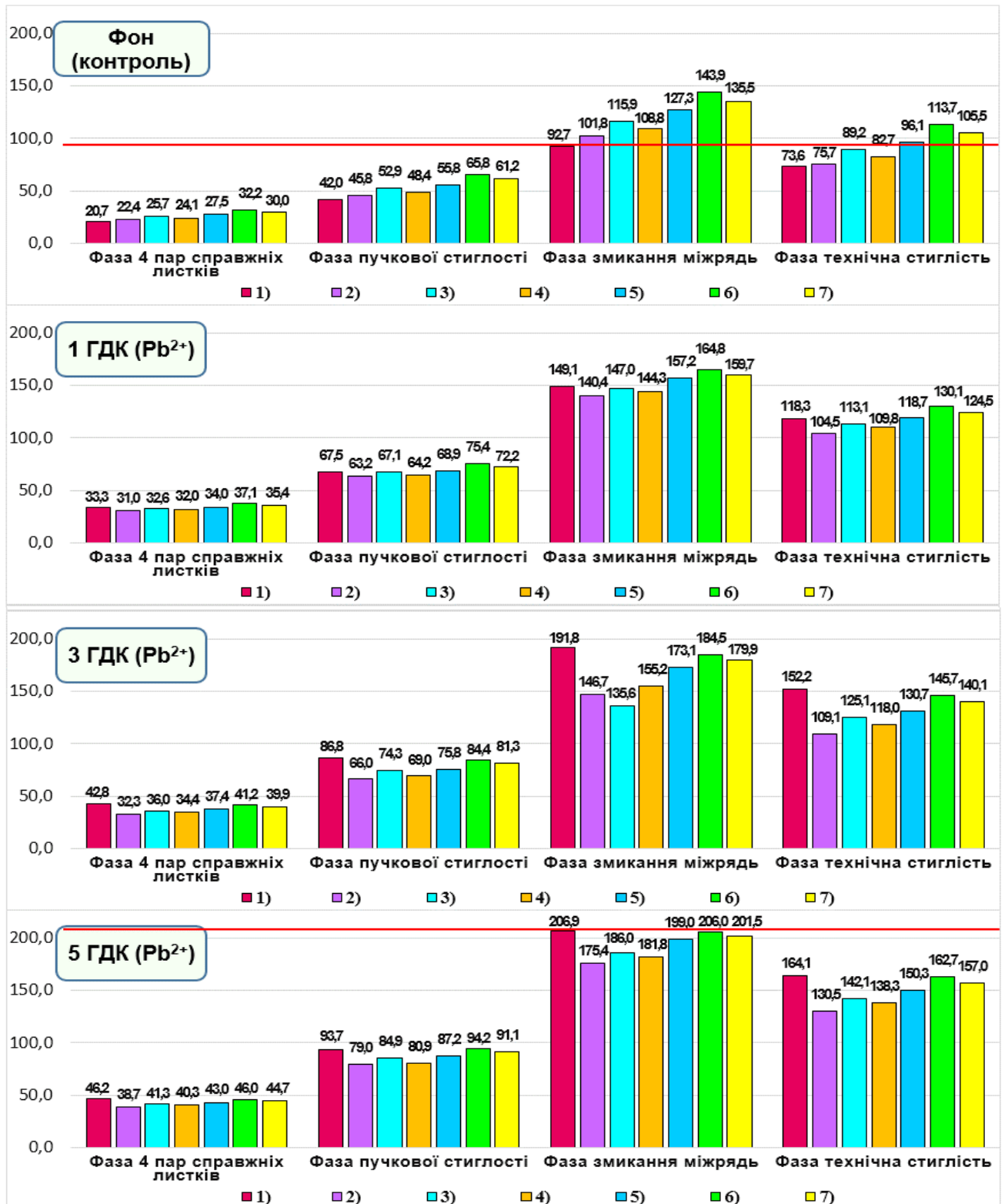


Рис. 5.16. Активність пероксидази в листках буряка столового за фазами розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв (2009–2011 рр.)

Примітка: 1) Контроль (без добрив); 2) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub>; 3) Біогумус 4 т/га; 4) N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га; 5) N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>; 7) N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>

Дослідженнями встановлено, що у досліді із змодельованими рівнями забруднення ґрунту свинцем ферментативна активність пероксидази за фазами вегетації у листках буряка столового була більшою на 4,8-12,7%, аніж з кадмієм. Це свідчить про те, що свинець більше пригнічував рослини буряка столового ніж кадмій. Проте закономірності впливу добрив і меліорантів на ферментативну активність пероксидази між варіантами за змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем зберігалися, як у досліді із кадмієм (рис. 5.16, дод. Е табл. Е.8).

Отже, із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, зростала концентрація рухомих форм ВМ у ґрунті, відповідно посилилась транслокація йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у рослини, а це вплинуло на підвищення активності пероксидази в листках буряка столового, як внутрішньої захисної реакції антиоксидантної системи рослин до токсичної дії важких металів. Втім за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування фітотоксичність кадмію та свинцю знизилась, а рослини отримали значно менший стрес, що позначилося на їхньому рості і розвитку, а в підсумку на урожайності і якості.

### Висновок до розділу 5

П'ятий розділ присвячений аналізу нагромадження та розподілу йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  в рослинах *Brassica oleracea var. capitata* L. і *Beta vulgaris* L. залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, а також від застосування різних систем удобрення й вапнування. Також проаналізовано активність пероксидази у листках капусти білоголової та буряка столового за фенофазами розвитку як індикатор стресу в рослинах за дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$ .

Отримані результати свідчать, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК збільшувалась і концентрація йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у рослинах капусти білоголової та буряка столового в усіх варіантах. Однак значний вплив на нагромадження  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  мали внесені органічні й мінеральні добрива, а також меліоранти.

Встановлено, що йони  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  нагромаджувалися більше у зовнішньому качані, аніж у головці. Так, у зовнішньому качані концентрація кадмію у 3,9-4,7 раза була більшою, аніж у головці (їстівній частині), тоді як свинцю – у 8,1-7,8 раза. Зазначимо, що у 5-7 варіантах досліду, де здійснювали вапнування ґрунту, нагромадження катіонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у рослини капусти білоголової на усіх рівнях забруднення були значно меншими порівняно з іншими варіантами за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,01-0,001$ .

Крім того, за внесення меліорантів відзначали найменші коефіцієнти небезпеки Cd (0,77–1,00) та Pb (0,79–0,92) у головках капусти за рівня змодельованого забруднення 5 ГДК. Виявлено тісну кореляцію між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  ( $r = 0,96-0,98$ ) та  $\text{Pb}^{2+}$  ( $r = 0,81-0,98$ ) у ґрунті та концентрацією цих ВМ у рослинах капусти білоголової. Також виявлено тісну кореляцію між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  ( $r = 0,91-0,98$ ) та  $\text{Pb}^{2+}$  ( $r = 0,90-0,98$ ) у ґрунті та концентрацією цих ВМ у рослинах буряка столового.

Встановлено, що найменше нагромаджувалися йони  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у рослинах буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту ВМ за внесення добрив та меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га та  $\text{N}_{34}\text{P}_{34}\text{K}_{34}$  + Біогумус 4 т/га +  $\text{CaCO}_3$  5 т/га. Так, за використання органічної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту (вар. 6) концентрація кадмію та свинцю зменшилась у коренеплодах у 4,5-3,2 раза, або на 77,7-68,1% за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,001$ . Найбільше нагромаджувалися кадмій та свинець у рослинах капусти білоголової та буряка столового на контролі (без добрив).

Виявлено, що активність пероксидази в листках капусти білоголової та буряка столового змінювалася за основними фазами розвитку і залежала від внесених добрив та меліорантів, а також від штучно змодельованих рівнів забруднення ґрунту Cd та Pb.

Визначено, що найвища активність пероксидази в листках капусти білоголової відзначали у фазі зав'язування головки, а у листках буряка столового у фазі змикання міжрядь. Так, активність пероксидази в листках капусти білоголової у фазі зав'язування головки на фоні у контрольному варіанті (без добрив) становила

297 ммоль/г сиріої маси за 1 хв, тоді як за рівня забруднення ґрунту Cd та Pb 5 ГДК, відповідно 594 та 643 ммоль/г сиріої маси за 1 хв.

Відзначимо, що активність пероксидази в лисках буряка столового у фазі змикання міжрядь на контролі (без добрив і ВМ) становила 92 ммоль/г сиріої маси за 1 хв, тоді як за рівнів забруднення ґрунту Cd та Pb 5 ГДК, відповідно 197 та 207 ммоль/г сиріої маси за 1 хв.

У першому випадку підвищена активність пероксидази за внесення добрив і меліорантів на контрольному фоні в листках капусти білоголової та буряка столового свідчить про активізацію біохімічних процесів у рослинах, які позитивно реагували на елементи живлення, повноцінно розвивалися і збільшували свою вегетативну масу. У другому випадку підвищена активність пероксидази зумовлена стресом рослин до фітотоксичної дії йонів Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> та їх намаганням компенсувати цей стан застосувавши внутрішні захисні механізми.

Шляхом підбору різних систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту у конкретних ґрунтово-кліматичних умовах можна суттєво зменшити нагромадження йонів Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у рослинах *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. і одержати екологічно безпечну овочеву продукцію.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 5

236. Ernst W.H.O., Verkleij J.A.C., Schat H. Metal tolerance in plan. Acta Botanica Neerlandica. 1992. № 41. P.229-248.
237. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в агроландшафте. Санкт-Петербург: Изд-во ПИЯФ РАН, 2008. 216 с.
238. Prasad T. K., Anderson M. D., Martin, B. A., Stewart C. R. Evidence for Chilling-Induced Oxidative Stress in Maiz Seedlings and a Regulatory Role for Hydrogen peroxide. *Plant Cell*. 1994. V. 6. P. 65–74.
239. Ильин В. Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. Новосибирск: Наука. Сиб.отд.-ние, 1991. 151 с.
240. Виноградова Е. Н., Коршиков И. И. Сезонная динамика пероксидазной



- активности в листьях *Populus deltoids* Marsh. насаждений техногенно загрязненных территорий. *Промышленная ботаника*. 2012. Вып. 12. С. 161–166.
241. Gill S. S., Tuteja N. Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiol. Biochem.* 2010. Vol. 48. P. 909–930.
242. Газарян И. Г., Шушупульян Д. М., Тишков В. И. Особенности структуры и механизма действия пероксидазы растений. *Успехи современной химии*. 2006. Т. 46. С. 303–322.
243. Veljovic-Jovanovic S., Kukavica B., Stevanovi B. Senescence- and drought-related changes in peroxidase and superoxide dismutase isoforms in leaves of *Ramonda serbica*. *J. Exp. Bot.* 2006. V. 57. P. 1759–1768.
244. Граскова И. А., Антипина И. В., Потапенко О. Ю. Роль слабосвязанных с клеточной стенкой пероксидаз в устойчивости растений. *Сигнальные системы клеток растений роль в адаптации и иммунитете: Тезисы докладов Втор. Межд. симпоз., (Казань, 27-30 июня 2006 г.)* Казань, 2006. С. 30–31.
245. Гуральчук Ж. З. Фітотоксичність важких металів та стійкість рослин до їх дії. Київ: Логос, 2006. 208 с.
246. Kabata-Pendias A. Trace Elements in Soils and Plants. 4th Edition. Boca Raton, FL: Crc Press, 2011. 505 p.
247. Лихацький В. І. Улянич О. І., Гордій М. В. Овочівництво. Практикум. / за ред. В. І. Лихацького. Вінниця, 2012. 442 с.
248. Kabata-Pendias A., Mukherjee A. Trace Elements From Soil to Human. Berlin; Heidelberg: Springer, 2007. 561 p.
249. Мислива Т. М. Надточій П. П., Герасимчук Л. О. Ведення сільськогосподарського виробництва у приватному секторі в умовах посиленого антропогенного впливу на навколишнє середовище / за ред. Т. М. Мисливої. Житомир, 2011. 52 с.
250. Савич И. М. Пероксидазы стрессовые белки растений. *Успехи совр. биологии*. 1989. Т. 107. № 3. С.406–417.
251. Колупаев Ю. Е. Активные формы кислорода в растениях при действии

- стрессоров: образование и возможные функции. *Вісник Харківського національного аграрного університету*. 2007. Вип. 3 (12). С. 6–26.
252. Скопецька О. В., Косик О. І., Мусієнко М. М. Комплексний еколого-фізіологічний аналіз міграції та нагромадження свинцю в агроекосистемах. *Физиология и биохимия культ. растений*. 2004. Т. 36. № 1. С. 27–35.
253. 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 Wrocławiu: seria rolnictwo*. 2017. CXXXII (625). Str. 87–98.
254. Білявський Ю. А., Мислива Т. М. Фітотоксичність Cu, Pb, Cd і Zn для овочевих культур – представників родини Brassicaceae. *Вісник Сумського національного аграрного університету : агрономія і біологія*. 2014. Вип. 3 (27). С. 73–77.
255. Колупаев Ю. Е., Карпей Ю. В. Формирование адаптивных реакций растений на действие абиотических стрессоров. Киев.: Основа. 2010. 352 с.

## РОЗДІЛ 6

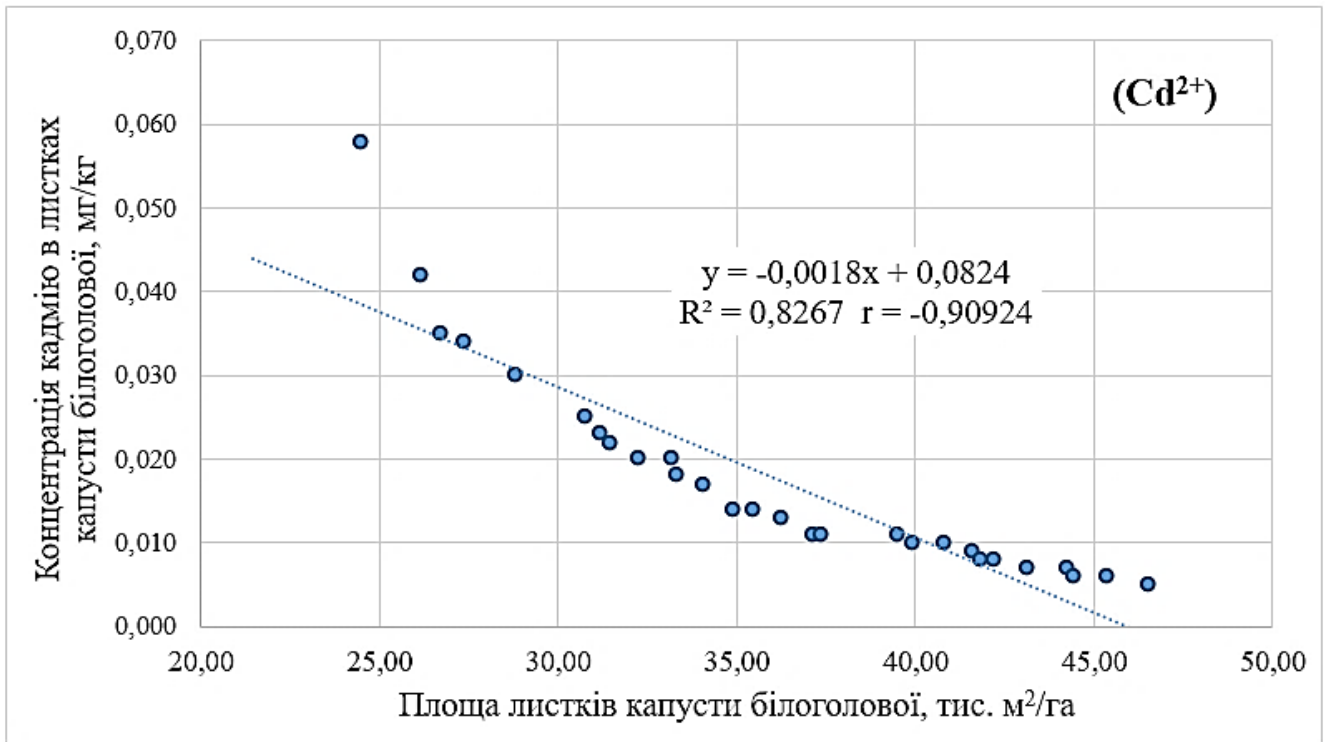
### ВПЛИВ КАДМІЮ ТА СВИНЦЮ НА РІСТ І РОЗВИТОК РОСЛИН КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО ЗА ВИКОРИСТАННЯ ДОБРІВ І ВАПНУВАННЯ ҐРУНТУ

#### 6.1. Біометричні параметри рослин капусти білоголової залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем

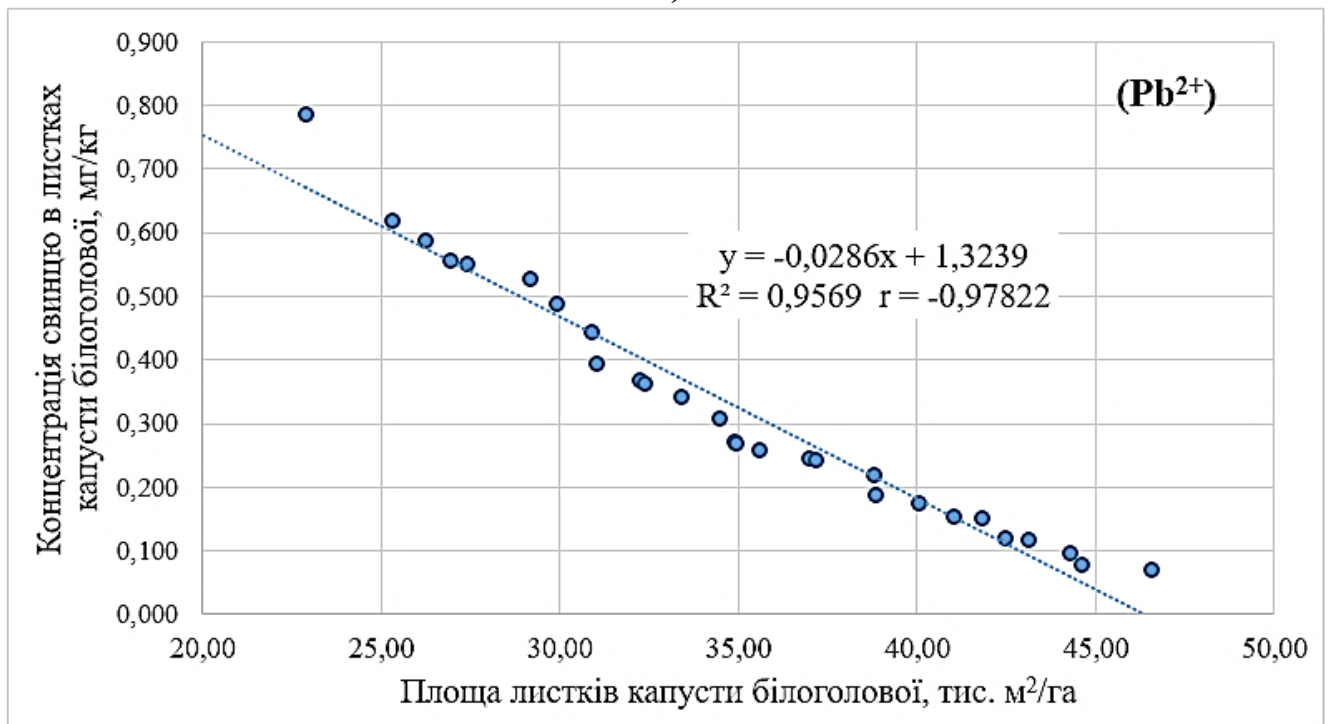
Важкі метали здатні чинити токсичний вплив на культурні рослини, пригнічуючи їх ріст і розвиток. Фітотоксичність важких металів проявляється вже на перших фазах вегетації і характеризується зменшенням кількості бічних корінців, довжини коріння, істотному пригніченню органів асимілянтів, що супроводжується зменшенням площі листової пластини та кількості листків, зниження маси продуктивних органів рослини [256]. Результати досліджень свідчать, що йони  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  здатні спричинити хлороз листя, скручування листків, некрози верхівок і країв листків, знижувати концентрацію у них хлорофілу, водного потенціалу, транспірацію та газообмін, а також підвищувати активність антиоксидантних ферментів як реакції рослин на стресовий стан [257].

Програмою досліджень передбачалось дослідити вплив йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  на біометричні параметри рослин *Brassica oleracea var. capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за фенофазами росту і розвитку. На основі трирічних досліджень встановлено, що біометричні параметри рослин капусти білоголової та буряка столового динамічно змінювалися протягом періоду вегетації під впливом ґрунтово-кліматичних умов, систем удобрення, кальцієвих меліорантів, а також рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем [258, 259].

Фітотоксична дія йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  проявлялася із збільшенням рівнів забруднення ґрунту ВМ у зниженні висоти рослин, площі та кількості листків, діаметра розетки листя та головки, довжини зовнішнього качана та маси головки (дод. Ж табл. Ж.1 та Ж.2). Виявлено тісну кореляцію ( $r = -0,90 \dots -0,97$ ) між концентрацією йонів  $Cd^{2+}$  і  $Pb^{2+}$  у листках капусти та площею листків (рис. 6.1).



А)



Б)

Рис. 6.1. Графіки кореляційної залежності між концентрацією кадмію (А) і свинцю (Б) в листках капусти білоголової та площею листків у фазі зав'язування головки залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цими металами за використання добрив та меліорантів

Аналіз даних модельних експериментів показав (дод. Ж табл. Ж.1), що за внесення добрив та кальцієвих меліорантів на всіх змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм біометричні параметри рослин капусти білоголової були більшими, порівняно з контролем (без добрив). Так, у фазі 5-6 листків на фоні у варіанті без добрив (контроль) площа листків капусти становила 4,68 тис м<sup>2</sup>/га. Проте за внесення мінеральних добрив в нормі N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> площа листків зростає до 5,29 тис м<sup>2</sup>/га. Втім за використання добрив і меліорантів в нормі Біогумус 8 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га площа листків була найбільша і становила 6,78 та 6,54 тис м<sup>2</sup>/га. Однак за рівня змодельованого забруднення кадмієм 5 ГДК площа листків на контролі зменшилась на 35% до 3,04 тис м<sup>2</sup>/га. Проте за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення площа листків зростає до 4,41 та 4,25 тис м<sup>2</sup>/га.

Встановлено, що у фазі формування розетки на контролі (без добрив) площа листків становила 8,25 тис м<sup>2</sup>/га, а діаметр розетки – 23,5 см. Однак за рівня змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК площа листків у контрольному варіанті зменшилась на 10,7% до 7,37 тис м<sup>2</sup>/га, а діаметр розетки становив 21,2 см. Тоді як у варіанті за внесення Біогумус 4 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га на цьому рівні забруднення площа листків була 11,59 тис м<sup>2</sup>/га, а діаметр розетки – 33,5 см.

Визначено, що у фазі зав'язування головки на природному фоні за внесення Біогумус 8 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га (вар.6) та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО<sub>3</sub> (вар. 7) відзначали найбільші біометричні параметри: висота рослин (43 та 41 см), кількість листків на рослині (15 шт), діаметр розетки (55,7 та 53,9 см), площа листків (46,54 та 44,26 тис м<sup>2</sup>/га), діаметр головки (17,5 та 16,9 см).

У фазі технічної стиглості на фоні у варіанті без добрив (контроль) маса головки становила 1480 г. За використання повної норми мінеральних добрив N<sub>136</sub>P<sub>136</sub>K<sub>136</sub> (вар. 2) вона зростає до 1960 г. Проте за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту вона збільшилася до 2970 та 2850 г. Привертає увагу той факт, що за рівня забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК маса головки на контролі становила 1319 г, тоді як за внесення добрив і меліорантів (вар. 5-7) вона коливалась від 2388 до 2646 г.

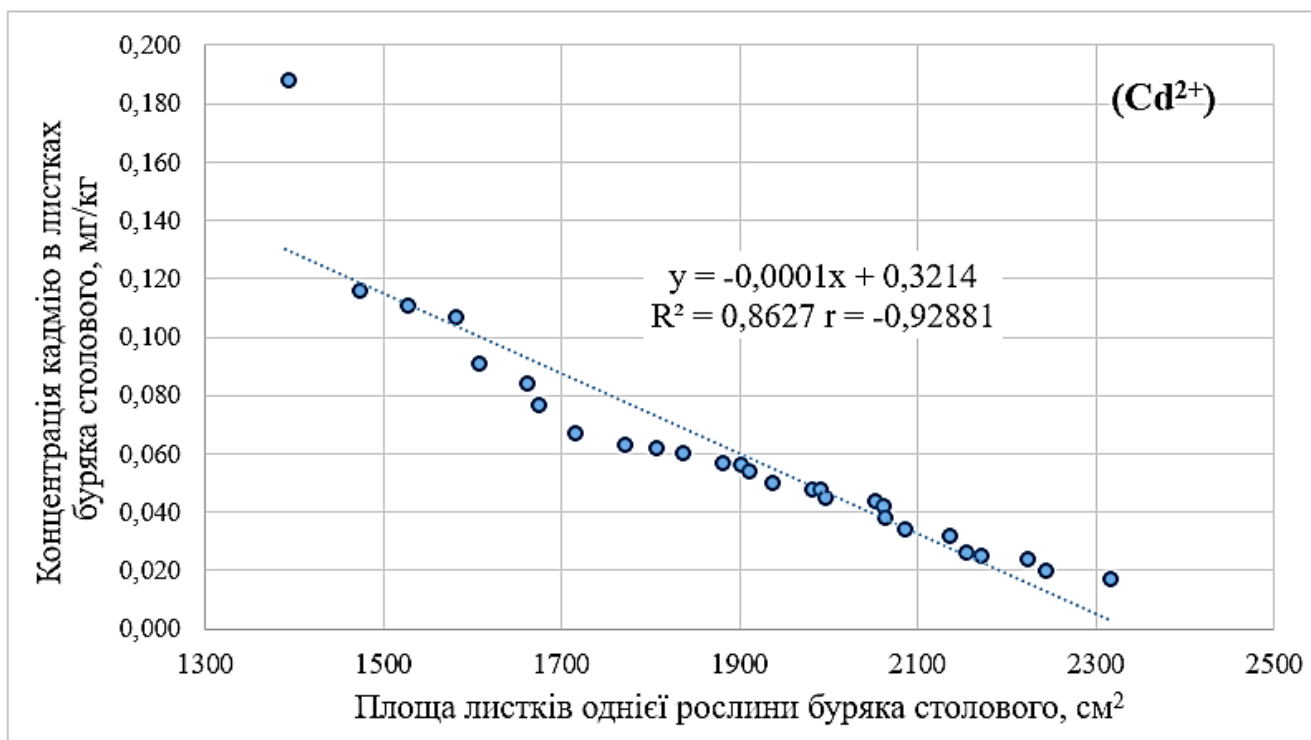
Аналізуючи динаміку росту і розвитку рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. за основними фенофазами при змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем (дод. Ж табл. Ж.2) слід зазначити, що біометричні показники були меншими ніж на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм. Однак закономірності впливу добрив і меліорантів на підвищення фітопродуктивних параметрів рослин між варіантами зберігалися продовж вегетаційного періоду.

Отримані дані біометричних вимірювань свідчать, що у фазі 5-6 листків за змодельованого рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК на контролі (без добрив) площа листків становила 2,85 тис м<sup>2</sup>/га, тоді як на контрольному фоні вона була більшою на 39,1% і становила 4,68 тис м<sup>2</sup>/га. У фазі формування розетки на контролі (без добрив) за рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК площа листків зменшилась порівняно з фоном на 16,5% до 6,89 тис м<sup>2</sup>/га, а діаметр розетки становив 10 см. За внесення органічних добрив та меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га на цьому рівні забруднення площа листків становила 10,84 тис м<sup>2</sup>/га, а діаметр розетки – 14,2 см. У фазі технічної стиглості за рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК маса головки на контролі становила 1236 г, тоді як за внесення добрив і меліорантів (вар. 5-7) вона збільшилась до 2238–2480 г.

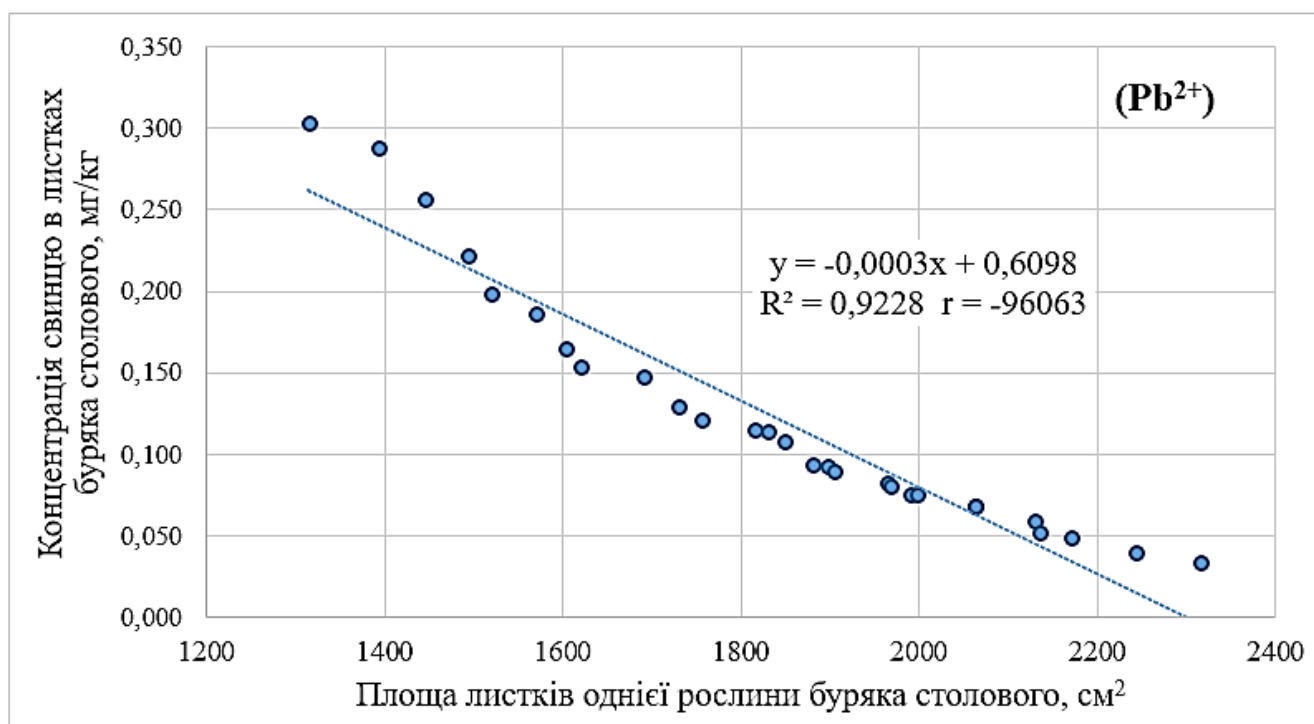
## **6.2. Біометричні параметри рослин буряка столового залежно від змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем**

Дослідженнями встановлено, що зі зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК зростала і концентрація йонів Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> у рослинах буряка столового, що зумовило зменшення усіх біометричних параметрів, а саме зменшення площі листкової пластини, зниження маси листків та коренеплодів. Проте закономірності впливу добрив і меліорантів на підвищення фітопродуктивних параметрів рослин *Beta vulgaris* L. між варіантами зберігалися впродовж вегетації (дод. Ж табл. Ж.3 та Ж.4).

Виявлена тісна кореляція ( $r = -0,92 \dots -0,96$ ) між концентрацією Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> в листках буряка столового та площею листків (рис. 6.2).



А)



Б)

Рис. 6.2. Графіки кореляційної залежності між концентрацією кадмію (А) і свинцю (Б) у листках буряка столового та площею листків у фазі змикання міжрядь залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цими металами за використання добрив та меліорантів

В результаті проведених біометричних вимірів визначено, що найбільшу площу листової поверхні та масу листків у рослинах буряка столового відзначали у фенофазі змикання міжрядь (I-II декада серпня). Надалі у динаміці ростових процесів маса та площа листків зменшувалися, проте збільшувалася маса коренеплодів, яка у фазі технічної стиглості була найбільша.

На основі результатів трирічних досліджень встановлено, що у фазі змикання міжрядь на фоні у варіанті без добрив (контроль) відзначали найменшу площу листової поверхні (1882 см<sup>2</sup>), масу листків (184,6 г) та коренеплодів (118 г). Проте за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га біометричні параметри рослин були найбільшими. Так, площа листків становила 2317 та 2244 см<sup>2</sup>, маса листків 229,8 та 223,6 г, а маса коренеплодів 197,7 та 184,1 г

Як показують результати експериментальних досліджень (дод. Ж табл. Ж.3), за рівня змодельованого забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК у фазі змикання міжрядь на варіанті без добрив (контроль) біометричні параметри рослин знизилися на 26%, порівняно з контрольним фоном. Так, площа листків на цьому рівні забруднення становила 1393 см<sup>2</sup>, маса листків – 136,6 г, а маса коренеплодів – 87,3 г.

У фазі технічної стиглості найменшу масу коренеплодів буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм відзначали на контролі (без добрив). Проте за внесення добрив та кальцієвих меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га маса коренеплодів була найбільша, порівняно з іншими варіантами дослідження.

Встановлено, що за рівня змодельованого забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК у фазі змикання міжрядь на варіанті без добрив (контроль) біометричні параметри рослин знизилися більше як на 30%, порівняно з контрольним фоном. Так, площа листків на цьому рівні забруднення становила 1317 см<sup>2</sup>, маса листків – 129,2 г, а маса коренеплодів – 83,0 г (дод. Ж табл. Ж.4).

Проте за внесення добрив та кальцієвих меліорантів на цьому рівні забруднення у нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га +



CaCO<sub>3</sub>5 т/га площа листків збільшилася до 1622 та 1571 см<sup>2</sup>, маса гички зросла до 160,1 та 155,9 г, а маса коренеплодів підвищилась до 138,4 г та 129,7 г.

Отже, спостерігали загальну тенденцію на всіх варіантах досліджу, а саме із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм і свинцем зростала фітотоксична дія йонів Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup>, яка проявлялася у пригніченні ростових процесів з перших фаз вегетації і до технічної стиглості, що позначилося на зменшенні фітопродуктивних параметрів рослин буряка столового, а в підсумку на зниженні урожайності і якості. Проте за використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування ґрунту рослини *Beta vulgaris* L. найменше концентрували йони Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup>, а це позитивно вплинуло на їх ріст і розвиток та підвищення біометричних параметрів.

### Висновок до розділу 6

На основі проведених експериментальних досліджень встановлено, що на зміну біометричних показників рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за період вегетації впливали ґрунтово-кліматичні умови року, норми внесення органічних і мінеральних добрив, вапнування ґрунту, а також рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем. Проте закономірності у зміні біометричних показників між варіантами зберігалися на кожному змодельованому рівні забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Встановлено причинно-наслідковий зв'язок, який полягав у тому, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем, збільшувалася і концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> у ґрунті, а від так це спричинило інтенсивному нагромадженню йонів Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> у рослинах капусти білоголової та буряка столового, що позначилося на пригніченні їх росту і розвитку, зменшення біометричних параметрів на всіх фазах вегетації, а в підсумку зниження урожайності. Проте за використання добрив і меліорантів в нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub>5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub>5 т/га істотно знизилась рухомість важких металів у ґрунті, зменшилась концентрація йонів Cd<sup>2+</sup> і Pb<sup>2+</sup> у

рослинах, збільшилась доступність елементів живлення, що позначилося на підвищенні біометричних параметрів *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L., а в підсумку на збільшення їх фітопродуктивності.

Виявлено тісну кореляційну залежність ( $r = -0,90 \dots -0,97$ ) між площею листків капусти білоголової у фазі зав'язування головки, а буряка столового у фазі змикання міжрядь та концентрацією йонів  $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$  у самих листках рослин на різних рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем за використання добрив і меліорантів.

Отримані результати досліджень підтверджують, що біометричні параметри рослин *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. за період вегетації при змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем були меншими, аніж на змодельованих рівнях забруднення ґрунту кадмієм.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 6

256. Lagriffoul A., Mocquot B., Mench M., Vangronsveld J. Cadmium toxicity effects on growth, mineral and chlorophyll contents and activities of stress related enzymes in young maize plants. *Plant and Soil*. 1998. 200. P. 241-250.
257. Michalska M. Influence of lead and cadmium on growth, heavy metal uptake, and nutrient concentration of three lettuce cultivars grown in hydroponic culture. *Communic. in Soil Sc. Plant Analysis*. 2001 Vol. 32, N 3/4. P. 571—583.
258. Снітинський В., Дидів А., Качмар Н. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. 2018. Вип. 286. С. 329–338.
259. 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.

## РОЗДІЛ 7

### ВПЛИВ ДОБРИВ ТА МЕЛІОРАНТІВ НА УРОЖАЙНІСТЬ І ЯКІСТЬ КАПУСТИ БІЛОГОЛОВОЇ ТА БУРЯКА СТОЛОВОГО ЗА РІЗНИХ РІВНІВ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТУ КАДМІЄМ І СВИНЦЕМ

#### 7.1. Урожайність і товарність капусти білоголової

За поступового зростання концентрації рухомих форм йонів важких металів в ґрунтовому середовищі спостерігається їх інтенсивне нагромадження та перерозподіл в тканинах овочевих рослин, включення в метаболічні процеси, які призводить до морфологічних та біохімічних змін, що виявляються у пригніченні росту і розвитку рослин, а також зниження якісних показників продукції [262].

Стійкість рослин до токсичної дії важких металів індивідуальна, вона являється генетично закріпленою ознакою, що є надзвичайно важливим при виведенні нових сортів для отримання екологічно безпечних врожаїв на забруднених ґрунтах [260].

Застосування речовини мінеральної й органічної природи (вермикуліт, торф, гній вермикомпост, кальцит, комплексні мінеральні добрива тощо) значно знижує забруднення рослинної продукції ВМ в основному за рахунок збільшення буферних характеристик ґрунтів, підвищення його родючості та забезпечення рослин доступними елементами живлення продовж вегетації [261, 263, 264].

В умовах польових модельних дослідів вивчали вплив мінеральної, органічної та органо-мінеральної системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами на урожайність і якість капусти білоголової та буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Встановлено, що за використання добрив і меліорантів підвищувалась урожайність капусти білоголової пізньостиглої, порівняно з контрольним варіантом (без добрив). Проте із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту ВМ до 5 ГДК за фітотоксичної дії йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  урожайність головок знизилась порівняно з контрольним фоном на всіх варіантах дослідів, для кадмію на 10,7-12,1%, а для свинцю на 15,6-17,3% (рис. 7.1, 7.2).

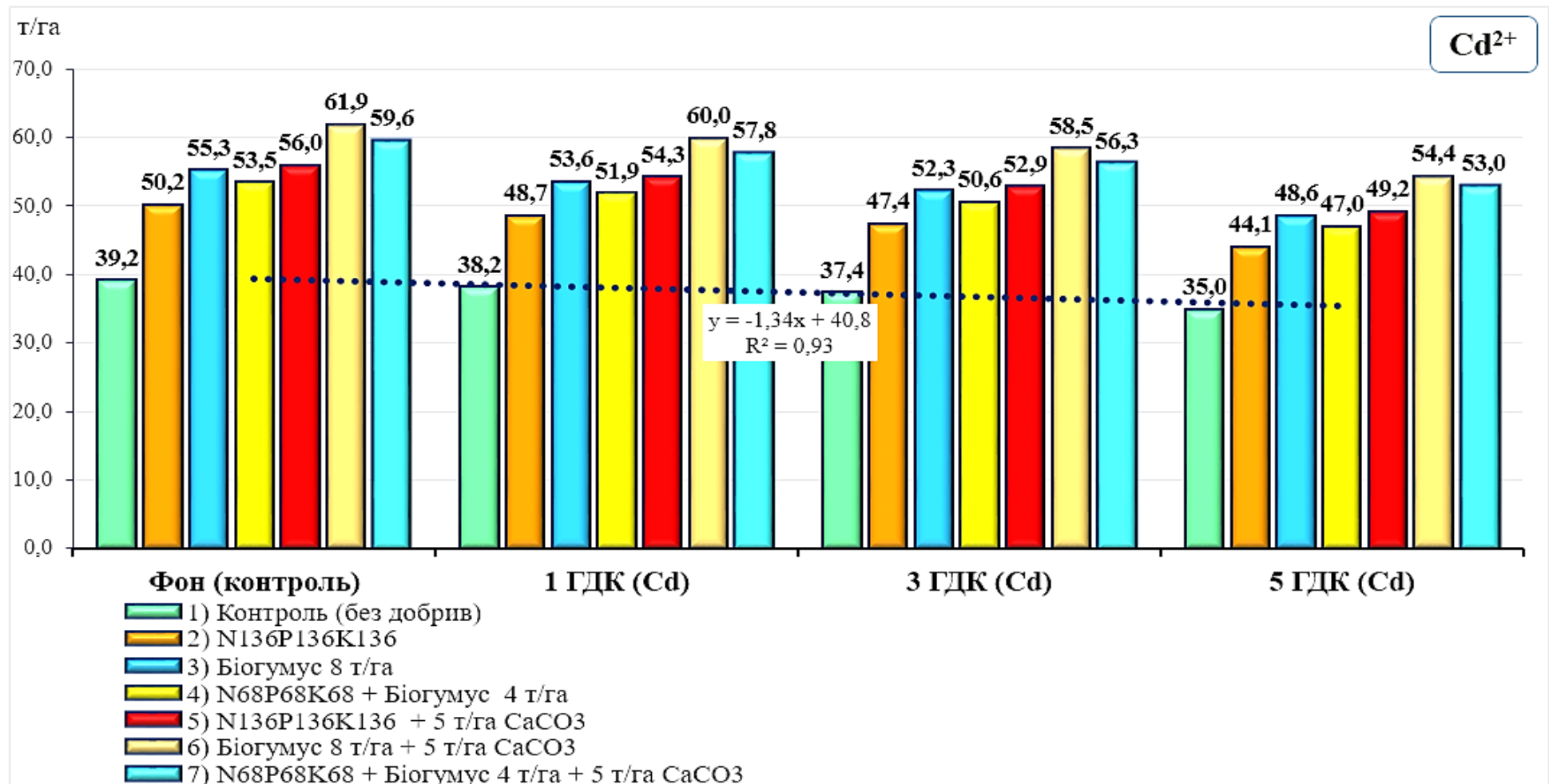


Рис. 7.1. Урожайність капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га (середнє за 2009–2011 рр.)

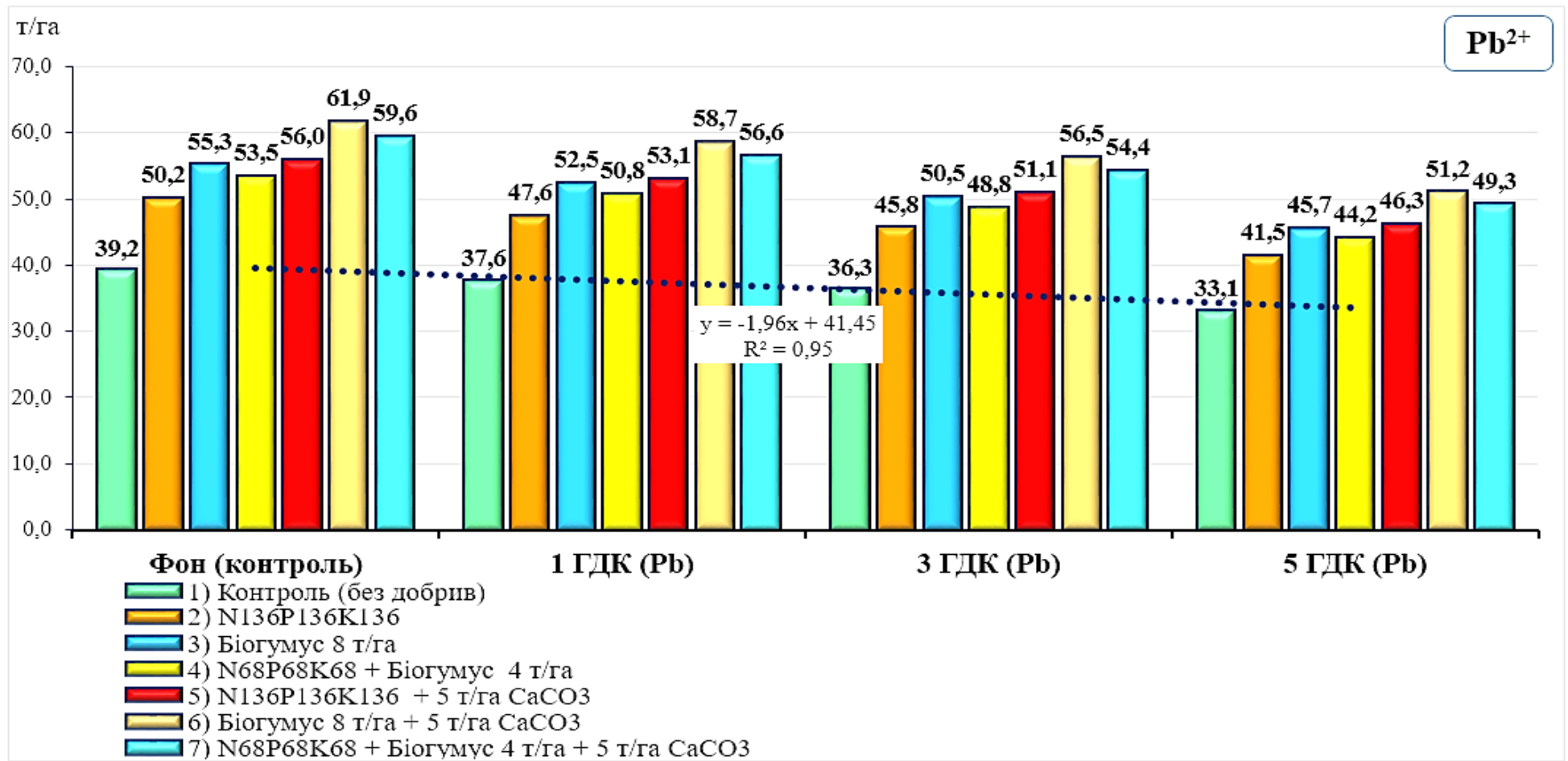


Рис. 7.2. Урожайність капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, т/га (середнє за 2009–2011 рр.)

У результаті досліджень встановлено, що найбільшу урожайність капусти білоголової одержали у 2010 році, дещо меншу у 2011 році, а найменшу у 2009 році, що пов'язано на нашу думку з кліматичними умовами року, а саме з кількістю опадів у період вегетації. Однак закономірності впливу добрив і меліорантів на урожайність та товарність капусти білоголової за змодельованих рівнів забруднення кадмієм та свинцем між варіантами зберігалися (дод. К табл. К.1–К.4).

Аналіз даних модельних експериментів засвідчив, що урожайність та товарність капусти білоголової була нижча на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем ( $R^2 = 0,95$ ), аніж кадмієм ( $R^2 = 0,93$ ). Із збільшенням рівнів забруднення ґрунту ВМ спостерігали зниження урожайності та товарності.

Встановлено, що найбільший загальний урожай капусти білоголової (61,9 та 59,6 т/га) одержали за внесення органічної (вар. 6) та органо-органомінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування ґрунту. Приріст до контролю був 22,7 та 20,4 т/га, або 57,9 та 52,0%. У вищезгаданих варіантах відзначали також найбільший вихід товарних головок – 94 та 93%. Тоді як на контролі (без добрив) урожайність була найменша – 39,2 т/га, а товарність становила 84%.

Аналіз економічної ефективності за вирощування капусти білоголової показав (дод. К табл. К.9), що найвищий чистий прибуток (34338 і 33794 грн./га), рівень рентабельності (144 і 156%) та коефіцієнт біоенергетичної ефективності (1,89 та 1,73) одержали за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$ .

## **7.2. Біохімічний склад продукції капусти білоголової**

Зазначимо, що біохімічний склад капусти білоголової змінювався залежав від кліматичних умов (кількості опадів у період зав'язування головок), системи удобрення, меліорантів, а також рівні змодельованого забруднення ґрунту важкими металами. Великий вплив на формування якісних показників *Brassica oleracea var. capitata* L. мали добрива і кальцієві меліоранти, а також рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем (табл. 7.1 та 7.2)

Таблиця 7.1

**Біохімічний склад головок капусти залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та кальцієвих меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг
1) Без добрив (контроль)	0,017*				0,022				0,038				0,068			
	7,38	4,23	43,38	210	7,23	4,10	42,27	278	6,74	3,97	38,50	511	6,15	3,83	35,41	617
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	0,013				0,015				0,026				0,051			
	8,02	4,58	45,78	229	7,73	4,42	44,45	266	7,22	4,23	41,02	405	6,60	4,05	38,23	483
3) Біогумус 8 т/га	0,010				0,012				0,020				0,035			
	8,27	4,80	49,30	177	8,16	4,70	48,59	227	7,66	4,31	45,69	338	6,87	4,25	40,60	410
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	0,011				0,013				0,024				0,042			
	8,11	4,67	47,54	186	7,85	4,59	46,14	243	7,49	4,44	44,28	371	6,79	4,20	39,42	462
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,008				0,010				0,016				0,030			
	8,55	4,96	52,24	160	8,32	4,63	49,92	220	7,85	4,48	46,19	305	7,03	4,37	41,15	388
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,004				0,006				0,011				0,023			
	9,49	5,52	58,7	146	8,83	5,28	54,60	192	8,24	4,91	49,88	245	7,36	4,62	44,61	316
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,006				0,008				0,013				0,026			
	8,93	5,18	54,59	153	8,51	5,03	52,87	211	8,07	4,66	47,34	267	7,24	4,50	43,27	324

Примітки: 1. \* – Концентрація кадмію в головках капусти, мг/кг сирої маси; 2. ГДК кадмію в овочах – 0,03 мг/кг сирої маси.

Таблиця 7.2

**Біохімічний склад головок капусти залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та кальцієвих меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 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)	*0,238				0,319				0,485				0,692			
	7,38	4,23	43,38	210	6,95	4,08	41,09	331	6,48	3,85	38,15	490	5,82	3,23	34,05	632
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	0,153				0,228				0,347				0,545			
	8,02	4,58	45,78	229	7,24	4,26	42,65	320	6,74	4,04	40,19	458	6,29	3,48	36,77	544
3) Біогумус 8 т/га	0,102				0,193				0,303				0,488			
	8,27	4,80	49,30	177	7,91	4,45	45,62	294	7,31	4,29	44,61	397	6,49	3,73	38,63	502
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	0,134				0,215				0,325				0,518			
	8,11	4,67	47,54	186	7,45	4,38	43,38	312	7,05	4,17	42,47	426	6,36	3,54	37,95	517
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,085				0,166				0,271				0,463			
	8,55	4,96	52,24	160	8,12	4,52	47,51	265	7,56	4,35	45,23	359	6,81	3,86	40,91	475
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,062				0,104				0,213				0,390			
	9,49	5,52	58,7	146	8,46	5,12	52,25	224	7,71	4,57	48,13	307	7,16	4,28	43,12	385
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,070				0,139				0,234				0,428			
	8,93	5,18	54,59	153	8,34	4,78	49,17	238	7,68	4,42	46,90	323	7,03	4,04	41,50	413

Примітки: 1. \* – Концентрація свинцю в головках капусти, мг/кг сирової маси; 2. ГДК свинцю в овочах – 0,5 мг/кг сирової маси.



На основі результатів досліджень відзначали загальну тенденцію, а саме зі збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК на всіх варіантах досліду, збільшувалася і концентрація йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  в головках капусти, тоді як якісні показники такі як вміст сухої речовини, аскорбінової кислоти, суми цукрів зменшувалися, натомість збільшувався вміст нітратів (табл. 7.1, 7.2).

Встановлено, що за змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем якісні біохімічні показники капусти були дещо нижчими, ніж за рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм. Така відмінність пов'язана на нашу думку з більшою фітотоксичністю свинцю у модельних експериментах, аніж кадмію.

Отримані результати підтверджують, що на фоні за внесення добрив і меліорантів (вар. 5-7) відзначали найвищу якість продукції капусти білоголової, порівняно з іншими варіантами, а саме вміст сухої речовини (8,55–9,49%), суми цукрів (4,96–5,18%) та вітаміну С (52,24–58,70 мг/100 г) з мінімальною концентрацією нітратів (146–160 мг/кг). Вміст нітратів у головках у всіх варіантах не перевищував ГДК – 400 мг/кг сирової маси. Найменшу якість головок відзначали на контролі.

Дослідженнями встановлено, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК при внесенні добрив і меліорантів у нормі Біогумус 8 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  та  $\text{N}_{68}\text{P}_{68}\text{K}_{68}$  + Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $\text{CaCO}_3$  вміст сухої речовини становив 7,16 та 7,03%, суми цукрів – 4,28–4,04%, вітаміну С – 43,12 та 41,50 мг/100 г, а концентрація нітратів – 385 та 413 мг/кг сирової маси. Тоді як на контролі (без добрив), на цьому ж рівні забруднення концентрація нітратів у головках капусти збільшилася на 39% до 632 мг/кг сирової маси, а вміст сухої речовини знизився до 5,82%, суми цукрів до 3,23%, а вітаміну С до 34,05 мг/100 г.

### **7.3. Урожайність і товарність буряка столового**

Результати досліджень свідчать, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК, зростала і рухомість важких металів у ґрунті, а це сприяло більшому нагромадженню йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у

рослинах *Beta vulgaris* L., що позначилося на зниженні якісних показників врожаю на всіх варіантах досліджу. Втім великий вплив на процеси транслокації йонів  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у рослини і як наслідок зменшення їх фітотоксичної дії мали внесенні добрива та меліоранти, завдяки яким відзначали зростання урожайності коренеплодів буряка столового (рис. 7.3 та 7.4).

Потрібно зазначити, що найбільшу урожайність буряка столового одержали у 2010 році, трохи меншу у 2011 році, а найменшу у 2009 році, що пов'язано на нашу думку з кліматичними умовами року, а саме з кількістю опадів у період інтенсивного наростання коренеплодів. Однак закономірності впливу добрив і меліорантів на урожайність і товарність буряка столового за змодельованих рівнів забруднення кадмієм та свинцем між варіантами зберігалися (дод. К табл. К.5–К.8).

Привертає той факт, що урожайність та товарність буряка столового була нижча на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем ( $R^2 = 0,98$ ), аніж кадмієм ( $R^2 = 0,97$ ). Проте із збільшенням рівнів забруднення ґрунту ВМ відзначали загальне зниження урожайності та товарності коренеплодів буряка столового.

Дослідженнями встановлено, що за внесення органічної (вар. 6) та органо-органомінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування ґрунту одержали найбільший урожай буряка столового (40,5 та 39,1 т/га). Приріст до контролю становив 14,0 та 12,6 т/га, або 52,8 та 47,5%. У вищезгаданих варіантах визначено також найбільший вихід товарних коренеплодів – 85 та 84%. Тоді як на контролі (без добрив) урожайність була найменша – 26,5 т/га, а товарність становила 74%.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК за внесення добрив та меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га урожайність коренеплодів становила 34,0 т/га, а приріст до контролю складав 11,3 т/га, або 49,4%. Товарність коренеплодів на цьому варіанті становила 81%, тоді як на контролі – 70%. (дод. К табл. К.5 – К.8).

Водночас слід зазначити, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК за внесення Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га урожайність коренеплодів становила 31,8 т/га, а приріст до контролю складав 10,6 т/га, або 48,5%. Товарність коренеплодів знизилась до 80%, тоді як на контролі до 69%.

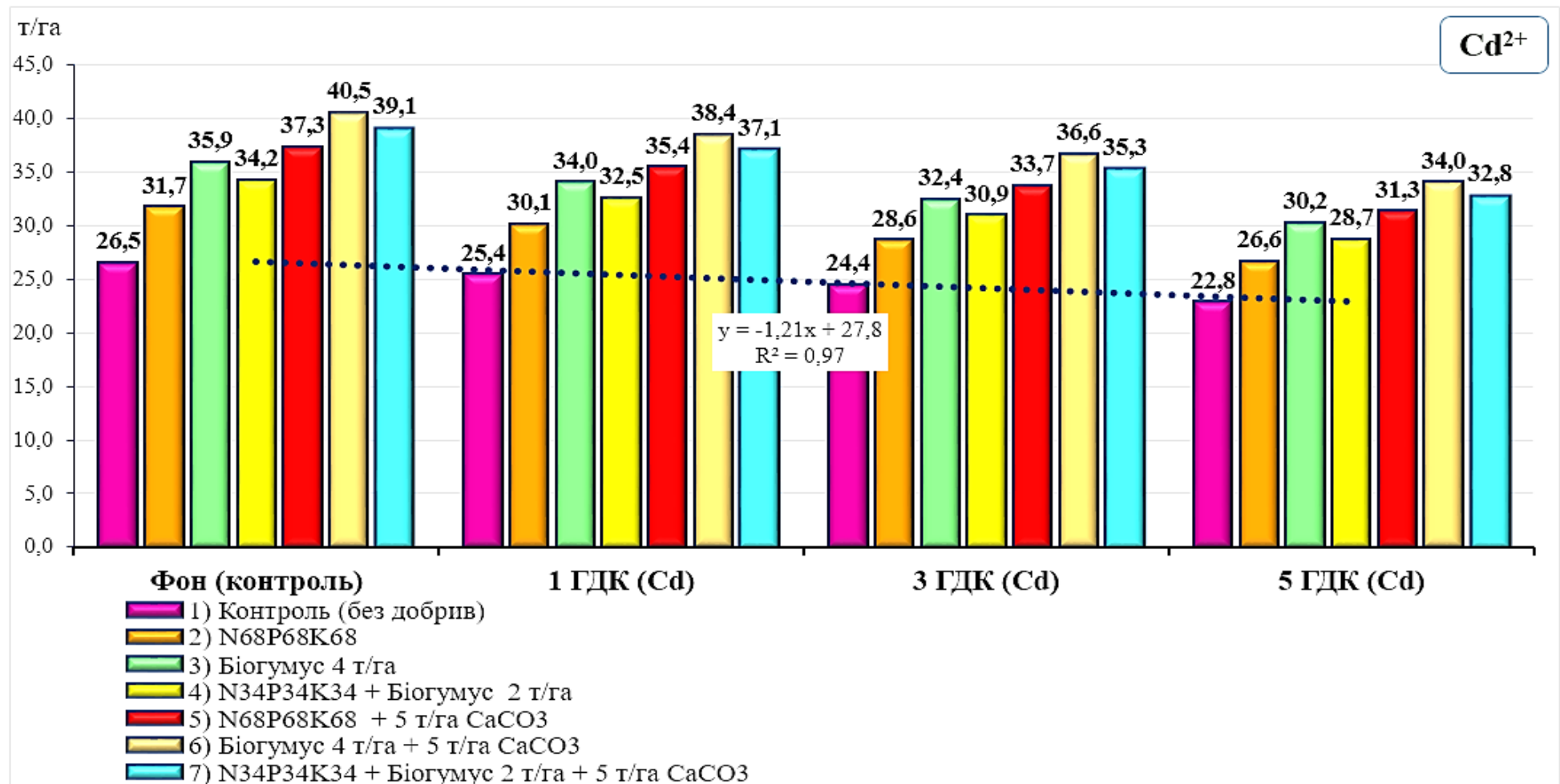


Рис. 7.3. Урожайність буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га (середнє за 2009–2011 рр.)

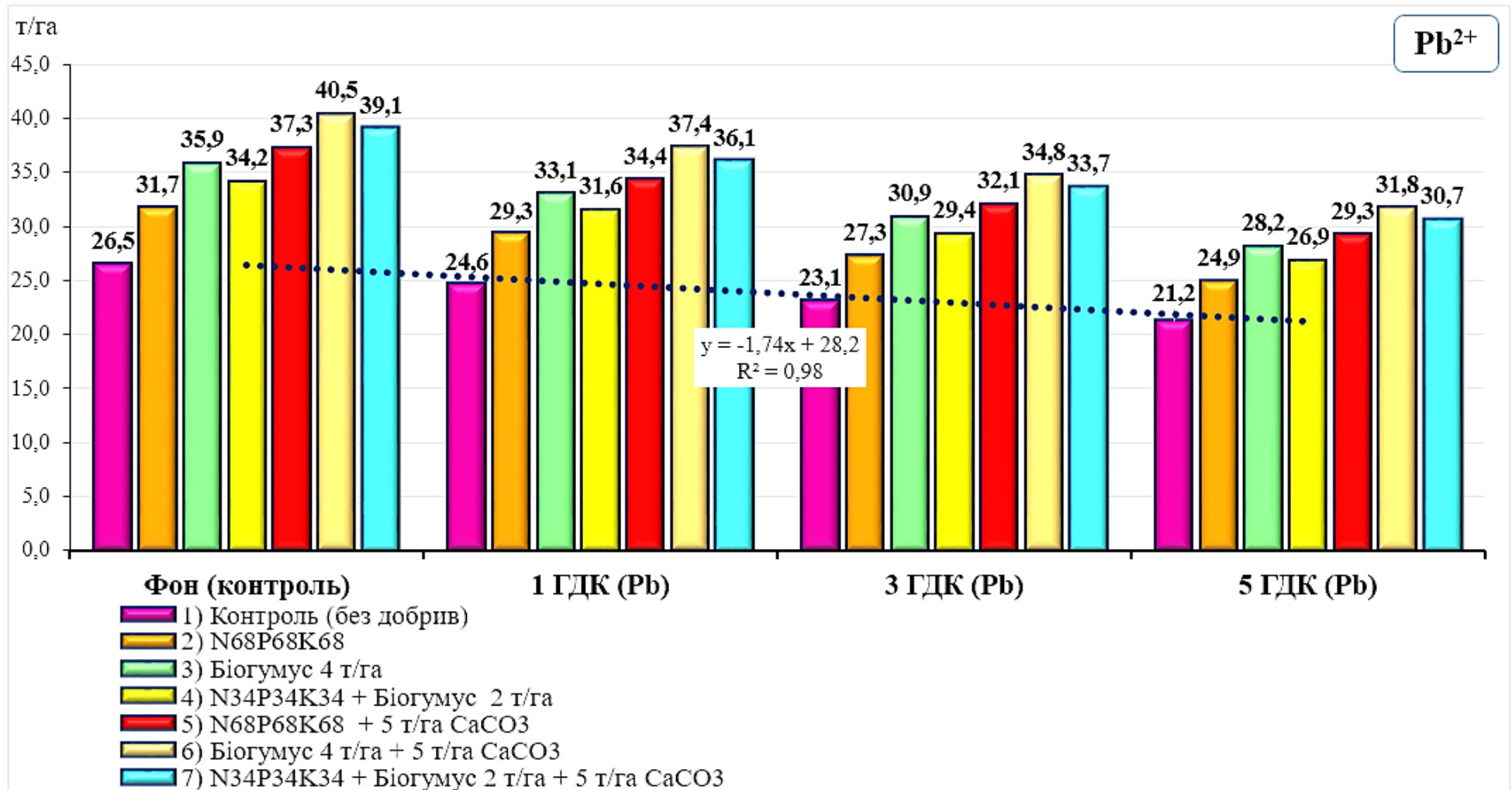


Рис. 7.4. Урожайність буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем

за використання добрив та меліорантів, т/га

(середнє за 2009–2011 рр.)

Отримані результати свідчать, що урожайність коренеплодів буряка столового за змодельованого рівня забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК знизилась, порівняно з контрольним фоном у всіх варіантах на 13,9–16,0%, тоді як за змодельованого рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК вона зменшилась на 19,9–21,5%.

Найбільшу урожайність та товарність коренеплодів буряка столового одержали за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінерально (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з кальцієвим меліорантами на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Аналіз економічної ефективності за вирощування буряка столового показав (дод. К табл. К.10), що найвищий чистий прибуток (18232 і 17712 грн./га), рівень рентабельності (143 і 150%) та коефіцієнт біоенергетичної ефективності (1,92 та 1,81) одержали за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO<sub>3</sub>.

#### **7.4. Біохімічний склад продукції буряка столового**

Важливими господарсько-цінними показниками, окрім урожайності й товарності овочевої продукції, є вміст сухої речовини, цукрів та аскорбінової кислоти (вітаміну С). Один із параметрів, який характеризує екологічну безпечність продукції *Beta vulgaris* L. є вміст нітратів [264].

У експериментальних модельних польових та лабораторних дослідах досліджували вплив добрив та меліорантів на якісні показники продукції буряка столового за різних рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

За результатами трирічних досліджень встановлено, що біохімічний склад коренеплодів буряка столового змінювався залежно від кліматичних умов року, норм внесення органічних і мінеральних добрив, кальцієвих меліорантів та рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем. Аналіз отриманих результатів свідчить, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до зниження якісних біохімічних показників, таких як вміст сухої речовини, суми цукрів та вітаміну С. Водночас концентрація нітратів у коренеплодах, навпаки, зростала (табл. 7.3 та 7.4).

Таблиця 7.3

**Біохімічний склад коренеплодів буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та кальцієвих меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, 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) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	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) Біогумус 4 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) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 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) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	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) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,006				0,010				0,018				0,026			
	15,3	12,6	15,7	903	15,0	12,3	15,4	995	14,4	11,7	15,0	1108	13,7	11,3	13,9	1225
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,010				0,014				0,021				0,029			
	14,5	12,2	15,3	952	14,3	12,0	15,2	1021	13,7	11,4	14,8	1209	13,1	11,0	13,1	1327

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

Таблиця 7.4

**Біохімічний склад коренеплодів буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та кальцієвих меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)**

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг	Суша речовина, %	Сума цукрів, %	Вітамін С, мг/100 г	Нітрати, мг/кг
1) Без добрив (контроль)	0,517*				0,698				0,971				1,330			
	12,0	10,8	12,2	1176	11,6	10,0	11,5	1307	10,5	9,2	10,4	1684	10,0	8,4	8,6	1787
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	0,334				0,435				0,603				0,864			
	12,8	11,4	13,9	1138	12,2	10,4	13,0	1253	11,20	9,4	12,2	1465	10,6	8,9	10,3	1652
3) Біогумус 4 т/га	0,236				0,303				0,405				0,665			
	13,4	11,8	14,8	1044	13,0	11,1	14,1	1127	12,2	10,5	13,2	1352	11,5	10,1	11,8	1516
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	0,295				0,348				0,476				0,749			
	13,0	11,6	14,4	1120	12,6	10,8	13,4	1210	11,5	10,1	12,7	1409	11,0	9,4	11,5	1598
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,189				0,246				0,362				0,512			
	13,6	11,9	15,0	1025	13,4	11,4	14,6	1108	12,9	10,9	14,1	1303	12,1	10,6	12,0	1490
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,162				0,194				0,265				0,443			
	15,3	12,6	15,6	903	14,7	12,0	15,2	1024	14,2	11,4	14,8	1187	13,3	11,1	13,1	1332
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,175				0,207				0,283				0,477			
	14,5	12,2	15,3	952	14,1	11,8	15,0	1061	13,5	11,0	14,5	1235	12,9	10,8	12,5	1417

Примітки: 1. \* – Концентрація свинцю в коренеплодах буряка столового, мг/кг сирої маси; 2. ГДК кадмію в овочах – 0,5 мг/кг сирої маси.

Експериментальними дослідженнями виявлено, що за змодельованих рівнів забруднення ґрунту свинцем якісні біохімічні показники буряка столового були дещо нижчими, ніж за рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм. На нашу думку така різниця пов'язана з більшим фітотоксичним проявом йонів  $Pb^{2+}$  у модельних експериментах, аніж  $Cd^{2+}$ .

Слід зазначити, що на 5-7 варіантах за внесення меліорантів у нормі  $CaCO_3$  5 т/га у поєднанні з різними системами удобрення, якісні показники продукції буряка столового (вміст сухої речовини, суми цукрів, вітаміну С) були вищими, а концентрація нітратів, навпаки, меншою порівняно з іншими варіантами досліду.

За результатами досліджень встановлено, що на контрольному фоні за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  та  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га + 5 т/га  $CaCO_3$  спостерігали найвищу якість коренеплодів буряка столового. Так, вміст сухої речовини становив 15,3 та 14,5%, суми цукрів 12,6 та 12,2%, а вітаміну С 15,7 та 15,3 мг/100 г. Концентрація нітратів у коренеплодах становила 903 та 952 мг/кг сирої маси і не перевищувала ГДК (1400 мг/кг). Зауважимо, що на контрольному варіанті (без добрив) якість коренеплодів була найнижчою.

Аналізуючи таблицю 7.3 при змодельованому рівні забруднення ґрунту кадмієм 5 ГДК за внесення добрив і меліорантів у нормі Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 2 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га відзначимо, що 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. Натомість визначено, що концентрація нітратів у коренеплодах зросла, порівняно з фоном на 35,6 та 39,4% до 1225 та 1327 мг/кг сирої маси. Слід сказати, що у варіанті без добрив (контроль) на цьому ж рівні змодельованого забруднення вміст нітратів у коренеплодах збільшилася, порівняно з фоном на 40,2% до 1649 мг/кг сирої маси.

Дані таблиці 7.4 вказують, що за змодельованого рівня забруднення ґрунту свинцем 5 ГДК за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з вапнуванням ґрунту вміст сухих речовин у коренеплодах знизився до 13,3 та 12,9%, сума цукрів до 11,1 та 10,8%, а вітамін С до 13,1 та



12,5 мг/100 г. Тоді як концентрація нітратів, навпаки, зросла у коренеплодах буряка столового, порівняно з фоном на 47,5 та 48,8% до 1332 та 1417 мг/кг сирової маси. Проте у варіанті без добрив (контроль) концентрація нітратного азоту у коренеплодах збільшилася, порівняно з фоном на 51,9% до 1787 мг/кг сирової маси.

### **Висновок до розділу 7**

У цьому розділі досліджено вплив різних систем удобрення й вапнування ґрунту на урожайність та зміну основних якісних біохімічних показників продукції капусти білоголової та буряка столового за змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

Отримані результати свідчать, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту Cd та Pb від 1 до 5 ГДК спостерігали зниження урожайності капусти білоголової на 10,7-17,3%, а буряка столового – на 14,2-21,4%.

На основі результатів досліджень встановлено, що за внесення  $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 8 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та Біогумус 8 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га одержали найвищу загальну врожайність – 59,6 та 61,9 т/га капусти білоголової, приріст до контролю (без добрив) становив 20,4 та 22,7 т/га, або 52,0 та 57,9%. У названих варіантах відзначали найбільший вихід товарних головок капусти – 94 та 93%. Тоді як у варіанті без добрив (контроль) урожайність була найменша – 39,2 т/га.

Встановлено, що за вирощування буряка столового за внесення добрив та меліорантів у нормі  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га урожайність коренеплодів була найбільша – 39,1 та 40,5 т/га, а приріст до контролю становив 12,6 та 14,0 т/га, або 47,5 та 52,8%. Зазначимо, що у згаданих варіантах також відзначали найвищий вихід товарних коренеплодів – 84 та 85%. Виявлено, що у контрольному варіанті, без застосування добрив і меліорантів, урожайність буряка столового була найменша – 26,5 т/га.

Аналіз розрахунків економічної ефективності показав, що застосування органічної (вар.6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на фоні вапнування ґрунту є найбільш економічно доцільно за вирощування капусти

білоголової та буряка столового.

Дослідженнями встановлено, що із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК у всіх варіантах досліду за вирощування капусти білоголової та буряка столового, показники якості продукції, такі як вміст сухої речовини, суми цукрів, вітаміну С, зменшувалися, тоді як вміст нітратів, навпаки – збільшувався. Привертає увагу той факт, що якісні показники продукції капусти білоголової та буряка столового були нижчі на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем, аніж кадмієм.

Відзначимо, що на 5-7 варіантах за використання різних систем удобрення на фоні вапнування ґрунту якість капусти білоголової та буряка столового була вищою порівняно з іншими варіантами.

Встановлено, що високий вміст сухої речовини (8,93 та 9,49%), суми цукрів (5,18 та 5,52%), вітаміну С (54,59 та 58,70 мг/100 г) та низький вміст нітратів (153 та 146 мг/кг сирової маси) у головках капусти білоголової одержали за внесення добрив і меліорантів у нормі  $N_{68}P_{68}K_{68}$  + Біогумус 8 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та Біогумус 8 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га.

Високі якісні показники продукції буряка столового, а саме вміст сухої речовини (14,5 та 15,3%), суми цукрів (12,2 та 12,6%), вітаміну С (15,3 та 15,7) та мінімальними концентраціями нітратів (952 та 903 мг/кг сирової маси) одержали за внесення добрив і меліорантів у нормі  $N_{34}P_{34}K_{34}$  + Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га та Біогумус 4 т/га +  $CaCO_3$  5 т/га. Найменшу якість головок капусти та коренеплодів буряка столового відзначали на контролі (без добрив).

Отже, комплексне застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення на фоні вапнування ґрунту забезпечили добрий врожай та високу якість продукції капусти білоголової та буряка столового.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ДО РОЗДІЛУ 7

260. Білявський Ю. А., Мислива Т. М. Фітотоксичність Cu, Pb, Cd і Zn для овочевих культур – представників родини Brassicaceae. *Вісник Сумського національного*

- аграрного університету: агрономія і біологія*, 2014. Вип. 3 (27). С. 73–77.
261. Снітинський В., Дидів А. Біохімічний склад капусти білоголової залежно від рівня забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання меліорантів та різних системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2016. № 20. С. 3–13.
262. Герасимчук Л. О. Канцерогенний і неканцерогенний ризику від споживання овочевих культур, вирощених на території агроселітебних ландшафтів м. Житомир. *Вісник Житомирського національного агроекологічного університету*. 2015. № 1 (47), т. 1. С. 10–19.
263. 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.
264. 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.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичні і практичні підсумки, які спрямовано на вирішення наукового завдання, а саме розроблення й удосконалення екобезпечного комплексного підходу щодо детоксикації забрудненого кадмієм та свинцем темно-сірого опідзоленого ґрунту з використанням органічної та мінеральної систем удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами, внаслідок чого знижено рухомість  $Cd^{2+}$  та  $Pb^{2+}$  у ґрунті та покращено його екологічний стан, підвищено врожайність і якість капусти білоголової та буряка столового, а також з'ясовано поведінку зазначених ВМ у системі «ґрунт-рослина», що дало змогу сформулювати такі висновки:

1. При внесенні добрив і меліорантів в агрохімічних параметрах ґрунту відзначали певні зміни, зокрема знизилась кислотність, зріс ступінь насичення ґрунту основами, ємність катіонного обміну, а також підвищився у ґрунті вміст гумусу за вірогідної різниці до контролю ( $p < 0,05-0,01$ ). Застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення дозволило у більшій мірі забезпечити рослини капусти білоголової та буряка столового доступними елементами живлення (N, P, K, Ca, Mg, S), аніж застосування тільки мінеральної системи.

2. Застосування органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами значно підвищило біологічну активність ґрунту, внаслідок чого збільшилась інтенсивність виділення  $CO_2$  на 17- 33% за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,01$ . Встановлено, що на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем біологічна активність ґрунту була нижчою, аніж кадмієм.

3. За ступенем чутливості до забруднення темно-сірого ґрунту кадмієм та свинцем ґрунтові ферменти розташувалися так: пероксидаза  $\leq$  поліфенолоксидаза  $\leq$  каталаза  $\leq$  дегідрогеназа  $\leq$  фосфатаза  $\leq$  інвертаза  $\leq$  уреаза. Із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК активність усіх ґрунтових ферментів знизилась на 16,8–72,6%, за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05-0,001$ . Найвищу ферментативну активність ґрунту відзначали за

використання органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення на провапнованому ґрунті за вірогідної різниці до контролю  $p < 0,01$ . Активність пероксидази динамічно змінювалася з іншими ферментами та перебувала в тісній кореляції ( $R^2 = 0,93-0,94$ ) із зростанням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем.

4. Із збільшенням рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК спостерігали тенденцію до збільшення концентрації рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті в усіх варіантах за вірогідної різниці до фону  $p < 0,05-0,001$ . За внесення добрив та меліорантів (вар. 2-7) за вирощування капусти білоголової та буряка столового концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті зменшилась на 15–67% порівняно з контролем – без добрив ( $p < 0,01-0,001$ ). Найменші концентрації рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті на всіх рівнях змодельованого забруднення ВМ відзначали за внесення органічної (вар. 6) та органо-мінеральної (вар. 7) систем удобрення у поєднанні з меліорантами.

5. Спостерігали загальну тенденцію, а саме із зменшенням рухомості ВМ (перехід елемента із валової форми у рухому) зменшувалась відповідно концентрація рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті, знижувались коефіцієнти їх небезпеки, натомість збільшувалась концентрація валових фракцій у ґрунті на кожному рівні забруднення, які переходили у більш стійкі та недоступні комплекси ґрунтовій біоті та кореневій системі рослин. З'ясовано, що рухомість свинцю у ґрунті за використання добрив і меліорантів була меншою, аніж кадмію.

6. Виявлено тісну кореляцію ( $r = 0,81-0,98$ ) між концентрацією рухомих форм  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у ґрунті та концентрацією цих елементів у рослинах. Із збільшенням рівнів змодельованого забрудненням Cd та Pb, динамічно збільшувалася концентрація кадмію та свинцю в капусті білоголової та буряку столовому. За внесення меліорантів у нормі  $\text{CaCO}_3$  5 т/га (вар. 5–7) відзначали у 2,22–4,37 рази менше нагромадження йонів  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Pb}^{2+}$  у рослинах капусти білоголової та буряка столового за вірогідної різниці до контролю (без добрив)  $p < 0,01-0,001$ .

7. Встановлено, що на природному фоні (контроль) найбільше кадмій та свинець концентрувалися в підземній частині кореневої системи *Brassica oleracea*

*var. capitata* L. (0,235 та 4,497 мг/кг), що більше у 14-19 разів, аніж у головці. У зовнішньому качані концентрація Cd та Pb становила 0,081 та 1,946 мг/кг, а у внутрішньому – 0,066 та 1,475 мг/кг. У внутрішніх листках головки капусти (їстівної частини) відзначали найменшу концентрацію йонів Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup>, відповідно 0,017 та 0,238 мг/кг. Натомість у рослинах *Beta vulgaris* L. найбільше кадмій та свинець нагромаджувалися у підземній частині коренеплоду (хвостіку), відповідно 0,324 та 1,465 мг/кг. У м'якуші коренеплоду концентрація Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> становила 0,027 та 0,517 мг/кг. У листовій пластині концентрація Cd була в 3,5 раза більша, ніж у коренеплоді, тоді як Pb, навпаки в 1,58 разів менша.

8. За застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення на фоні вапнування ґрунту відзначали найменшу концентрацію кадмію та свинцю в рослинах капусти білоголової та буряка столового на всіх рівнях змодельованого забруднення ґрунту важкими металами ( $p < 0,01 - 0,001$ ).

9. Активність пероксидази в листках капусти білоголової та буряка столового динамічно змінювалася за основними фенофазами розвитку і залежала безпосередньо від концентрації Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у рослинах. З'ясовано, що концентрація ВМ в овочевих рослинах зростала впродовж періоду вегетації.

10. Найменша активність пероксидази в листках капусти була на фоні у фазі зав'язування головки (контроль – без добрив) – 297 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрації Cd та Pb у листках – 0,014 та 0,271 мг/кг. За рівня забруднення ґрунту Cd та Pb 5 ГДК активність пероксидази на контролі зросла до 594 та 643 ммоль/г сирової маси за 1 хв, а концентрації Cd та Pb – 0,058 та 0,787 мг/кг. З'ясовано, що найменша активність пероксидази в листках буряка столового була на фоні у фазі змикання міжрядь (контроль – без добрив) – 92 ммоль/г сирової маси за 1 хв, при концентрації Cd та Pb у листках – 0,056 та 0,238 мг/кг. Тоді як за рівнів забруднення ґрунту Cd та Pb 5 ГДК, активність зросла відповідно до 197 та 207 ммоль/г сирової маси за 1 хв, при концентрації Cd та Pb – 0,147 та 0,343 мг/кг.

11. Отримані результати свідчать, що із збільшенням змодельованих рівнів забруднення ґрунту кадмієм та свинцем від 1 до 5 ГДК проявлялася фітотоксична дія йонів Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> на пригнічення росту і розвитку рослин *Brassica oleracea var.*

*Capitata* L. та *Beta vulgaris* L., зменшення їх біометричних параметрів за фенофазами розвитку, що вплинуло на зниження урожаю та якісних показників.

### ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

В умовах забруднення агрофітоценозів важкими металами на темно-сірих ґрунтах Західного Лісостепу України за вирощування капусти білоголової та буряка столового пропонуємо застосовувати ефективні й екобезпечні системи удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами.

Для капусти білоголової рекомендуємо: Біогумус 8 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га, а для буряка столового: Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га.

Такі системи удобрення найкраще сприяють зменшенню концентрації рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у темно-сірому ґрунті, а відтак значно знижують їх нагромадження в овочевих рослинах.

## ДОДАТКИ



## Додаток А.

## Таблиці до розділу 1

Таблиця А.1.

## Орієнтовна оціночна шкала небезпеки забруднення ґрунтів за сумарним показником забруднення [115]

Категорія забруднення	Сумарний показник забруднення (Zc)	Вміст елементів відносно ГДК	Можливість використання земель	Зміна показників здоров'я населення в осередках забруднення
Допустима	Менше за 16	Перевищує фоновий, але не вище ГДК	Використовувати під будь-які культури	Найбільш низький рівень захворювань дітей і мінімальна частота функціональних відхилень
Помірно небезпечна	16-32	Перевищує ГДК, але не вище за транслокаційний показник шкідливості	Використовувати під будь-які культури за умови контролю якості рослинної продукції	Збільшення кількості загальних захворювань
Небезпечна	32-128	Перевищує ГДК за транслокаційним показником шкідливості	Використовувати під технічні культури без одержання з них продуктів харчування і кормів. Вилучити рослини-концентратори елементів - забруднювачів	Збільшення загальних захворювань, кількості дітей з хронічними захворюваннями, порушенням функціонального стану серцево-судинної системи
Надзвичайно небезпечна	Більше за 128	Перевищує ГДК за всіма показниками шкідливості	Вилучити з с.-г. використання	Збільшення захворюваності дитячого населення, порушення репродуктивної функції у жінок

Таблиця А.2.

**Принципова схема оцінки ґрунтів сільськогосподарського використання, забруднених хімічними речовинами [109]**

Категорія забруднення ґрунтів	Характеристика забруднення	Можливе використання території	Запропоновані заходи
I. Допустима	Вміст хімічних речовин в ґрунті перевищує фонове, але не вище ГДК	Використання під будь-які культури	Зниження рівня впливу джерел забруднення ґрунту. Здійснення заходів по зниження доступності токсикантів для рослин (Вапнування, внесення органічних добрив і т.п.).
II. Помірно небезпечна	Вміст хімічних речовин в ґрунті перевищує їх ГДК при лімітуючому загально-санітарному, міграційному водному і міграційному повітряному показниках шкідливості, але нижче допустимого рівня по транс локаційному показнику	Використання під будь-які культури за умови контролю якості сільськогосподарських рослин	Заходи, аналогічні для категорії I. При наявності речовин з лімітуючими міграційними водними або міграційними повітряними показниками проводиться контроль за вмістом цих речовин в зоні дихання с/г робітників та у воді місцевих водних джерел
III. Високо небезпечна	Вміст хімічних речовин в ґрунті перевищує їх ГДК при лімітуючому транслокаційному показнику шкідливості	Використання під технічні культури Використання під с/г культури обмежено з урахуванням рослин-концентраторів	1. Крім заходів, зазначених для категорії I, обов'язковий контроль за вмістом токсикантів в рослинах - продуктах харчування та кормах. 2. При необхідності вирощування рослин – продуктів харчування - рекомендується їх перемішування з продуктами, вирощеними на чистому ґрунті. 3. Обмеження у використанні зеленої маси на корм худобі з урахуванням рослин концентраторів
IV. Надзвичайно небезпечна	Вміст хімічних речовин перевищує ГДК в ґрунті за всіма показниками шкідливості	Використання під технічні культури або вилучення з сільськогосподарського використання. Лісозахисні смуги	Заходи щодо зниження рівня забруднення і зв'язування токсикантів в ґрунті. Контроль за вмістом токсикантів в зоні дихання с/г робітників та у воді місцевих водних джерел

**Заходи детоксикації та можливі шляхи використання забруднених ґрунтів з різним ступенем забруднення важкими металами [137]**

Категорії забруднення	Можливе використання території	Заходи щодо зниження рівня забруднення
I допустиме	Під всі сільськогосподарські культури	Контроль за якістю с.-г. продукції; при підвищеній в ній концентрації металів-токсикантів (вище ГДК) проводити заходи по детоксикації з урахуванням ґрунтових властивостей (внесення кальцій – або фосфоровмісних сполук, органічних добрив та ін., тобто речовин які зв'язують їх в недоступні для рослин сполуки).
II помірно небезпечне	Під сільськогосподарські культури, крім овочевих	Заходи аналогічні I категорії забруднення. Вибір токсикантів з урахуванням пріоритетних металів-забруднювачів і процесів антагонізму, а також ґрунтових властивостей.
III небезпечне	Під технічні культури з можливим підбором рослин концентраторів	Контроль за рівнем врожаю та його якістю. При зниженій його проводити детоксикацію з урахуванням пріоритетних металів-забруднювачів. Контроль за рівнем родючості ґрунту (рН, ємність поглинання, гумус та ін)
IV надзвичайно небезпечне	Під декоративні культури, лісні насадження з урахуванням рослин концентраторів	Виключення земель із сільськогосподарського виробництва. Посів рослин-концентраторів та утилізація вирощеної продукції (напр., трави). Рекультивація земель за урахування вертикальної міграції металів (вилучення орного шару, плантажна оранка, змішування з незабрудненим ґрунтом)

**Групування ґрунтів за ступенем кислотності та  
їх потреба у вапнуванні [117]**

Номер групи	Ступінь кислотності	Нормативні показники кислотності		Потреба у вапнуванні
		pH КСl	Нг, мг-екв. На 100 г ґрунту	
1	Дуже сильнокислі	<4	>6	Ґрунти потребують першочергового вапнування у всіх зонах України і всіх типах сівозмін
2	Сильнокислі	4,6-5,0	4,1-5,0	Ґрунти потребують першочергового вапнування у всіх зонах України і всіх типах сівозмін
3	Середньокислі	5,1-5,5	3,1-4,0	Ґрунти потребують першочергового вапнування в зонах Полісся та Лісостепу. Середня потреба у вапнуванні ґрунтів Прикарпаття й Західного Лісостепу, слабка - у гірських районах Карпат. Першими вапнують овочеві та кормові сівозміни на супіщаних і суглинкових фунтах, середня потреба в польових сівозмінах на піщаних ґрунтах
4	Слабокислі	5,6-6,0	2,1-3,0	Середня потреба ґрунтів у вапнуванні в зонах Полісся й Лісостепу, слабка - у Передкарпатті, відсутня - в гірських районах Карпат. Велика потреба у вапнуванні супіщаних і суглинкових ґрунтів, особливо в сівозмінах з травами, кормових та овочевих. В останню чергу вапнують піщані та глинисто-піщані ґрунти.
5	Близькі до нейтральних	4,6-5,0	4,1-5,0	Вапнування необхідне в зоні Полісся на супіщаних, піщаних глинисто-піщаних ґрунтах. Доцільне ґрунтах. Доцільне - на опідзолених ґрунтах Лісостепу. Вапнуються вибірково супіщані та суглинкові ґрунти в сівозмінах з вимогливими до вапна культурами.
6	Нейтральні	>6	<2,0	Вапнування не потребують

## Додаток Б.

## Таблиці і рисунки до розділу 2

## Таблиця Б.1

## Склад та характеристика органічного добрива Біогумус\*

Показник	Значення
- N загальний	1,8%
- P загальний	1,9%
- K загальний	2,4%
- Ca загальний	6,2%
- Mg загальний	1,7%;
- S загальна	0,26%;
- рН	7,2;
- Органічна речовина	58%,
- Гумінові речовини	29%.
- Вологість	35%.
- Масова частка домішок Cd та Pb, не більше	0,0001%

Примітка: \*Біогумус – унікальне органічне добриво, продукт життєдіяльності вермікультури (каліфорнійського червоного хробака), а саме результату переробки підстилкового гною ВРХ, тирси, торфу тощо. Безпечний в користуванні і не потребує характерних для добрив засобів безпеки. Тривалість дії Біогумусу більше 3-5 років. До свого складу включає гумусові речовини (гумати, амонію, калію, фульвокислоти, 18 амінокислот, вітаміни, природні фітогормони, макроелементи: азот, калій, фосфор, магній, кальцій, - легкозасвоюваних формах та мікроелементи: Cu, Mn, Zn, Вр, Fe і спори ґрунтових мікроорганізмів. Виявлено сліди Cd та Pb не більше 0,1 ppm. Не містить патогенної мікрофлори та яйця гельмінтів. Відновлює структуру ґрунту, його водно-повітряний режим, збагачує ґрунт потрібними мікроорганізмами, створює поживну органічну основу, як для рослин так і для мікроорганізмів.

Ефективність біогумусу:

- ✓ значно підвищує врожайність і покращує смакові якості вирощуваної сільськогосподарської продукції;
- ✓ за ефективності 1 тонна біогумусу замінює 10 тонн гною;
- ✓ забезпечує міцний імунітету рослин, підвищує їх стійкості до стресових ситуацій, несприятливих погодніх умов, бактеріальних і гнилісних захворювань;
- ✓ сприяє швидкому відновленні природньої родючості ґрунту, покращує його структуру та здоров'я;
- ✓ забезпечує меттєве рагування рослина і насіння на нього, що скорочує терміни проростання насіння, прискорює ріст і зацвітання рослин, скорочує терміни дозрівання плодів та овочів;
- ✓ містить гумінові речовини, природні амінокислоти, ферменти, вітаміни, ауксини, гормони росту, ґрунтові антибіотики, що забезпечує оптимальний ріст і розвиток рослин;
- ✓ Зв'язує в ґрунті важкі метали та радіонукліди, перешкоджає накопиченню рослинами нітратів, що робить вирощену продукцію екологічно безпечною.

**Склад та характеристика мінерального добрив Нітроамофоска  
марки (А) 16:16:16\***

Найменування показника	Норма
Масова частка азоту (N), %	16+/-1
Масова частка засвоєного фосфору (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ), %	16+/-1
Масова частка водорозчинних фосфатів в перерахунку на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %, не менше	10
Масова частка калію в перерахунку на K <sub>2</sub> O, %	16+/-1
Масова частка води,%, не більше (нормується на момент відвантаження)	1
Гранулометричний склад, масова частка гранул розміром: менше 1 мм,%, не більше від 1 до 4 мм,%, не менше менше 6 мм,%	3 90 100
Розсипчастість, %	100
Статична міцність гранул, МПа (кгс/см <sup>2</sup> ), не менше	3 (30)
Питома активність суми природних радіонуклідів, кБк/кг, не більше	4
Масова частка домішок,%, не більше кадмію свинцю ртуті миш'яку цинку міді	0,0002 0,005 0,0002 0,001 0,01 0,02
Відповідає вимогам:	Nitroammophoska. Specifications згідно ТУ У 24.1-32050875-001:2009 та ГОСТ 19691-84 Нітроамофоска. Технічні умови (зі змінами № 1, № 2).

Примітка: \*Нітроамофоска – одне з найкращих та універсальних, комплексних, фізіологічно нейтральних мінеральних добрив пролонгованої дії.

Являє собою гранули світло-рожевого кольору. Добриво – концентроване, азотно-фосфорно-калійне, гранульоване. Кожна гранула містить по 16% азоту (N), фосфору (P) і калію (K), корисні речовини рівномірно розподіляються у ґрунті, переважаючи за цим показником тукові суміші. Елементи живлення містяться у формі водорозчинних та легкодоступних для рослин сполук:  $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ,  $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ ,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ ,  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{KNO}_3$ ,  $\text{CaHPO}_4$ . Фосфор нітроамофоски більш рухомий у ґрунті, ніж фосфор суперфосфату, і легко засвоюється рослинами.

Добриво також здатне підвищити стійкість рослин до морозів та посухи. Застосування нітроамофоски у разі зменшує ризик ураження борошнистою росою, іржею та кореневою гниллю. Ефективність удобрення нітроамофоскою підвищується при додатковому внесенні азотних добрив.

Нітроамофоску NPK 16:16:16 вносять як основне і передпосівне добриво на всіх типах ґрунтів під всі сільськогосподарські культури. За основного внесення на чорноземах і ґрунтах важкого гранулометричного складу нітроамофоску доцільно вносити з осені під зяблеву оранку, а на ґрунтах легкого гранулометричного складу - навесні.

Ряд переваг нітроамофоски, порівняно з іншими міндобривами:

- в одній гранулі міститься три елементи мінерального живлення, що забезпечує їх високу позиційну доступність рослинам;
- висока якість грануляції: рівномірність внесення;
- містить водорозчинні легкодоступні рослинам сполуки елементів мінерального живлення;
- містить менше баластних сполук, особливо важких металів;
- можливе застосування в умовах недостатнього зволоження;
- застосовують на всіх типах ґрунтів та для забезпечення фізіологічних властивостей різних сільськогосподарських;
- забезпечує сталу врожайність, покращує якість продукції, яку можна використовувати для дитячого і дієтичного харчування;
- не злежується при зберіганні;
- відсутня гігроскопічність;
- володіє стовідсотковою розсипчастою;
- забезпечує зниження витрат на транспортування, зберігання та використання
- нетоксична, не вибухає, пожежобезпечна.

## 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 $\text{CaCO}_3$ та $\text{MgCO}_3$ , %, не менше	87,7
Додатково мінерали та мікроелементи, %:	
- окис заліза $\text{Fe}_2\text{O}_3$	0,4
- окис сірки $\text{SO}_3$	6,3
- окис кальцію $\text{CaO}$	46,2
- окис магнію $\text{MgO}$	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 – осадова гірська порода, що складається головним чином з кальциту ( $\text{CaCO}_3$ ) і є найпоширенішим різновидом карбонату кальцію. Вапняне борошно (мінеральний порошок) – отримують розмелюванням вапняків. У воді воно важкорозчинне, тому ефективність його значно залежить від тонини помелу. Вапняне борошно містить карбонатів кальцію і магнію в перерахунку на  $\text{CaCO}_3$  більше як 85 %; вологість – не менш як 2 %; вміст часточок розміром 0,25 мм – не менш як 60 %; понад 1 мм – не більш як 10 %. За дією на властивості ґрунту і врожай сільськогосподарських культур на ґрунтах, добре забезпечених магнієм, воно наближається до доломітового борошна.

В Україні, за даними великомасштабного агрохімічного обстеження, більше 20% земель мають підвищену кислотність (низький показник рН). Це означає, що їх родючість низька, і внесення добрив малоефективне. Як наслідок, у сівозмінах переважають культури, стійкіші до кислотності ґрунту, проте менш продуктивні. Знижується й ефективність землеробства. Таким чином, на більшість сільськогосподарських культур підвищена кислотність ґрунту чинить негативну дію, і вони позитивно відгукуються на вапнування. Підвищена кислотність сприяє розвитку в ґрунті грибів, серед яких багато паразитів та збудників різних хвороб рослин.



## Додаток В.

## Таблиці до розділу 3

## Таблиця В.1

Вплив добрива та меліорантів на ферментативну активність ґрунту за вирощування капусти білоголової при змодельованому забрудненні ґрунту кадмієм

Рівні змодельованого забруднення ґрунту Cd <sup>2+</sup>	Варіант	Активність ґрунтових ферментів						
		Пероксидаза, мг пурпургалну на 100 г ґрунту	Поліфенолоксидаза, мг пурпургалну на 100 г ґрунту	Каталаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв	Дегідрогеназа, мг ТФФ на 10 г ґрунту за 24 год	Уреаза, мг H <sub>2</sub> на 10 г ґрунту за 24 год	Фосфатаза, мг фенолфталейну на 10 г ґрунту за 1 год	Інвертаза, мг глюкози на 1 г ґрунту за 24 год
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	87,6	105,2	7,71	2,84	4,50	2,32	24,5
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	95,3	117,8 <sup>+</sup>	8,44	3,13 <sup>+</sup>	5,14 <sup>+</sup>	2,72 <sup>+</sup>	27,9 <sup>+</sup>
	3) Біогумус 8 т/га	119,2 <sup>++</sup>	145,5 <sup>++</sup>	10,12 <sup>++</sup>	3,79 <sup>++</sup>	6,09 <sup>++</sup>	3,45 <sup>++</sup>	36,0 <sup>++</sup>
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	103,8 <sup>+</sup>	131,4 <sup>+</sup>	9,05 <sup>+</sup>	3,43 <sup>+</sup>	5,57 <sup>++</sup>	3,01 <sup>+</sup>	31,3 <sup>+</sup>
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	131,7 <sup>++</sup>	159,0 <sup>++</sup>	11,13 <sup>++</sup>	4,26 <sup>++</sup>	6,46 <sup>++</sup>	3,54 <sup>++</sup>	40,4 <sup>++</sup>
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	154,2 <sup>++</sup>	181,7 <sup>++</sup>	12,97 <sup>++</sup>	5,17 <sup>++</sup>	7,75 <sup>++</sup>	4,33 <sup>++</sup>	46,5 <sup>++</sup>
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	143,4 <sup>++</sup>	168,8 <sup>++</sup>	12,02 <sup>++</sup>	4,65 <sup>++</sup>	7,13 <sup>++</sup>	3,91 <sup>++</sup>	43,2 <sup>++</sup>
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	69,4*	89,0*	6,28*	2,38*	3,78*	1,95*	21,39*
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	75,5*	99,7*	6,87*	2,63*	4,32*	2,28*	24,36*
	3) Біогумус 8 т/га	94,4*	123,1*	8,24*	3,18*	5,24	2,89*	31,43*
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	86,2*	111,2*	7,37*	2,88*	4,68*	2,53*	27,32*
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	104,3*	134,5*	9,06*	3,57*	5,43	2,97*	35,27*
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	122,1*	153,7*	10,56*	4,34	6,82	3,87	43,59
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	113,6*	142,8*	9,78*	3,90*	6,05	3,44*	38,71
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	54,6**	57,5**	4,84**	1,51**	3,16**	1,43**	16,81**
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	59,4**	64,4**	5,30**	1,67**	3,97*	1,68**	19,14**
	3) Біогумус 8 т/га	74,3**	79,6**	6,36**	2,02**	4,70*	2,13**	24,70**
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	64,7**	71,9**	5,68**	1,83**	4,31*	1,85**	21,47**
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	82,0**	87,0**	6,99**	2,24**	4,98*	2,18**	27,72**
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	96,1**	99,4**	8,15**	2,76**	6,53*	3,07*	35,90*
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	89,3**	92,3**	7,55**	2,48**	5,50*	2,41**	29,64*
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	31,3***	42,3***	2,94***	1,08***	2,39***	0,80***	9,97***
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	34,0***	47,0***	3,22***	1,20***	3,18**	0,93***	11,36***
	3) Біогумус 8 т/га	42,6***	58,1***	3,86***	1,45***	3,77**	1,18***	14,65**
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	37,1***	52,5***	3,45***	1,31***	3,45**	1,03***	12,74***
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	47,2***	63,4***	4,24***	1,63***	4,06**	1,21***	16,44**
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	55,0***	72,5***	4,96***	1,97***	4,80**	1,95**	18,93**
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,3***	67,2***	4,58***	1,78***	4,41**	1,34***	17,58**

Примітки: 1. <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>++</sup> –  $p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – 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.

Таблиця В.2

Вплив добрива та меліорантів на ферментативну активність ґрунту за вирощування капусти білоголової при змодельованому забрудненні ґрунту свинцем

Рівні змодельованого забруднення ґрунту Pb <sup>2+</sup>	Варіант	Активність ґрунтових ферментів						
		Пероксидаза, мг пурпургалуну на 100 г ґрунту	Поліфенолоксидаза, мг пурпургалуну на 100 г ґрунту	Кагалаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв	Дегідрогеназа, мг ТФФ на 10 г ґрунту за 24 год	Уреаза, мг H <sub>2</sub> на 10 г ґрунту за 24 год	Фосфатаза, мг фенолфталейну на 10 г ґрунту за 1 год	Інвертаза, мг глюкози на 1 г ґрунту за 24 год
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	87,6	105,2	7,71	2,84	4,50	2,32	24,5
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	95,3	117,8 <sup>+</sup>	8,44	3,13 <sup>+</sup>	5,14 <sup>+</sup>	2,72 <sup>+</sup>	27,9 <sup>+</sup>
	3) Біогумус 8 т/га	119,2 <sup>++</sup>	145,5 <sup>++</sup>	10,12 <sup>++</sup>	3,79 <sup>++</sup>	6,09 <sup>++</sup>	3,45 <sup>++</sup>	36,0 <sup>++</sup>
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	103,8 <sup>+</sup>	131,4 <sup>+</sup>	9,05 <sup>+</sup>	3,43 <sup>+</sup>	5,57 <sup>++</sup>	3,01 <sup>+</sup>	31,3 <sup>+</sup>
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	131,7 <sup>++</sup>	159,0 <sup>++</sup>	11,13 <sup>++</sup>	4,26 <sup>++</sup>	6,46 <sup>++</sup>	3,54 <sup>++</sup>	40,4 <sup>++</sup>
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	154,2 <sup>++</sup>	181,7 <sup>++</sup>	12,97 <sup>++</sup>	5,17 <sup>++</sup>	7,75 <sup>++</sup>	4,33 <sup>++</sup>	46,5 <sup>++</sup>
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	143,4 <sup>++</sup>	168,8 <sup>++</sup>	12,02 <sup>++</sup>	4,65 <sup>++</sup>	7,13 <sup>++</sup>	3,91 <sup>++</sup>	43,2 <sup>++</sup>
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	61,1**	87,0*	6,07*	2,32*	3,66*	1,88*	20,24*
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	66,5*	97,4*	6,64*	2,56*	4,18*	2,20*	23,05*
	3) Біогумус 8 т/га	83,2*	120,3*	7,96*	3,10*	4,95	2,79*	29,74*
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	72,5*	108,7*	7,12*	2,80*	4,53*	2,44*	25,85*
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	91,9*	131,5*	8,76*	3,48*	5,26	2,87*	33,37*
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	107,6*	150,4*	10,21*	4,22	6,30	3,80	42,41
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	100,3*	139,6*	9,46*	3,80*	5,80	3,37*	37,68
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	50,5**	54,3**	4,40**	1,41**	3,36**	1,35**	14,75**
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	54,9**	60,8**	4,82**	1,55**	3,84**	1,59**	16,80**
	3) Біогумус 8 т/га	68,7**	75,1**	5,78**	1,88**	4,55**	2,01**	21,67**
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	59,4**	67,5**	5,17**	1,70**	4,12**	1,75**	18,84**
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	75,2**	82,0**	6,36**	2,11**	4,83**	2,06**	24,32**
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	88,8**	93,8**	7,41**	2,56**	5,79*	2,82*	33,59*
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	82,6**	87,2**	6,86**	2,33**	5,33*	2,28**	27,41*
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	24,0***	36,3***	2,10***	0,91***	2,14***	0,67***	8,50***
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	26,1***	40,6***	2,30***	1,03**	2,84**	0,78***	9,68***
	3) Біогумус 8 т/га	32,7***	50,2***	2,75***	1,22***	3,52**	0,99***	13,49**
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	28,4***	45,3***	2,46***	1,10***	3,25**	0,87***	10,86***
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	36,1***	54,9***	3,03***	1,37***	3,77**	1,02***	14,02***
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	42,3***	62,7***	3,54***	1,66***	4,52**	1,87**	17,14**
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	39,3***	58,2***	3,27***	1,49***	4,16**	1,13***	15,97**

Примітки: 1. <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>++</sup> –  $p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – без добрив; 2. \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$ ; \*\*\* –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем порівняно з фоном.

Таблиця В.3

Вплив добрива та меліорантів на ферментативну активність ґрунту за вирощування буряка столового при змодельованому забрудненні ґрунту кадмієм

Рівні змодельованого забруднення ґрунту Cd	Варіант досліджу	Активність ґрунтових ферментів						
		Пероксидаза, мг пурпургалну на 100 г ґрунту	Поліфенолоксидаза, мг пурпургалну на 100 г ґрунту	Каталаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв	Дегідрогеназа, мг ТФФ на 10 г ґрунту за 24 год	Уреаза, мг H <sub>2</sub> на 10 г ґрунту за 24 год	Фосфатаза, мг фенолфталейну на 10 г ґрунту за 1 год	Інвертаза, мг глюкози на 1 г ґрунту за 24 год
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	87,3	104,6	7,33	2,78	4,43	2,27	23,9
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	92,2	113,5 <sup>+</sup>	7,82	2,99	4,97	2,56 <sup>+</sup>	26,4
	3) Біогумус 4 т/га	104,6 <sup>+</sup>	130,4 <sup>+</sup>	8,70 <sup>+</sup>	3,31 <sup>+</sup>	5,68 <sup>+</sup>	2,93 <sup>+</sup>	29,1 <sup>+</sup>
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	97,5 <sup>+</sup>	122,0 <sup>+</sup>	8,21 <sup>+</sup>	3,10 <sup>+</sup>	5,22 <sup>+</sup>	2,69 <sup>+</sup>	27,6 <sup>+</sup>
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	113,7 <sup>++</sup>	141,7 <sup>++</sup>	9,19 <sup>+</sup>	3,76 <sup>++</sup>	6,04 <sup>+</sup>	3,15 <sup>++</sup>	31,2 <sup>+</sup>
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	130,2 <sup>++</sup>	152,8 <sup>++</sup>	10,46 <sup>++</sup>	4,25 <sup>++</sup>	6,71 <sup>++</sup>	3,52 <sup>++</sup>	37,5 <sup>++</sup>
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га +5 т/га CaCO <sub>3</sub>	121,4 <sup>++</sup>	146,3 <sup>++</sup>	9,62 <sup>++</sup>	4,09 <sup>++</sup>	6,37 <sup>++</sup>	3,28 <sup>++</sup>	34,7 <sup>++</sup>
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	65,3*	85,8*	5,67*	2,25*	3,66*	1,81*	19,29*
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	69,0*	93,1*	6,04*	2,42*	4,11*	2,04*	21,30*
	3) Біогумус 4 т/га	78,2*	106,9*	6,73*	2,67*	4,90	2,33*	23,48*
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	72,9*	100,0*	6,35*	2,50*	4,32*	2,14*	22,27*
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	85,0*	116,2*	7,10*	3,04*	5,13	2,51*	25,16*
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	97,4*	125,3*	8,15*	3,73	5,95	3,28	34,02
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га +5 т/га CaCO <sub>3</sub>	90,8*	120,4*	7,44*	3,30*	5,57	2,72*	31,34
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	50,7**	54,0**	4,14**	1,42**	3,17**	1,29**	14,32**
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	53,6**	58,6**	4,43**	1,53**	3,65*	1,45**	15,81**
	3) Біогумус 4 т/га	60,8**	67,3**	4,92**	1,69**	4,17*	1,66**	20,50**
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	56,5**	63,1**	4,65**	1,58**	3,84*	1,53**	16,53**
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	66,1**	73,8**	5,19**	1,92**	4,44*	1,79**	20,69**
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	75,9**	78,4**	5,92**	2,17**	4,93*	2,68*	28,46*
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га +5 т/га CaCO <sub>3</sub>	70,2**	75,7**	5,40**	2,09**	4,68*	1,86**	24,75*
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	26,1***	37,6***	2,00***	0,95***	2,54**	0,65***	7,48***
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	27,6***	40,7**	2,13***	1,03***	2,85**	0,73***	8,26***
	3) Біогумус 4 т/га	31,3***	46,8***	2,38***	1,14***	3,21**	0,84***	12,91**
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	29,2***	43,2***	2,24***	1,06***	2,99**	0,77***	8,64***
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,0***	50,9***	2,51***	1,29***	3,46**	0,90***	12,77***
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	38,9***	54,4***	2,86***	1,46***	3,88**	1,79**	19,75**
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га +5 т/га CaCO <sub>3</sub>	36,3***	52,7***	2,63***	1,40***	3,65**	1,23***	16,86**

Примітки: 1. <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>++</sup> –  $p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – 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.

Таблиця В.4

Вплив добрива та меліорантів на ферментативну активність ґрунту за вирощування буряка столового при змодельованому забрудненні ґрунту свинцем

Рівні змодельованого забруднення ґрунту Pb <sup>2+</sup>	Варіант	Активність ґрунтових ферментів						
		Пероксидаза, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту	Поліфенолоксидаза, мг пурпургаліну на 100 г ґрунту	Кагалаза, мг O <sub>2</sub> на 1 г ґрунту за 1 хв	Дегідрогеназа, мг ТФФ на 10 г ґрунту за 24 год	Уреаза, мг H <sub>2</sub> на 10 г ґрунту за 24 год	Фосфатаза, мг фенолфталейну на 10 г ґрунту за 1 год	Інвертаза, мг глюкози на 1 г ґрунту за 24 год
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	87,3	104,6	7,33	2,78	4,43	2,27	23,9
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	92,2	113,5 <sup>+</sup>	7,82	2,99	4,97	2,56 <sup>+</sup>	26,4
	3) Біогумус 4 т/га	104,6 <sup>+</sup>	130,4 <sup>+</sup>	8,70 <sup>+</sup>	3,31 <sup>+</sup>	5,68 <sup>+</sup>	2,93 <sup>+</sup>	29,1 <sup>+</sup>
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	97,5 <sup>+</sup>	122,0 <sup>+</sup>	8,21 <sup>+</sup>	3,10 <sup>+</sup>	5,22 <sup>+</sup>	2,69 <sup>+</sup>	27,6 <sup>+</sup>
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	113,7 <sup>++</sup>	141,7 <sup>++</sup>	9,19 <sup>+</sup>	3,76 <sup>++</sup>	6,04 <sup>+</sup>	3,15 <sup>++</sup>	31,2 <sup>+</sup>
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	130,2 <sup>++</sup>	152,8 <sup>++</sup>	10,46 <sup>++</sup>	4,25 <sup>++</sup>	6,71 <sup>++</sup>	3,52 <sup>++</sup>	37,5 <sup>++</sup>
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	121,4 <sup>++</sup>	146,3 <sup>++</sup>	9,62 <sup>++</sup>	4,09 <sup>++</sup>	6,37 <sup>++</sup>	3,28 <sup>++</sup>	34,7 <sup>++</sup>
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль))	56,4 <sup>**</sup>	83,4 <sup>*</sup>	5,48 <sup>*</sup>	2,19 <sup>*</sup>	3,45 <sup>*</sup>	1,73 <sup>*</sup>	18,40 <sup>*</sup>
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	59,6 <sup>**</sup>	90,5 <sup>*</sup>	5,85 <sup>*</sup>	2,35 <sup>*</sup>	3,87 <sup>*</sup>	1,95 <sup>*</sup>	20,33 <sup>*</sup>
	3) Біогумус 4 т/га	67,1 <sup>**</sup>	103,9 <sup>*</sup>	6,51 <sup>*</sup>	2,60 <sup>*</sup>	4,42 <sup>*</sup>	2,29 <sup>*</sup>	22,41 <sup>*</sup>
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	63,0 <sup>**</sup>	97,2 <sup>*</sup>	6,14 <sup>*</sup>	2,44 <sup>*</sup>	4,06 <sup>*</sup>	2,04 <sup>*</sup>	21,25 <sup>*</sup>
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	73,5 <sup>**</sup>	112,6 <sup>*</sup>	6,87 <sup>*</sup>	2,96 <sup>*</sup>	4,70	2,41 <sup>*</sup>	24,04 <sup>*</sup>
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	84,2 <sup>**</sup>	121,8 <sup>*</sup>	7,83 <sup>*</sup>	3,37	5,22	3,07	32,88
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	78,3 <sup>**</sup>	117,0 <sup>*</sup>	7,20 <sup>*</sup>	3,21 <sup>*</sup>	4,96	2,50 <sup>*</sup>	28,72
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	45,8 <sup>**</sup>	49,6 <sup>**</sup>	3,77 <sup>**</sup>	1,29 <sup>**</sup>	2,98 <sup>**</sup>	1,17 <sup>**</sup>	12,69 <sup>**</sup>
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	48,4 <sup>**</sup>	54,0 <sup>**</sup>	4,04 <sup>**</sup>	1,38 <sup>**</sup>	3,46 <sup>*</sup>	1,32 <sup>**</sup>	14,02 <sup>**</sup>
	3) Біогумус 4 т/га	54,9 <sup>**</sup>	62,5 <sup>**</sup>	4,49 <sup>**</sup>	1,53 <sup>**</sup>	3,95 <sup>*</sup>	1,51 <sup>**</sup>	15,45 <sup>**</sup>
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	51,2 <sup>**</sup>	58,1 <sup>**</sup>	4,24 <sup>**</sup>	1,44 <sup>**</sup>	3,63 <sup>*</sup>	1,39 <sup>**</sup>	14,66 <sup>**</sup>
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	59,7 <sup>**</sup>	67,4 <sup>**</sup>	4,75 <sup>**</sup>	1,74 <sup>**</sup>	4,20 <sup>*</sup>	1,63 <sup>**</sup>	18,57 <sup>**</sup>
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	68,4 <sup>**</sup>	72,7 <sup>**</sup>	5,41 <sup>**</sup>	1,97 <sup>**</sup>	4,67 <sup>*</sup>	2,46 <sup>*</sup>	26,29 <sup>*</sup>
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	63,7 <sup>**</sup>	69,9 <sup>**</sup>	4,96 <sup>**</sup>	1,89 <sup>**</sup>	4,43 <sup>*</sup>	1,69 <sup>**</sup>	23,43 <sup>**</sup>
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	18,9 <sup>***</sup>	30,1 <sup>***</sup>	1,47 <sup>***</sup>	0,73 <sup>***</sup>	2,15 <sup>***</sup>	0,52 <sup>***</sup>	6,12 <sup>***</sup>
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	20,0 <sup>***</sup>	32,7 <sup>***</sup>	1,55 <sup>***</sup>	0,78 <sup>***</sup>	2,52 <sup>**</sup>	0,59 <sup>***</sup>	6,76 <sup>***</sup>
	3) Біогумус 4 т/га	22,7 <sup>***</sup>	37,6 <sup>***</sup>	1,74 <sup>***</sup>	0,86 <sup>***</sup>	2,89 <sup>**</sup>	0,68 <sup>***</sup>	7,45 <sup>***</sup>
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	21,2 <sup>***</sup>	35,2 <sup>***</sup>	1,63 <sup>***</sup>	0,82 <sup>***</sup>	2,65 <sup>**</sup>	0,62 <sup>***</sup>	7,07 <sup>***</sup>
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	24,7 <sup>***</sup>	40,8 <sup>***</sup>	1,85 <sup>***</sup>	0,98 <sup>***</sup>	3,07 <sup>**</sup>	0,73 <sup>***</sup>	10,99 <sup>***</sup>
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	28,3 <sup>***</sup>	44,0 <sup>***</sup>	2,11 <sup>***</sup>	1,11 <sup>***</sup>	3,41 <sup>**</sup>	1,35 <sup>**</sup>	16,63 <sup>**</sup>
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	26,4 <sup>***</sup>	42,3 <sup>***</sup>	1,93 <sup>***</sup>	1,07 <sup>***</sup>	3,24 <sup>**</sup>	0,76 <sup>***</sup>	13,42 <sup>**</sup>

Примітки: 1. <sup>+</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>++</sup> –  $p < 0,01$ , різниця вірогідна між показниками на фоні порівняно до контролю – без добрив; 2. <sup>\*</sup> –  $p < 0,05$ ; <sup>\*\*</sup> –  $p < 0,01$ ; <sup>\*\*\*</sup> –  $p < 0,001$ , різниця вірогідна між показниками на змодельованих рівнях забруднення ґрунту свинцем порівняно з фоном.

Додаток Д.  
Таблиці до розділу 4

Таблиця Д.1

Вплив добрив та меліорантів на концентрацію валових і рухомих форм кадмію у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування капусти білоголової (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм
1) Без добрив (контроль)	$\frac{0,156}{0,730}$	21,36	0,22	$\frac{0,357^{**}}{1,450^{**}}$	24,64	0,51	$\frac{0,802^{***}}{2,870^{***}}$	27,93	1,15	$\frac{1,338^{***}}{3,250^{***}}$	41,17	1,91
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	$\frac{0,112^+}{0,820^+}$	13,66	0,16	$\frac{0,274^{**}}{1,560^{**}}$	17,59	0,39	$\frac{0,633^{***}}{2,830^{***}}$	22,37	0,90 <sup>***</sup>	$\frac{1,068^{***}}{3,420^{***}}$	31,22	1,53
3) Біогумус 8 т/га	$\frac{0,090^{++}}{0,960^+}$	9,37	0,13	$\frac{0,235^{**}}{1,730^{**}}$	13,58	0,34	$\frac{0,547^{***}}{3,180^{***}}$	17,19	0,78	$\frac{0,873^{***}}{3,920^{***}}$	22,28	1,25
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	$\frac{0,096^{++}}{0,890^+}$	10,81	0,14	$\frac{0,252^{**}}{1,680^{**}}$	15,02	0,36	$\frac{0,617^{***}}{2,910^{***}}$	21,19	0,88	$\frac{1,010^{***}}{3,630^{***}}$	27,83	1,44
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,074^{++}}{1,130^{++}}$	6,54	0,11	$\frac{0,197^{**}}{1,950^{**}}$	10,12	0,28	$\frac{0,486^{***}}{3,460^{***}}$	14,04	0,69	$\frac{0,752^{***}}{4,330^{***}}$	17,36	1,07
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,051^{+++}}{1,550^{++}}$	3,30	0,07	$\frac{0,136^{***}}{2,650^{**}}$	5,15	0,19	$\frac{0,337^{***}}{4,120^{***}}$	8,19	0,48	$\frac{0,652^{***}}{6,250^{***}}$	10,43	0,93
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,063^{+++}}{1,350^{++}}$	4,67	0,09	$\frac{0,186^{**}}{2,180^{**}}$	8,53	0,27	$\frac{0,410^{***}}{3,620^{***}}$	11,33	0,59	$\frac{0,692^{***}}{4,590^{***}}$	15,08	0,99

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

Таблиця Д.2

Вплив добрив та меліорантів на концентрацію валових і рухомих форм свинцю у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування капусти білоголової (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Pb <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки (K <sub>н</sub> ) рухомих форм
1) Без добрив (контроль)	$\frac{0,843}{12,53}$	6,73	0,42	$\frac{1,334^{**}}{18,74^{**}}$	7,12	0,67	$\frac{2,581^{***}}{31,29^{***}}$	8,25	1,29	$\frac{4,304^{***}}{42,32^{***}}$	10,17	2,15
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	$\frac{0,569^{+}}{12,62}$	4,51	0,28	$\frac{0,938^{**}}{19,07^{**}}$	4,92	0,47	$\frac{1,886^{***}}{32,86^{***}}$	5,74	0,94	$\frac{3,235^{***}}{43,95^{***}}$	7,36	1,62
3) Біогумус 8 т/га	$\frac{0,462^{++}}{15,19^{+}}$	3,04	0,23	$\frac{0,822^{**}}{22,41^{**}}$	3,67	0,41	$\frac{1,706^{***}}{34,95^{***}}$	4,88	0,85	$\frac{2,798^{***}}{47,74^{***}}$	5,86	1,40
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	$\frac{0,510^{++}}{13,02}$	3,92	0,26	$\frac{0,841^{**}}{20,13^{**}}$	4,18	0,42	$\frac{1,812^{***}}{33,18^{***}}$	5,46	0,91	$\frac{3,053^{***}}{44,06^{***}}$	6,93	1,53
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,406^{++}}{17,34^{++}}$	2,34	0,20	$\frac{0,714^{**}}{23,12^{**}}$	3,09	0,36	$\frac{1,534^{***}}{36,18^{***}}$	4,24	0,77	$\frac{2,671^{***}}{51,46^{***}}$	5,19	1,34
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,247^{+++}}{20,28^{++}}$	1,22	0,12	$\frac{0,452^{**}}{26,77^{*}}$	1,69	0,23	$\frac{0,998^{***}}{43,38^{**}}$	2,30	0,50	$\frac{1,885^{***}}{55,13^{***}}$	3,42	0,94
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	$\frac{0,354^{+++}}{19,13^{++}}$	1,85	0,18	$\frac{0,546^{**}}{24,06^{*}}$	2,27	0,27	$\frac{1,137^{***}}{40,31^{**}}$	2,82	0,57	$\frac{2,275^{***}}{53,66^{***}}$	4,24	1,14

Примітки: 1. Чисельник – концентрація рухомих форм Pb<sup>2+</sup>, знаменник – концентрація валових форм Pb; 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 свинцем порівняно з фоном.

Таблиця Д.3

Вплив добрив та меліорантів на концентрацію валових і рухомих форм кадмію у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм ( $Cd^{2+}$ )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація кадмію у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм
1) Без добрив (контроль)	$\frac{0,169}{0,680}$	24,84	0,24	$\frac{0,383^{**}}{1,410^{**}}$	27,19	0,55	$\frac{0,814^{***}}{2,700^{***}}$	30,14	1,16	$\frac{1,302^{***}}{3,200^{***}}$	40,69	1,86
2) $N_{68}P_{68}K_{68}$	$\frac{0,131^+}{0,730}$	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) Біогумус 4 т/га	$\frac{0,120^+}{0,880^{++}}$	13,62	0,17	$\frac{0,278^{**}}{1,540^{**}}$	18,07	0,40	$\frac{0,602^{***}}{2,830^{***}}$	21,27	0,86	$\frac{1,003^{***}}{3,690^{***}}$	27,18	1,42
4) $N_{34}P_{34}K_{34}^+$ Біогумус 2 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) $N_{68}P_{68}K_{68} + 5$ т/га $CaCO_3$	$\frac{0,111^{++}}{0,960^{++}}$	11,52	0,16	$\frac{0,259^{**}}{1,620^{**}}$	15,96	0,37	$\frac{0,571^{***}}{3,090^{***}}$	18,47	0,82	$\frac{0,952^{***}}{3,720^{***}}$	25,59	1,37
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га $CaCO_3$	$\frac{0,087^{++}}{1,120^{+++}}$	7,80	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) $N_{34}P_{34}K_{34}^+$ Біогумус 2 т/га + 5 т/га $CaCO_3$	$\frac{0,104^{++}}{1,010^{++}}$	10,29	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  $Cd^{2+}$ , 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.

Таблиця Д.4

Вплив добрив та меліорантів на концентрацію валових і рухомих форм свинцю у ґрунті при змодельованих рівнях забруднення за вирощування буряка столового (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм ( $Pb^{2+}$ )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм	Концентрація свинцю у ґрунті, мг/кг	Перехід елемента з валової форми у рухому, %	Коефіцієнт небезпеки ( $K_n$ ) рухомих форм
1) Без добрив (контроль)	$\frac{0,894}{11,89}$	7,52	0,45	$\frac{1,329^{**}}{15,84^{**}}$	8,39	0,66	$\frac{2,593^{***}}{28,71^{***}}$	9,03	1,30	$\frac{4,385^{***}}{37,31^{***}}$	11,75	2,19
2) $N_{68}P_{68}K_{68}$	$\frac{0,688^+}{12,19}$	5,64	0,34	$\frac{1,047^{**}}{16,62^*}$	6,30	0,52	$\frac{2,078^{***}}{29,35^{**}}$	7,08	1,04	$\frac{3,612^{***}}{39,05^{***}}$	9,25	1,81
3) Біогумус 4 т/га	$\frac{0,535^{++}}{13,02^+}$	4,11	0,27	$\frac{0,898^{**}}{17,11^{**}}$	5,25	0,45	$\frac{1,887^{***}}{31,29^{***}}$	6,03	0,94	$\frac{3,414^{***}}{41,89^{***}}$	8,15	1,71
4) $N_{34}P_{34}K_{34}^+$ Біогумус 2 т/га	$\frac{0,579^{++}}{12,81}$	4,52	0,29	$\frac{0,966^{**}}{16,86^*}$	5,73	0,48	$\frac{1,983^{***}}{30,74^{***}}$	6,45	0,99	$\frac{3,472^{***}}{40,61^{***}}$	8,55	1,74
5) $N_{68}P_{68}K_{68} + 5$ т/га $CaCO_3$	$\frac{0,482^{++}}{14,06^+}$	3,43	0,24	$\frac{0,795^{**}}{17,63^*}$	4,51	0,40	$\frac{1,696^{***}}{32,12^{**}}$	5,28	0,85	$\frac{3,167^{***}}{43,21^{***}}$	7,33	1,58
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га $CaCO_3$	$\frac{0,432^{++}}{17,23^{++}}$	2,51	0,22	$\frac{0,679^{**}}{21,84^*}$	3,11	0,34	$\frac{1,427^{***}}{36,68^{**}}$	3,89	0,71	$\frac{2,549^{***}}{47,82^{***}}$	5,33	1,27
7) $N_{34}P_{34}K_{34}^+$ Біогумус 2 т/га + 5 т/га $CaCO_3$	$\frac{0,459^{++}}{16,29^{++}}$	2,82	0,23	$\frac{0,718^{**}}{19,15^*}$	3,75	0,36	$\frac{1,544^{***}}{34,93^{**}}$	4,42	0,77	$\frac{2,747^{***}}{45,94^{***}}$	5,98	1,37

Примітки: 1. Чисельник – концентрація рухомих форм  $Pb^{2+}$ , знаменник – концентрація валових форм  $Pb$ ; 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 свинцем порівняно з фоном.



Додаток Е.  
Таблиці до розділу 5

Таблиця Е.1

Концентрація кадмію в рослинах капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Cd в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>
1) Без добрив (контроль)	<u>0,017</u> 0,081	<u>0,57</u> 2,70	<u>0,109</u> 0,518	<u>0,022</u> 0,097	<u>0,73</u> 3,23	<u>0,062</u> 0,272	<u>0,038</u> 0,159	<u>1,27</u> 5,30	<u>0,047</u> 0,198	<u>0,068</u> 0,267	<u>2,27</u> 8,90	<u>0,051</u> 0,200
	0,156 <sup>#</sup>			0,357			0,802			1,338		
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	<u>0,013*</u> 0,064*	<u>0,43</u> 2,13	<u>0,116</u> 0,571	<u>0,015*</u> 0,073*	<u>0,50</u> 2,43	<u>0,055</u> 0,266	<u>0,026**</u> 0,117*	<u>0,87</u> 3,90	<u>0,041</u> 0,185	<u>0,051*</u> 0,208*	<u>1,70</u> 6,93	<u>0,048</u> 0,195
	0,112			0,274			0,633			1,068		
3) Біогумус 8 т/га	<u>0,010**</u> 0,053**	<u>0,33</u> 1,76	<u>0,111</u> 0,588	<u>0,012**</u> 0,070**	<u>0,40</u> 0,33	<u>0,051</u> 0,298	<u>0,020**</u> 0,106**	<u>0,67</u> 3,53	<u>0,037</u> 0,198	<u>0,035**</u> 0,165**	<u>1,17</u> 5,50	<u>0,040</u> 0,189
	0,090			0,235			0,547			0,873		
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	<u>0,011**</u> 0,058*	<u>0,37</u> 1,93	<u>0,114</u> 0,603	<u>0,013**</u> 0,066**	<u>0,43</u> 0,20	<u>0,052</u> 0,262	<u>0,024**</u> 0,108**	<u>0,80</u> 3,60	<u>0,039</u> 0,175	<u>0,042**</u> 0,196*	<u>1,40</u> 6,53	<u>0,043</u> 0,194
	0,096			0,252			0,617			1,010		
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>0,008**</u> 0,044**	<u>0,26</u> 1,80	<u>0,108</u> 0,594	<u>0,010**</u> 0,062**	<u>0,33</u> 2,07	<u>0,051</u> 0,315	<u>0,016***</u> 0,094**	<u>0,53</u> 3,13	<u>0,033</u> 0,193	<u>0,030***</u> 0,153**	<u>1,00</u> 5,10	<u>0,040</u> 0,203
	0,074			0,197			0,486			0,752		
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>0,004***</u> 0,029***	<u>0,13</u> 0,96	<u>0,078</u> 0,567	<u>0,006***</u> 0,043***	<u>0,20</u> 1,43	<u>0,044</u> 0,316	<u>0,011***</u> 0,072**	<u>0,37</u> 2,40	<u>0,033</u> 0,214	<u>0,023***</u> 0,135**	<u>0,77</u> 4,50	<u>0,035</u> 0,207
	0,051			0,136			0,337			0,652		
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>0,006***</u> 0,036***	<u>0,21</u> 1,20	<u>0,095</u> 0,571	<u>0,008***</u> 0,055**	<u>0,27</u> 1,83	<u>0,043</u> 0,296	<u>0,013***</u> 0,081**	<u>0,43</u> 2,70	<u>0,032</u> 0,198	<u>0,026***</u> 0,139**	<u>0,87</u> 4,63	<u>0,038</u> 0,201
	0,063			0,186			0,410			0,692		

Примітки: 1. Чисельник – концентрація Cd у головці, знаменник – концентрація Cd у зовнішньому качані; 2. <sup>#</sup> – концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> 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.п.* – коефіцієнт біологічного поглинання, ГДК Cd в овочах – 0,03 мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.2

Концентрація свинцю в рослинах капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.п.</i>
1) Без добрив (контроль)	0,238	0,48	0,282	0,319	0,64	0,239	0,485	0,97	0,188	0,692	1,38	0,161
	1,946	3,89	2,308	2,513	5,03	1,884	3,591	7,18	1,391	5,453	10,90	1,266
	0,843 <sup>#</sup>			1,334			2,581			4,304		
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	0,153**	0,31	0,269	0,228*	0,46	0,243	0,347*	0,69	0,184	0,545*	1,09	0,168
	1,325**	2,65	2,329	1,835*	3,67	1,956	2,726*	5,45	1,445	3,878*	7,76	1,386
	0,569			0,938			1,886			3,235		
3) Біогумус 8 т/га	0,102***	0,20	0,221	0,193**	0,39	0,235	0,303**	0,61	0,177	0,488*	0,97	0,174
	1,013**	2,03	2,193	1,706**	3,41	2,075	2,604*	5,21	1,526	3,685**	7,37	1,317
	0,462			0,822			1,706			2,798		
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	0,134**	0,27	0,263	0,215**	0,43	0,256	0,325**	0,65	0,179	0,518*	1,04	0,170
	1,226**	2,45	2,403	1,798*	3,60	2,138	2,665*	5,33	1,470	3,770**	7,54	1,234
	0,510			0,841			1,812			3,053		
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,085***	0,17	0,209	0,166**	0,33	0,232	0,271**	0,55	0,176	0,463**	0,92	1,173
	0,887**	1,78	2,185	1,679**	3,35	2,351	2,521*	5,04	1,643	3,603**	7,20	1,348
	0,406			0,714			1,534			2,671		
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,062***	0,12	0,251	0,104***	0,21	0,230	0,213**	0,42	0,211	0,390**	0,78	0,206
	0,759***	1,52	3,073	1,410**	2,82	3,119	2,418**	4,83	2,422	3,342**	6,68	1,772
	0,247			0,452			0,998			1,885		
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,070***	0,14	0,198	0,139***	0,28	0,255	0,234**	0,46	0,205	0,428**	0,85	0,188
	0,825***	1,65	2,331	1,577**	3,15	2,888	2,490**	4,98	2,189	3,517**	7,03	1,545
	0,354			0,546			1,137			2,275		

Примітки: 1. Чисельник – концентрація Pb у головці, знаменник – концентрація Pb у зовнішньому качані; 2. <sup>#</sup> – концентрація рухомих форм Pb<sup>2+</sup> 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.п.* – коефіцієнт біологічного поглинання, ГДК Pb в овочах – 0,5 мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.3

Активність пероксидази за фенофазами розвитку в листках капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість
1) Без добрив (контроль)	<u>72,41</u> 0,005	<u>138,52</u> 0,007	<u>297,36</u> 0,014	<u>215,14</u> 0,032	<u>108,40</u> 0,007	<u>207,36</u> 0,009	<u>445,15</u> 0,018	<u>322,06</u> 0,041	<u>127,37</u> 0,013	<u>243,60</u> 0,017	<u>523,06</u> 0,034	<u>378,43</u> 0,071	<u>140,62</u> 0,023	<u>269,01</u> 0,026	<u>594,32</u> 0,058	<u>483,18</u> 0,127
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	<u>79,25</u> 0,004	<u>152,98</u> 0,006	<u>328,40</u> 0,011	<u>233,29</u> 0,024	<u>101,76</u> 0,006	<u>196,42</u> 0,007	<u>421,67</u> 0,013	<u>299,54</u> 0,028	<u>107,23</u> 0,011	<u>206,98</u> 0,014	<u>444,33</u> 0,023	<u>315,64</u> 0,048	<u>115,23</u> 0,016	<u>222,43</u> 0,020	<u>477,51</u> 0,042	<u>339,20</u> 0,095
3) Біогумус 8 т/га	<u>90,07</u> 0,003	<u>173,67</u> 0,004	<u>372,82</u> 0,008	<u>265,43</u> 0,018	<u>105,56</u> 0,004	<u>203,54</u> 0,005	<u>436,95</u> 0,010	<u>311,08</u> 0,022	<u>113,04</u> 0,007	<u>217,96</u> 0,009	<u>467,89</u> 0,017	<u>333,11</u> 0,037	<u>120,24</u> 0,011	<u>234,85</u> 0,014	<u>497,49</u> 0,030	<u>354,35</u> 0,066
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	<u>84,36</u> 0,004	<u>162,75</u> 0,005	<u>349,39</u> 0,010	<u>248,55</u> 0,020	<u>103,85</u> 0,005	<u>200,35</u> 0,006	<u>430,10</u> 0,011	<u>305,97</u> 0,024	<u>110,42</u> 0,009	<u>213,04</u> 0,012	<u>457,35</u> 0,020	<u>325,35</u> 0,045	<u>118,27</u> 0,013	<u>228,18</u> 0,017	<u>489,84</u> 0,035	<u>348,47</u> 0,079
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>96,72</u> 0,003	<u>186,40</u> 0,004	<u>400,15</u> 0,007	<u>285,21</u> 0,015	<u>110,16</u> 0,004	<u>212,31</u> 0,005	<u>455,77</u> 0,008	<u>324,85</u> 0,018	<u>116,95</u> 0,005	<u>225,35</u> 0,008	<u>483,78</u> 0,014	<u>344,82</u> 0,033	<u>125,16</u> 0,009	<u>241,20</u> 0,011	<u>517,79</u> 0,025	<u>369,06</u> 0,056
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>112,59</u> 0,001	<u>216,75</u> 0,002	<u>462,33</u> 0,005	<u>332,34</u> 0,007	<u>119,23</u> 0,002	<u>229,58</u> 0,003	<u>489,61</u> 0,006	<u>351,95</u> 0,011	<u>125,09</u> 0,003	<u>240,81</u> 0,005	<u>513,65</u> 0,009	<u>369,26</u> 0,020	<u>130,83</u> 0,006	<u>252,86</u> 0,009	<u>537,23</u> 0,020	<u>386,18</u> 0,043
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>105,17</u> 0,002	<u>202,57</u> 0,003	<u>431,89</u> 0,006	<u>310,32</u> 0,011	<u>113,90</u> 0,003	<u>219,53</u> 0,004	<u>467,74</u> 0,007	<u>336,08</u> 0,015	<u>120,31</u> 0,004	<u>231,73</u> 0,006	<u>494,08</u> 0,011	<u>355,01</u> 0,024	<u>128,10</u> 0,007	<u>246,73</u> 0,010	<u>526,04</u> 0,022	<u>377,97</u> 0,049

Примітка. Чисельник – активність пероксидази у листках капусти, знаменник – концентрація кадмію у листках капусти, мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.4

Активність пероксидази за фенофазами розвитку в листках капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 5-6 листіків	Фаза форму- вання розетки	Фаза зав'язу- вання головки	Фаза техніч- на стиг- лість
1) Без добрив (контроль)	<u>72,41</u> 0,098	<u>138,52</u> 0,152	<u>297,36</u> 0,271	<u>215,14</u> 0,459	<u>110,78</u> 0,135	<u>211,92</u> 0,204	<u>454,93</u> 0,362	<u>329,14</u> 0,615	<u>131,33</u> 0,205	<u>251,22</u> 0,308	<u>539,34</u> 0,552	<u>390,21</u> 0,936	<u>150,50</u> 0,293	<u>287,90</u> 0,440	<u>643,54</u> 0,787	<u>482,17</u> 1,335
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	<u>79,25</u> 0,064	<u>152,98</u> 0,107	<u>328,40</u> 0,174	<u>233,29</u> 0,295	<u>104,36</u> 0,097	<u>201,46</u> 0,145	<u>432,47</u> 0,258	<u>307,22</u> 0,440	<u>111,51</u> 0,147	<u>215,37</u> 0,220	<u>462,29</u> 0,394	<u>328,40</u> 0,669	<u>126,04</u> 0,231	<u>243,30</u> 0,347	<u>522,29</u> 0,620	<u>371,02</u> 1,052
3) Біогумус 8 т/га	<u>90,07</u> 0,043	<u>173,67</u> 0,065	<u>372,82</u> 0,118	<u>265,43</u> 0,197	<u>108,53</u> 0,081	<u>209,25</u> 0,123	<u>449,21</u> 0,219	<u>319,82</u> 0,372	<u>117,96</u> 0,128	<u>227,46</u> 0,192	<u>488,28</u> 0,343	<u>347,63</u> 0,586	<u>132,53</u> 0,207	<u>255,54</u> 0,311	<u>548,57</u> 0,556	<u>390,55</u> 0,943
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	<u>84,36</u> 0,056	<u>162,75</u> 0,088	<u>349,39</u> 0,152	<u>248,55</u> 0,254	<u>106,62</u> 0,090	<u>205,70</u> 0,137	<u>441,59</u> 0,246	<u>314,15</u> 0,417	<u>115,04</u> 0,137	<u>221,94</u> 0,206	<u>476,46</u> 0,368	<u>338,95</u> 0,625	<u>129,78</u> 0,219	<u>250,54</u> 0,329	<u>537,50</u> 0,588	<u>382,37</u> 0,998
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>96,72</u> 0,035	<u>186,40</u> 0,054	<u>400,15</u> 0,096	<u>285,21</u> 0,163	<u>113,35</u> 0,072	<u>218,44</u> 0,106	<u>468,94</u> 0,188	<u>334,24</u> 0,320	<u>122,23</u> 0,115	<u>235,50</u> 0,172	<u>505,67</u> 0,308	<u>360,42</u> 0,523	<u>138,35</u> 0,196	<u>266,63</u> 0,295	<u>572,37</u> 0,527	<u>407,96</u> 0,894
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>112,59</u> 0,026	<u>216,75</u> 0,039	<u>462,33</u> 0,070	<u>332,34</u> 0,122	<u>122,94</u> 0,045	<u>236,67</u> 0,066	<u>504,82</u> 0,120	<u>362,88</u> 0,203	<u>131,25</u> 0,092	<u>252,67</u> 0,135	<u>538,94</u> 0,242	<u>387,41</u> 0,410	<u>146,19</u> 0,165	<u>281,43</u> 0,248	<u>600,29</u> 0,443	<u>431,51</u> 0,752
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>105,17</u> 0,029	<u>202,57</u> 0,044	<u>431,89</u> 0,079	<u>310,32</u> 0,135	<u>117,36</u> 0,059	<u>226,05</u> 0,085	<u>481,95</u> 0,153	<u>346,29</u> 0,268	<u>126,07</u> 0,100	<u>242,82</u> 0,151	<u>517,71</u> 0,269	<u>371,98</u> 0,457	<u>142,44</u> 0,180	<u>274,36</u> 0,272	<u>584,95</u> 0,487	<u>420,30</u> 0,826

Примітка. Чисельник – активність пероксидази у листках капусти, знаменник – концентрація свинцю у листках капусти, мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.5

Концентрація кадмію в рослинах буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирої речовини (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 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)	0,096	3,20	0,568	0,108	3,60	0,282	0,189	6,30	0,232	0,405	13,50	0,311
	0,027	0,90	0,160	0,038	1,27	0,099	0,062	2,07	0,076	0,098	3,25	0,075
	0,169 <sup>#</sup>			0,383			0,814			1,302		
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	0,071**	2,37	0,544	0,086*	2,87	0,282	0,145**	4,83	0,219	0,197**	6,57	0,180
	0,019*	0,63	0,145	0,023**	0,77	0,075	0,033**	1,10	0,050	0,061**	2,03	0,056
	0,131			0,305			0,663			1,095		
3) Біогумус 4 т/га	0,045**	1,50	0,375	0,075**	2,50	0,270	0,103**	3,43	0,171	0,155**	5,17	0,154
	0,014**	0,47	0,117	0,019**	0,63	0,068	0,027**	0,90	0,045	0,046**	1,50	0,045
	0,120			0,278			0,602			1,003		
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	0,054**	1,80	0,439	0,081*	2,70	0,277	0,114**	3,80	0,176	0,182**	6,07	0,170
	0,016**	0,53	0,130	0,022**	0,71	0,072	0,029**	0,97	0,045	0,056**	1,88	0,052
	0,123			0,293			0,649			1,070		
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,041**	1,37	0,371	0,064**	2,13	0,248	0,097**	3,23	0,170	0,119***	3,97	0,125
	0,012**	0,40	0,109	0,017**	0,57	0,066	0,025***	0,83	0,044	0,033***	1,10	0,035
	0,111			0,259			0,571			0,952		
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,029**	0,97	0,332	0,043***	1,43	0,210	0,076***	2,53	0,169	0,093***	3,10	0,125
	0,006***	0,20	0,069	0,010***	0,33	0,049	0,018***	0,60	0,040	0,026***	0,87	0,035
	0,087			0,204			0,449			0,743		
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	0,034**	1,13	0,327	0,059**	1,97	0,261	0,083***	2,77	0,167	0,106***	3,53	0,130
	0,010***	0,33	0,096	0,014***	0,47	0,062	0,021***	0,70	0,042	0,029***	0,97	0,036
	0,104			0,226			0,496			0,812		

Примітки: 1. Чисельник – концентрація Cd у гичці, знаменник – концентрація Cd у коренеплоді; 2. <sup>#</sup> – концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> 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 сирої речовини.

Таблиця Е.6

Концентрація свинцю в рослинах буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту цим елементом за використання добрив та меліорантів, мг/кг маси сирової речовини (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)			Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )								
				1 ГДК			3 ГДК			5 ГДК		
	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>	Вміст Pb в рослині, мг/кг	<i>К.н.</i>	<i>К.б.н.</i>
1) Без добрив (контроль)	<u>0,327</u>	<u>0,65</u>	<u>0,366</u>	<u>0,414</u>	<u>0,83</u>	<u>0,312</u>	<u>0,638</u>	<u>1,28</u>	<u>0,246</u>	<u>0,764</u>	<u>1,53</u>	<u>0,174</u>
	<u>0,517</u>	<u>1,03</u>	<u>0,578</u>	<u>0,698</u>	<u>1,40</u>	<u>0,525</u>	<u>0,971</u>	<u>1,94</u>	<u>0,374</u>	<u>1,330</u>	<u>2,66</u>	<u>0,304</u>
	0,894 <sup>#</sup>			1,329			2,593			4,385		
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	<u>0,208**</u>	<u>0,42</u>	<u>0,302</u>	<u>0,259**</u>	<u>0,52</u>	<u>0,247</u>	<u>0,365**</u>	<u>0,73</u>	<u>0,176</u>	<u>0,571*</u>	<u>1,14</u>	<u>0,158</u>
	<u>0,334**</u>	<u>0,67</u>	<u>0,485</u>	<u>0,435**</u>	<u>0,87</u>	<u>0,415</u>	<u>0,603**</u>	<u>1,21</u>	<u>0,290</u>	<u>0,864**</u>	<u>1,73</u>	<u>0,239</u>
	0,688			1,047			2,078			3,612		
3) Біогумус 4 т/га	<u>0,152**</u>	<u>0,30</u>	<u>0,284</u>	<u>0,179***</u>	<u>0,35</u>	<u>0,199</u>	<u>0,232***</u>	<u>0,46</u>	<u>0,123</u>	<u>0,441**</u>	<u>0,88</u>	<u>0,129</u>
	<u>0,236**</u>	<u>0,47</u>	<u>0,441</u>	<u>0,303***</u>	<u>0,61</u>	<u>0,337</u>	<u>0,405***</u>	<u>0,81</u>	<u>0,215</u>	<u>0,665**</u>	<u>1,33</u>	<u>0,195</u>
	0,535			0,898			1,887			3,414		
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	<u>0,171**</u>	<u>0,34</u>	<u>0,295</u>	<u>0,198**</u>	<u>0,70</u>	<u>0,205</u>	<u>0,269***</u>	<u>0,54</u>	<u>0,136</u>	<u>0,493**</u>	<u>0,99</u>	<u>0,142</u>
	<u>0,295**</u>	<u>0,59</u>	<u>0,509</u>	<u>0,348**</u>	<u>0,42</u>	<u>0,360</u>	<u>0,476**</u>	<u>0,95</u>	<u>0,240</u>	<u>0,749**</u>	<u>1,50</u>	<u>0,216</u>
	0,579			0,966			1,983			3,472		
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	<u>0,109***</u>	<u>0,22</u>	<u>0,226</u>	<u>0,154***</u>	<u>0,31</u>	<u>0,194</u>	<u>0,208***</u>	<u>0,42</u>	<u>0,213</u>	<u>0,342**</u>	<u>0,68</u>	<u>0,108</u>
	<u>0,189***</u>	<u>0,38</u>	<u>0,392</u>	<u>0,246***</u>	<u>0,49</u>	<u>0,309</u>	<u>0,362***</u>	<u>0,72</u>	<u>0,123</u>	<u>0,512***</u>	<u>1,02</u>	<u>0,162</u>
	0,482			0,795			1,696			3,167		
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	<u>0,075***</u>	<u>0,15</u>	<u>0,174</u>	<u>0,115***</u>	<u>0,23</u>	<u>0,169</u>	<u>0,164***</u>	<u>0,32</u>	<u>0,114</u>	<u>0,254***</u>	<u>0,51</u>	<u>0,101</u>
	<u>0,162***</u>	<u>0,32</u>	<u>0,375</u>	<u>0,194***</u>	<u>0,39</u>	<u>0,286</u>	<u>0,265***</u>	<u>0,53</u>	<u>0,186</u>	<u>0,443***</u>	<u>0,86</u>	<u>0,169</u>
	0,432			0,679			1,427			2,549		
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	<u>0,087***</u>	<u>0,17</u>	<u>0,190</u>	<u>0,126***</u>	<u>0,25</u>	<u>0,175</u>	<u>0,182***</u>	<u>0,36</u>	<u>0,117</u>	<u>0,287***</u>	<u>0,57</u>	<u>0,104</u>
	<u>0,175***</u>	<u>0,35</u>	<u>0,381</u>	<u>0,207***</u>	<u>0,41</u>	<u>0,288</u>	<u>0,283***</u>	<u>0,57</u>	<u>0,183</u>	<u>0,477***</u>	<u>0,95</u>	<u>0,173</u>
	0,459			0,718			1,544			2,747		

Примітки: 1. Чисельник – концентрація Pb у гичці, знаменник – концентрація Pb у коренеплоді; 2. <sup>#</sup> – концентрація рухомих форм Pb<sup>2+</sup> 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 Pb в овочах – 0,5 мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.7

Активність пероксидази за фенофазами розвитку в листках буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту кадмієм (Cd <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість
1) Без добрив (контроль)	<u>20,68</u> 0,021	<u>41,97</u> 0,032	<u>92,72</u> 0,056	<u>73,55</u> 0,096	<u>31,79</u> 0,023	<u>64,51</u> 0,035	<u>142,51</u> 0,063	<u>113,05</u> 0,108	<u>37,41</u> 0,041	<u>75,92</u> 0,062	<u>167,73</u> 0,111	<u>133,05</u> 0,189	<u>44,09</u> 0,089	<u>89,48</u> 0,134	<u>197,68</u> 0,238	<u>156,87</u> 0,405
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	<u>22,43</u> 0,015	<u>45,83</u> 0,023	<u>101,77</u> 0,042	<u>75,74</u> 0,071	<u>29,25</u> 0,019	<u>59,76</u> 0,028	<u>132,72</u> 0,050	<u>98,76</u> 0,086	<u>31,02</u> 0,032	<u>63,38</u> 0,046	<u>140,75</u> 0,084	<u>104,75</u> 0,145	<u>33,73</u> 0,044	<u>68,93</u> 0,065	<u>153,06</u> 0,116	<u>113,91</u> 0,197
3) Біогумус 4 т/га	<u>25,72</u> 0,010	<u>52,94</u> 0,015	<u>115,94</u> 0,026	<u>89,16</u> 0,045	<u>31,87</u> 0,016	<u>65,59</u> 0,025	<u>143,65</u> 0,044	<u>110,47</u> 0,075	<u>33,05</u> 0,022	<u>68,03</u> 0,033	<u>148,98</u> 0,060	<u>114,57</u> 0,103	<u>35,62</u> 0,033	<u>73,32</u> 0,052	<u>160,53</u> 0,091	<u>123,49</u> 0,155
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	<u>24,09</u> 0,013	<u>48,37</u> 0,018	<u>108,76</u> 0,032	<u>82,73</u> 0,054	<u>30,14</u> 0,018	<u>60,51</u> 0,026	<u>136,06</u> 0,048	<u>103,50</u> 0,081	<u>32,26</u> 0,026	<u>64,77</u> 0,038	<u>145,63</u> 0,067	<u>110,78</u> 0,114	<u>34,98</u> 0,040	<u>70,23</u> 0,064	<u>157,92</u> 0,107	<u>120,12</u> 0,182
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>27,52</u> 0,009	<u>55,77</u> 0,013	<u>127,30</u> 0,024	<u>96,11</u> 0,041	<u>33,52</u> 0,014	<u>67,93</u> 0,021	<u>155,05</u> 0,038	<u>117,06</u> 0,064	<u>34,15</u> 0,020	<u>69,21</u> 0,030	<u>157,98</u> 0,057	<u>119,27</u> 0,097	<u>36,99</u> 0,026	<u>74,95</u> 0,040	<u>166,00</u> 0,077	<u>129,17</u> 0,119
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>32,15</u> 0,005	<u>65,81</u> 0,010	<u>143,90</u> 0,017	<u>113,66</u> 0,029	<u>36,30</u> 0,009	<u>74,30</u> 0,014	<u>162,46</u> 0,025	<u>128,32</u> 0,043	<u>37,68</u> 0,015	<u>77,13</u> 0,024	<u>168,65</u> 0,045	<u>133,21</u> 0,076	<u>39,06</u> 0,020	<u>79,96</u> 0,031	<u>174,84</u> 0,054	<u>138,10</u> 0,093
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>30,03</u> 0,007	<u>61,24</u> 0,011	<u>135,45</u> 0,020	<u>105,53</u> 0,034	<u>34,62</u> 0,012	<u>70,61</u> 0,019	<u>156,17</u> 0,034	<u>121,68</u> 0,059	<u>35,26</u> 0,018	<u>73,43</u> 0,027	<u>162,40</u> 0,048	<u>126,53</u> 0,083	<u>37,78</u> 0,023	<u>77,04</u> 0,035	<u>170,40</u> 0,062	<u>132,76</u> 0,106

Примітка. Чисельник – активність пероксидази у листках буряка столового, знаменник – концентрація кадмію у листках буряка столового, мг/кг маси сирової речовини.

Таблиця Е.8

Активність пероксидази за фенофазами розвитку в листках буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, ммоль/г сирової маси за 1 хв  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Фон (контроль)				Рівні змодельованого забруднення ґрунту свинцем (Pb <sup>2+</sup> )											
					1 ГДК				3 ГДК				5 ГДК			
	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість	Фаза 4 пар справж- ніх листіків	Фаза пучко- вої стиг- лості	Фаза зми- кання міжрядь	Фаза техніч- на стиг- лість
1) Без добрив (контроль)	<u>20,68</u> 0,052	<u>41,97</u> 0,068	<u>92,72</u> 0,147	<u>73,55</u> 0,327	<u>33,25</u> 0,066	<u>67,48</u> 0,087	<u>149,08</u> 0,186	<u>118,25</u> 0,414	<u>42,78</u> 0,102	<u>86,82</u> 0,134	<u>191,81</u> 0,287	<u>152,15</u> 0,638	<u>46,15</u> 0,122	<u>93,65</u> 0,160	<u>206,90</u> 0,343	<u>164,12</u> 0,764
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	<u>22,43</u> 0,034	<u>45,83</u> 0,045	<u>101,77</u> 0,092	<u>75,74</u> 0,208	<u>30,95</u> 0,041	<u>63,24</u> 0,054	<u>140,43</u> 0,115	<u>104,51</u> 0,259	<u>32,31</u> 0,058	<u>66,03</u> 0,076	<u>146,70</u> 0,164	<u>109,12</u> 0,365	<u>38,66</u> 0,091	<u>78,98</u> 0,120	<u>175,39</u> 0,256	<u>130,53</u> 0,571
3) Біогумус 4 т/га	<u>25,72</u> 0,024	<u>52,94</u> 0,032	<u>115,94</u> 0,068	<u>89,16</u> 0,152	<u>32,61</u> 0,028	<u>67,12</u> 0,037	<u>147,02</u> 0,080	<u>113,05</u> 0,179	<u>36,04</u> 0,037	<u>74,26</u> 0,049	<u>162,63</u> 0,108	<u>125,06</u> 0,232	<u>41,27</u> 0,069	<u>84,94</u> 0,095	<u>186,01</u> 0,198	<u>143,05</u> 0,441
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	<u>24,09</u> 0,027	<u>48,37</u> 0,036	<u>108,76</u> 0,075	<u>82,73</u> 0,171	<u>31,97</u> 0,032	<u>64,18</u> 0,041	<u>144,31</u> 0,089	<u>109,77</u> 0,198	<u>34,37</u> 0,043	<u>69,01</u> 0,056	<u>155,17</u> 0,121	<u>118,03</u> 0,269	<u>40,26</u> 0,078	<u>80,85</u> 0,103	<u>181,78</u> 0,221	<u>138,27</u> 0,493
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>27,52</u> 0,017	<u>55,77</u> 0,023	<u>127,30</u> 0,049	<u>96,11</u> 0,109	<u>33,98</u> 0,024	<u>68,87</u> 0,032	<u>157,20</u> 0,068	<u>118,69</u> 0,154	<u>37,42</u> 0,032	<u>75,83</u> 0,044	<u>173,09</u> 0,093	<u>130,68</u> 0,208	<u>43,02</u> 0,054	<u>87,19</u> 0,072	<u>199,02</u> 0,153	<u>150,26</u> 0,342
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>32,15</u> 0,012	<u>65,81</u> 0,016	<u>143,90</u> 0,033	<u>113,66</u> 0,075	<u>37,13</u> 0,018	<u>75,35</u> 0,024	<u>164,75</u> 0,052	<u>130,13</u> 0,115	<u>41,22</u> 0,026	<u>84,37</u> 0,033	<u>184,48</u> 0,075	<u>145,71</u> 0,164	<u>46,02</u> 0,039	<u>94,20</u> 0,050	<u>205,98</u> 0,114	<u>162,69</u> 0,254
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	<u>30,03</u> 0,014	<u>61,24</u> 0,018	<u>135,45</u> 0,039	<u>105,53</u> 0,087	<u>35,40</u> 0,021	<u>72,20</u> 0,028	<u>159,68</u> 0,059	<u>124,46</u> 0,126	<u>39,88</u> 0,029	<u>81,33</u> 0,038	<u>179,88</u> 0,082	<u>140,14</u> 0,182	<u>44,67</u> 0,045	<u>91,09</u> 0,060	<u>201,47</u> 0,129	<u>156,97</u> 0,287

Примітка. Чисельник – активність пероксидази у листках буряка столового, знаменник – концентрація свинцю у листках буряка столового, мг/кг маси сирової речовини.



Додаток Ж.  
Таблиці до розділу 6

Таблиця Ж.1

Зміна біометричних параметрів рослин капусти білоголової у різні фенофази розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення Cd <sup>2+</sup>	Варіант	Фенофази розвитку																	
		5-6 листків		Формування розетки				Зав'язування головки					Технічна стиглість						
		Висота рослини, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup> /га	Висота рослини, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup> /га	Висота рослини, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup> /га	Діаметр головки, см	Висота рослини, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Діаметр головки, см	Зовнішній качан, см	Маса головки, г	Урожайність, т/га
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	15	4,68	25	8	23,5	8,25	33	11	38,6	27,39	8,7	36	12	43,1	16,5	9,3	1480	39,2
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	17	5,29	27	9	25,8	9,11	34	12	40,2	32,25	10,6	38	13	45,2	17,7	11,5	1960	50,2
	3) Біогумус 8 т/га	19	5,93	29	10	27,3	10,23	38	14	47,3	37,16	15,8	41	14	53,9	21,1	13,0	2590	55,3
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	18	5,72	28	10	26,4	9,72	37	13	42,4	34,91	12,4	40	14	47,5	18,5	12,3	2360	53,5
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	20	6,16	30	11	28,1	11,46	40	14	51,8	41,83	16,1	43	15	57,1	22,3	13,4	2680	56,0
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	22	6,78	32	13	37,5	12,98	43	15	55,7	46,54	17,9	46	17	62,9	24,7	15,6	2970	61,9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	21	6,54	30	12	29,8	11,87	41	15	53,9	44,26	17,3	45	16	59,2	23,8	14,7	2850	59,6
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	14	4,12	24	8	22,9	8,04	32	11	37,6	26,71	8,5	35	12	42,0	16,1	9,1	1443	38,2
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	16	4,66	26	9	25,2	8,88	33	12	39,2	31,46	10,3	37	13	44,1	17,3	11,2	1911	48,7
	3) Біогумус 8 т/га	18	5,22	28	10	26,6	9,97	37	14	46,1	36,23	15,4	40	14	52,6	20,6	12,7	2525	53,6
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	17	5,03	27	10	25,7	9,43	36	13	41,3	34,04	12,1	39	14	46,3	18,0	12,0	2301	51,9
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	19	5,42	29	11	27,4	11,15	39	14	50,5	40,78	15,7	42	15	55,7	21,7	13,1	2613	54,3
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	21	5,97	31	13	36,6	12,66	42	15	54,3	45,38	17,5	45	17	61,3	24,1	15,2	2896	60,0
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	20	5,76	29	12	29,1	11,50	40	15	52,6	43,15	16,9	44	16	57,8	23,2	14,3	2779	57,8
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	13	3,70	24	8	22,4	7,81	31	10	36,8	26,13	8,3	34	11	41,1	15,4	8,6	1412	37,4
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	15	4,18	26	9	24,6	8,69	32	11	38,4	30,77	10,1	36	12	43,9	16,9	11,0	1870	47,4
	3) Біогумус 8 т/га	17	4,68	28	10	26,0	9,86	36	13	45,1	35,45	15,2	39	13	51,4	20,1	12,4	2471	52,3
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	16	4,52	27	10	25,2	9,27	35	12	40,2	33,30	11,8	38	13	45,3	17,6	11,7	2251	50,6
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18	4,87	29	10	26,8	10,93	38	13	49,4	39,91	15,4	41	14	54,5	21,3	12,8	2557	52,9
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	20	5,36	30	12	35,7	12,38	41	14	53,0	44,41	17,1	44	16	60,0	23,5	14,9	2833	58,5
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	19	5,17	29	11	28,3	11,32	39	14	51,7	42,22	16,5	43	15	56,2	22,7	14,0	2719	56,3
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	11	3,04	23	6	21,2	7,37	30	9	34,5	24,46	7,8	33	11	38,5	14,7	8,4	1319	35,0
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	13	3,44	24	7	23,0	8,14	31	10	35,9	28,80	9,5	34	12	40,4	15,5	10,5	1746	44,1
	3) Біогумус 8 т/га	15	3,85	26	8	24,4	9,14	34	12	42,2	33,18	14,2	37	13	48,1	18,8	11,6	2308	48,6
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	14	3,72	25	8	23,6	8,68	33	12	37,8	31,17	11,1	36	13	42,9	16,4	11,0	2103	47,0
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	16	4,00	27	9	25,1	10,23	36	13	46,3	37,35	14,9	39	14	51,0	19,9	12,2	2388	49,2
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18	4,41	29	12	33,5	11,59	39	14	49,7	41,56	16,3	42	15	56,2	22,1	14,3	2646	54,4
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	17	4,25	27	11	26,9	10,60	37	14	48,4	39,52	15,4	41	14	52,3	21,3	13,1	2539	53,0

Примітка. Б\* – Біогумус.

Таблиця Ж.2

Зміна біометричних параметрів рослин капусти білоголової у різні фенофази розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення Pb <sup>2+</sup>	Варіант	Фенофази розвитку																	
		5-6 листків		Формування розетки				Зав'язування головки					Технічна стиглість						
		Висота рослин, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup>	Висота рослин, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup> /га	Висота рослин, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Площа листків, тис м <sup>2</sup> /га	Діаметр головки, см	Висота рослин, см	К-сть листків, шт.	Діаметр розетки, см	Діаметр головки, см	Зовнішній качан, см	Маса головки, г	Урожайність, т/га
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	15	4,68	25	8	23,5	8,25	33	11	38,6	27,39	8,7	36	12	43,1	16,5	9,3	1480	39,2
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	17	5,29	27	9	25,8	9,11	34	12	40,2	32,25	10,6	38	13	45,2	17,7	11,5	1960	50,2
	3) Біогумус 8 т/га	19	5,93	29	10	27,3	10,23	38	14	47,3	37,16	15,8	41	14	53,9	21,1	13,0	2590	55,3
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	18	5,72	28	10	26,4	9,72	37	13	42,4	34,91	12,4	40	14	47,5	18,5	12,3	2360	53,5
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	20	6,16	30	11	28,1	11,46	40	14	51,8	41,83	16,1	43	15	57,1	22,3	13,4	2680	56,0
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	22	6,78	32	13	37,5	12,98	43	15	55,7	46,54	17,9	46	17	62,9	24,7	15,6	2970	61,9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	21	6,54	30	12	29,8	11,87	41	15	53,9	44,26	17,3	45	16	59,2	23,8	14,7	2850	59,6
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	13	3,93	24	8	11,2	7,90	32	11	37,0	26,24	8,3	34	11	41,3	15,8	8,9	1418	37,6
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	15	4,44	26	9	12,5	8,73	33	11	38,5	30,90	10,2	36	12	43,9	17,0	11,0	1878	47,6
	3) Біогумус 8 т/га	17	4,98	28	10	13,7	9,80	36	13	45,3	35,61	15,1	39	13	51,6	20,2	12,5	2481	52,5
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	16	4,80	27	10	13,4	9,31	35	12	40,6	33,42	11,9	38	13	45,5	18,7	11,8	2261	50,8
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18	5,17	29	11	14,1	10,98	38	13	49,1	40,07	15,4	41	14	54,7	21,4	12,4	2567	53,1
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	20	5,70	31	12	16,3	12,43	41	14	53,4	44,59	17,7	44	16	60,3	24,1	14,9	2845	58,7
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	19	5,49	30	12	15,0	11,52	39	14	51,9	42,45	16,6	43	15	56,4	22,8	14,1	2730	56,6
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	12	3,42	23	7	11,5	7,65	31	10	35,8	25,32	8,1	33	11	40,1	15,3	8,6	1372	36,3
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	14	3,86	25	8	12,1	8,44	32	11	37,3	29,90	9,8	35	12	42,9	16,4	10,7	1817	45,8
	3) Біогумус 8 т/га	16	4,33	27	9	13,6	9,48	35	13	43,8	34,45	14,6	38	13	50,7	19,6	12,1	2401	50,5
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	15	4,18	26	9	13,0	9,01	34	12	39,5	32,36	11,5	37	13	44,3	17,1	11,4	2188	48,8
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	17	4,50	28	10	13,9	10,62	37	13	48,0	38,78	14,9	40	14	52,9	20,7	12,3	2484	51,1
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	19	4,95	30	12	15,6	12,03	40	14	51,6	43,14	16,6	43	16	58,1	22,9	14,5	2753	56,5
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	18	4,77	28	11	14,8	11,05	38	14	50,2	41,03	16,0	42	15	54,6	22,1	13,6	2642	54,4
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	10	2,85	21	7	10,0	6,89	28	9	32,2	22,87	7,3	30	10	36,2	13,1	7,8	1236	33,1
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	12	3,23	22	8	10,9	7,61	28	10	33,6	26,93	8,9	32	11	37,7	14,8	9,6	1637	41,5
	3) Біогумус 8 т/га	14	3,62	24	9	11,7	8,54	32	11	39,5	31,03	13,2	34	12	45,0	17,6	10,9	2163	45,7
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	13	3,49	23	8	11,7	8,12	31	11	35,4	29,15	10,4	33	11	39,5	15,4	10,1	1971	44,2
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	15	3,76	25	9	12,5	9,57	33	12	43,3	34,95	13,5	37	13	47,3	18,9	11,2	2238	46,3
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	17	4,14	27	11	14,2	10,84	36	13	46,9	38,84	15,3	38	14	52,5	21,7	13,0	2480	51,2
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Б*4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	16	3,99	26	10	13,4	9,95	34	13	45,0	36,96	14,1	37	13	49,4	20,5	12,3	2380	49,3

Примітка. Б\* – Біогумус.

Зміна біометричних параметрів рослин буряка столового у різні фенофази розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні Забруднення Cd <sup>2+</sup>	Варіант	Фенофази розвитку											Урожайність, т/га	
		IV пари справжніх листіків			Пучкова стиглість			Змикання міжрядь			Технічна стиглість			
		Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплодів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплодів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплодів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г		Маса коренеплодів, г
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	132	4,5	4,0	768	90,7	51,5	1882	184,6	118,0	1259	127,7	138	26,5
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	140	5,1	4,3	811	108,4	59,3	1991	197,1	129,3	1332	157,5	165	31,7
	3) Біогумус 4 т/га	163	6,0	5,0	870	117,2	75,1	2136	212,5	154,9	1428	169,8	190	35,9
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	152	5,7	4,5	842	112,8	66,9	2063	205,0	136,2	1384	163,2	181	34,2
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	175	6,4	5,3	884	118,5	80,7	2172	215,3	173,7	1453	172,0	202	37,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	197	7,7	5,9	945	126,5	86,2	2317	229,8	197,7	1550	183,1	235	40,5
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.* 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	186	7,3	5,7	916	122,2	83,4	2244	223,6	184,1	1506	177,4	223	39,1
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	127	4,3	3,8	737	87,1	49,0	1807	177,2	113,3	1209	141,8	135	25,4
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	134	4,9	4,1	779	104,2	56,6	1911	189,4	123,8	1278	151,2	161	30,1
	3) Біогумус 4 т/га	157	5,8	4,8	835	112,5	72,0	2053	204,0	147,8	1371	163,0	185	34,0
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	146	5,5	4,3	808	108,3	63,4	1982	196,8	130,6	1327	156,7	176	32,5
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	168	6,1	5,1	846	114,0	76,8	2085	206,7	166,2	1395	165,1	197	35,4
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	189	7,4	5,7	907	121,4	82,6	2224	220,6	189,1	1488	175,8	229	38,4
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.* 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	177	7,0	5,5	879	117,6	79,7	2154	213,7	176,7	1446	170,5	217	37,1
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	117	4,0	3,6	683	80,7	45,4	1675	164,3	105,3	1121	131,5	132	24,4
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	125	4,5	3,8	722	96,5	52,5	1772	175,4	114,8	1185	140,2	157	28,6
	3) Біогумус 4 т/га	145	5,3	4,5	774	104,3	66,8	1901	189,1	137,1	1271	152,7	181	32,4
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	135	5,1	4,0	749	100,4	58,7	1836	182,5	121,0	1232	145,9	173	30,9
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	156	5,7	4,7	787	105,5	71,2	1939	191,6	154,0	1293	153,4	193	33,7
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	177	6,9	5,3	841	112,6	76,5	2062	204,7	175,3	1380	163,8	224	36,6
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.* 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	165	6,5	5,1	815	108,9	73,9	1997	198,5	163,8	1340	157,9	213	35,3
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	97	3,3	3,0	568	67,1	37,7	1393	136,6	87,3	932	109,3	123	22,8
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	108	3,8	3,2	601	80,2	43,1	1473	145,2	95,5	986	116,6	147	26,6
	3) Біогумус 4 т/га	120	4,4	3,7	645	86,7	55,5	1581	157,3	114,9	1057	125,7	169	30,2
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	113	4,2	3,3	623	83,5	48,8	1527	151,7	100,6	1024	120,8	161	28,7
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	131	4,7	3,9	654	87,7	59,2	1607	159,4	128,2	1075	127,3	180	31,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	145	5,7	4,4	699	93,6	63,6	1715	170,1	145,7	1147	135,5	209	34,0
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.* 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	138	5,4	4,2	678	90,4	61,4	1661	164,8	136,3	1114	131,9	199	32,8

Примітка. Б.\* – Біогумус.

Зміна біометричних параметрів рослин буряка столового у різні фенофази розвитку залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні Забруднення Pb <sup>2+</sup>	Варіант	Фенофази розвитку											Урожайність, т/га	
		IV пари справжніх листіків			Пучкова стиглість			Змикання міжрядь			Технічна стиглість			
		Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплідів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплідів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г	Маса коренеплідів, г	Площа листіків, см <sup>2</sup>	Маса листіків, г		Маса коренеплідів, г
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	132	4,5	4,0	768	90,7	51,5	1882	184,6	118,0	1259	127,7	138	26,5
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	140	5,1	4,3	811	108,4	59,3	1991	197,1	129,3	1332	157,5	165	31,7
	3) Біогумус 4 т/га	163	6,0	5,0	870	117,2	75,1	2136	212,5	154,9	1428	169,8	190	35,9
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	152	5,7	4,5	842	112,8	66,9	2063	205,0	136,2	1384	163,2	181	34,2
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	175	6,4	5,3	884	118,5	80,7	2172	215,3	173,7	1453	172,0	202	37,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	197	7,7	5,9	945	126,5	86,2	2317	229,8	197,7	1550	183,1	235	40,5
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.*2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	186	7,3	5,7	916	122,2	83,4	2244	222,6	184,1	1506	177,4	223	39,1
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	121	4,1	3,7	707	83,4	47,0	1731	169,8	109,1	1158	135,9	132	24,6
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	140	4,7	4,0	746	99,7	54,2	1832	181,3	119,6	1225	144,8	158	29,3
	3) Біогумус 4 т/га	163	5,5	4,6	800	107,9	69,5	1965	195,5	142,7	1314	156,3	182	33,1
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	152	5,2	4,2	775	103,8	61,3	1898	188,6	125,2	1273	150,2	173	31,6
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	175	5,9	5,0	813	109,4	74,2	1998	198,3	159,0	1337	158,7	194	34,4
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	197	7,1	5,4	869	116,5	82,7	2131	211,4	181,9	1426	168,0	225	37,4
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.*2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	186	6,7	5,2	843	112,5	76,8	2064	204,7	168,5	1386	163,4	214	36,1
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	112	3,8	3,4	653	77,1	43,5	1604	156,9	99,6	1070	125,5	128	23,1
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	119	4,3	3,7	689	92,2	50,3	1692	167,5	110,4	1132	133,9	153	27,3
	3) Біогумус 4 т/га	129	5,1	4,3	740	99,6	64,0	1816	180,6	131,3	1214	144,3	176	30,9
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	128	4,9	3,9	716	95,7	56,7	1757	174,3	116,5	1176	138,7	168	29,4
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	140	5,4	4,6	751	100,7	68,1	1849	183,0	147,8	1235	146,2	187	32,1
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	164	6,5	5,0	803	107,5	73,2	1969	195,3	167,4	1218	155,6	218	34,8
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.*2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	157	6,2	4,8	779	103,4	71,9	1905	189,2	156,7	1280	150,1	207	33,7
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	92	3,2	2,8	538	63,5	36,3	1317	129,2	83,0	881	103,4	115	21,2
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	98	3,6	3,0	569	75,9	42,0	1394	138,1	90,8	932	110,8	138	24,9
	3) Біогумус 4 т/га	114	4,2	3,5	607	82,0	53,1	1495	148,8	108,6	1003	117,9	159	28,2
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	106	4,0	3,2	584	79,2	46,4	1447	143,0	95,9	969	114,2	151	26,9
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>86</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	123	4,5	3,8	619	83,4	56,2	1520	150,7	121,1	1018	121,5	169	29,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	138	5,4	4,2	662	88,7	61,5	1622	160,1	138,4	1089	128,9	196	31,8
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Б.*2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	130	5,1	4,1	641	85,5	59,8	1571	155,9	129,7	1054	124,7	186	30,7

Примітка. Б.\* – Біогумус.

## Додаток К.

## Таблиці до розділу 7

Таблиця К.1

Урожайність капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га

Рівні забруднення	Варіант	Роки досліджень			Середнє за три роки	Приріст до контролю	
		2009	2010	2011		т/га	%
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	35,7	41,9	40,0	39,2	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	45,7	53,7	51,2	50,2	11,0	28,1
	3) Біогумус 8 т/га	50,3	59,2	56,4	55,3	16,1	41,1
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	48,7	57,2	54,6	53,5	14,3	36,5
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,0	59,9	57,1	56,0	16,8	42,9
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,3	66,2	63,1	61,9	22,7	57,9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	54,2	63,8	60,8	59,6	20,4	52,0
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	3,09	4,17	3,63	-		
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	34,8	40,9	39,0	38,2	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	44,3	52,1	49,7	48,7	10,5	27,4
	3) Біогумус 8 т/га	48,8	57,4	54,7	53,6	15,4	40,3
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	47,2	55,5	52,9	51,9	13,7	35,8
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	49,4	58,1	55,4	54,3	16,1	42,1
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	54,6	64,2	61,2	60,0	21,8	57,1
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	52,6	61,9	59,0	57,8	19,6	51,3
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,95	4,05	3,44	-		
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	34,0	40,0	38,1	37,4	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	43,2	50,8	48,4	47,4	10,0	26,9
	3) Біогумус 8 т/га	47,6	55,9	53,3	52,3	14,9	39,7
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	46,0	54,1	51,6	50,6	13,2	35,2
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	48,2	56,6	54,0	52,9	15,5	41,5
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	53,2	62,6	59,7	58,5	21,1	56,4
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,3	60,3	57,4	56,3	18,9	50,6
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,71	3,54	3,18	-		
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	31,9	37,5	35,7	35,0	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	40,1	47,2	45,0	44,1	9,1	25,9
	3) Біогумус 8 т/га	44,2	52,0	49,5	48,6	13,5	38,7
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	42,7	50,3	47,9	47,0	12,0	34,2
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	44,7	52,6	50,2	49,2	14,2	40,5
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	49,5	58,2	55,5	54,4	19,4	55,4
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	48,3	56,8	54,1	53,0	18,0	51,5
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,45	3,19	2,73	-		

Таблиця К.2

Структура врожаю капусти білоголової залежно від рівнів забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення	Варіант	Загальний урожай, т/га	Стандартні головки		Нестандартні головки	
			т/га	% до загального врожаю	т/га	% до загального врожаю
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	39,2	32,9	84	6,3	16
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	50,2	43,2	86	7,0	14
	3) Біогумус 8 т/га	55,3	49,2	89	6,1	11
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	53,5	47,1	88	6,4	12
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,0	51,0	91	5,0	9
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	61,9	58,2	94	3,7	6
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	59,6	55,4	93	4,2	7
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	38,2	31,7	83	6,5	17
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	48,7	41,4	85	7,3	15
	3) Біогумус 8 т/га	53,6	47,2	88	6,4	12
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	51,9	45,1	87	6,7	13
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	54,3	48,9	90	5,4	10
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	60,0	55,8	93	4,2	7
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	57,8	53,2	92	4,6	8
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	37,4	30,7	82	6,7	18
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	47,4	39,8	84	7,6	16
	3) Біогумус 8 т/га	52,3	45,5	87	6,8	13
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	50,6	43,5	86	7,1	14
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	52,9	47,1	89	5,8	11
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	58,5	53,8	92	4,7	8
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,3	51,3	91	5,1	9
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	35,0	28,4	81	6,7	19
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	44,1	36,6	83	7,5	17
	3) Біогумус 8 т/га	48,6	41,8	86	6,8	14
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	47,0	39,9	85	7,0	15
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	49,2	43,3	88	5,9	12
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	54,4	49,5	91	4,9	9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	52,3	47,1	90	5,2	10

Таблиця К.3

Урожайність капусти білоголової залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, т/га

Рівні забруднення	Варіант	Роки досліджень			Середнє за три роки	Приріст до контролю	
		2009	2010	2011		т/га	%
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	35,7	41,9	40,0	39,2	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	45,7	53,7	51,2	50,2	11,0	28,1
	3) Біогумус 8 т/га	50,3	59,2	56,4	55,3	16,1	41,1
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	48,7	57,2	54,6	53,5	14,3	36,5
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	51,0	59,9	57,1	56,0	16,8	42,9
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	56,3	66,2	63,1	61,9	22,7	57,9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	54,2	63,8	60,8	59,6	20,4	52,0
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	3,09	4,17	3,63	-		
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	34,2	40,2	38,3	37,6	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	43,4	51,0	48,6	47,6	10,1	26,9
	3) Біогумус 8 т/га	47,8	56,2	53,5	52,5	14,9	39,7
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	46,2	54,3	51,8	50,8	13,2	35,2
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	48,4	56,9	54,2	53,1	15,6	41,5
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	53,5	62,9	59,9	58,7	21,2	56,4
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	51,5	60,5	57,7	56,6	19,0	50,6
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,83	3,97	3,38	-		
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	33,1	38,9	37,1	36,3	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	41,7	49,0	46,7	45,8	9,5	26,1
	3) Біогумус 8 т/га	45,9	54,0	51,5	50,5	14,2	38,9
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	44,4	52,3	49,8	48,8	12,5	34,4
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	46,5	54,7	52,2	51,1	14,8	40,7
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	51,4	60,5	57,6	56,5	20,2	55,5
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	49,5	58,2	55,5	54,4	18,1	49,7
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,65	3,43	3,02	-		
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	30,1	35,4	33,8	33,1	-	-
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	37,8	44,4	42,3	41,5	8,4	25,3
	3) Біогумус 8 т/га	41,6	48,9	46,6	45,7	12,6	38,1
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	40,3	47,3	45,1	44,2	11,1	33,6
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	42,1	49,6	47,2	46,3	13,2	39,8
	6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	46,6	54,8	52,2	51,2	18,1	54,5
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	44,9	52,7	50,3	49,3	16,2	48,8
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	2,29	2,90	2,58	-		

Структура врожаю капусти білоголової залежно від рівнів забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, т/га  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення	Варіант	Загальний урожай, т/га	Стандартні головки		Нестандартні головки	
			т/га	% до загального врожаю	т/га	% до загального врожаю
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	39,2	32,9	84	6,3	16
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	50,2	43,2	86	7,0	14
	3) Біогумус 8 т/га	55,3	49,2	89	6,1	11
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	53,5	47,1	88	6,4	12
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,0	51,0	91	5,0	9
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	61,9	58,2	94	3,7	6
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	59,6	55,4	93	4,2	7
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	37,6	30,8	82	6,8	18
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	47,6	40,0	84	7,6	16
	3) Біогумус 8 т/га	52,5	45,7	87	6,8	13
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	50,8	43,7	86	7,1	14
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	53,1	47,3	89	5,8	11
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	58,7	54,0	92	4,7	8
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,6	51,5	91	5,1	9
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	36,3	29,4	81	6,9	19
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	45,8	38,0	83	7,8	17
	3) Біогумус 8 т/га	50,5	43,4	86	7,1	14
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	48,8	41,5	85	7,3	15
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,1	45,0	88	6,1	12
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	56,5	51,4	91	5,1	9
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	54,4	49,0	90	5,4	10
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	33,1	26,2	79	7,0	21
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	41,5	33,6	81	7,9	19
	3) Біогумус 8 т/га	45,7	38,4	84	7,3	16
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	44,2	36,7	83	7,5	17
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	46,3	39,8	86	6,5	14
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,2	45,6	89	5,6	11
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	49,3	43,4	88	5,9	12



Таблиця К.5

Урожайність буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га

Рівні забруднення	Варіант	Роки досліджень			Середнє за три роки	Приріст до контролю	
		2009	2010	2011		т/га	%
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	24,1	28,4	27,0	26,5	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	28,8	33,9	32,3	31,7	5,2	19,6
	3) Біогумус 4 т/га	32,7	38,4	36,6	35,9	9,4	35,5
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	31,1	36,6	34,9	34,2	7,7	29,1
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	33,9	39,9	38,0	37,3	10,8	40,8
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	36,9	43,3	41,3	40,5	14,0	52,8
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	35,6	41,8	39,9	39,1	12,6	47,5
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	24,1	28,4	27,0	-		
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	23,2	27,2	25,9	25,4	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	27,4	32,2	30,7	30,1	4,7	18,4
	3) Біогумус 4 т/га	31,0	36,4	34,7	34,0	8,6	33,8
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	29,6	34,8	33,1	32,5	7,1	27,7
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	32,2	37,9	36,1	35,4	10,0	39,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,9	41,0	39,1	38,4	12,9	50,8
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	33,8	39,7	37,9	37,1	11,7	46,0
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,93	3,05	2,27	-		
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	22,2	26,1	24,8	24,4	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	26,0	30,6	29,2	28,6	4,3	17,5
	3) Біогумус 4 т/га	29,5	34,7	33,1	32,4	8,1	33,1
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	28,1	33,0	31,5	30,9	6,5	26,8
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	30,7	36,0	34,4	33,7	9,3	38,3
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	33,3	39,1	37,3	36,6	12,2	50,2
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	32,1	37,8	36,0	35,3	11,0	45,0
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,75	2,89	2,03	-		
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	20,7	24,4	23,2	22,8	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	24,2	28,5	27,2	26,6	3,9	17,0
	3) Біогумус 4 т/га	27,4	32,3	30,8	30,2	7,4	32,5
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	26,1	30,7	29,3	28,7	6,0	26,2
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	28,5	33,5	32,0	31,3	8,6	37,6
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	31,0	36,4	34,7	34,0	11,3	49,4
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	29,9	35,1	33,5	32,8	10,1	44,3
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,08	2,37	1,40	-		

Структура врожаю буряка столового залежно від рівнів забруднення ґрунту кадмієм за використання добрив та меліорантів, т/га  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення	Варіант	Загальний урожай, т/га	Стандартні коренеплоди		Нестандартні коренеплоди	
			т/га	% до загального врожаю	т/га	% до загального врожаю
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	26,5	19,6	74	6,9	26
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	31,7	24,1	76	7,6	24
	3) Біогумус 4 т/га	35,9	28,7	80	7,2	20
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	34,2	26,7	78	7,5	22
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	37,3	30,6	82	6,7	18
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	40,5	34,4	85	6,1	15
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	39,1	32,8	84	6,3	16
1 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	25,4	18,3	72	7,1	28
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	30,1	22,3	74	7,8	26
	3) Біогумус 4 т/га	34,0	26,5	78	7,5	22
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	32,5	24,7	76	7,8	24
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	35,4	28,3	80	7,1	20
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	38,4	31,8	83	6,5	17
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	37,1	30,5	82	6,7	18
3 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	24,4	17,3	71	7,1	29
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	28,6	20,9	73	7,7	27
	3) Біогумус 4 т/га	32,4	25,0	77	7,5	23
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	30,9	23,2	75	7,7	25
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	33,7	26,6	79	7,1	21
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	36,6	30,0	82	6,6	18
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	35,3	28,6	81	6,7	19
5 ГДК (Cd <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	22,8	15,9	70	6,8	30
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	26,6	19,2	72	7,5	28
	3) Біогумус 4 т/га	30,2	22,9	76	7,2	24
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	28,7	21,3	74	7,5	26
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	31,3	24,4	78	6,9	22
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	34,0	27,6	81	6,5	19
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га СаСО <sub>3</sub>	32,8	26,3	80	6,6	20

Таблиця К.7

Урожайність буряка столового залежно від рівнів змодельованого забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, т/га

Рівні забруднення	Варіант	Роки досліджень			Середнє за три роки	Приріст до контролю	
		2009	2010	2011		т/га	%
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	24,1	28,4	27,0	26,5	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	28,8	33,9	32,3	31,7	5,2	19,6
	3) Біогумус 4 т/га	32,7	38,4	36,6	35,9	9,4	35,5
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	31,1	36,6	34,9	34,2	7,7	29,1
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	33,9	39,9	38,0	37,3	10,8	40,8
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	36,9	43,3	41,3	40,5	14,0	52,8
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	35,6	41,8	39,9	39,1	12,6	47,5
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	24,1	28,4	27,0	-		
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	22,4	26,3	25,1	24,6	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	26,6	31,3	29,8	29,3	4,7	19,0
	3) Біогумус 4 т/га	30,2	35,5	33,8	33,1	8,5	34,7
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	28,7	33,8	32,2	31,6	7,0	28,4
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	31,3	36,8	35,1	34,4	9,8	39,8
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,0	40,0	38,1	37,4	12,8	52,0
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	32,8	38,6	36,8	36,1	11,5	46,8
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,84	2,91	2,10	-		
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	21,0	24,7	23,5	23,1	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	24,8	29,2	27,8	27,3	4,2	18,2
	3) Біогумус 4 т/га	28,1	33,1	31,5	30,9	7,8	33,9
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	26,8	31,5	30,0	29,4	6,4	27,6
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	29,2	34,4	32,8	32,1	9,0	39,1
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	31,7	37,3	35,5	34,8	11,8	51,0
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	30,6	36,0	34,3	33,7	10,6	45,9
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,62	2,64	1,84	-		
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	19,3	22,7	21,6	21,2	-	-
	2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	22,7	26,7	25,4	24,9	3,7	17,7
	3) Біогумус 4 т/га	25,7	30,2	28,8	28,2	7,0	33,3
	4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	24,5	28,8	27,4	26,9	5,7	27,0
	5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	26,7	31,4	29,9	29,3	8,1	38,5
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	29,0	34,1	32,5	31,8	10,6	50,3
	7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	28,0	32,9	31,3	30,7	9,6	45,1
	<i>НІР<sub>05</sub></i>	1,21	2,63	1,66	-		

Структура врожаю буряка столового залежно від рівнів забруднення ґрунту свинцем за використання добрив та меліорантів, т/га  
(середнє за 2009–2011 рр.)

Рівні забруднення	Варіант	Загальний урожай, т/га	Стандартні коренеплоди		Нестандартні коренеплоди	
			т/га	% до загального врожаю	т/га	% до загального врожаю
Фон (контроль)	1) Без добрив (контроль)	26,5	19,6	74	6,9	26
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	31,7	24,1	76	7,6	24
	3) Біогумус 8 т/га	35,9	28,7	80	7,2	20
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	34,2	26,7	78	7,5	22
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	37,3	30,6	82	6,7	18
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	40,5	34,4	85	6,1	15
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	39,1	32,8	84	6,3	16
1 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	24,6	17,5	71	7,1	29
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	29,3	21,4	73	7,9	27
	3) Біогумус 8 т/га	33,1	25,5	77	7,6	23
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	31,6	23,7	75	7,9	25
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,4	27,2	79	7,2	21
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	37,4	30,7	82	6,7	18
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	36,1	29,2	81	6,9	19
3 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	23,1	16,2	70	6,9	30
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	27,3	19,7	72	7,6	28
	3) Біогумус 8 т/га	30,9	23,5	76	7,4	24
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	29,4	21,8	74	7,7	26
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	32,1	25,0	78	7,1	22
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,8	28,2	81	6,6	19
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	33,7	26,9	80	6,7	20
5 ГДК (Pb <sup>2+</sup> )	1) Без добрив (контроль)	21,2	14,6	69	6,6	31
	2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	24,9	17,7	71	7,2	29
	3) Біогумус 8 т/га	28,2	21,2	75	7,1	25
	4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	26,9	19,6	73	7,3	27
	5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	29,3	22,6	77	6,7	23
	6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	31,8	25,5	80	6,4	20
	7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	30,7	24,3	79	6,5	21

Таблиця К.9

Економічна ефективність та біоенергетична оцінка вирощування капусти білоголової за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Товарна урожайність, т/га	Вартість валової продукції з 1 га, грн.	Матеріально грошові витрати на 1 га, грн.	Собівартість 1 т продукції, грн.	Чистий прибуток з 1 га, грн.	Рівень рентабельності, %	Коефіцієнт біоенергетичної ефективності
1) Без добрив (контроль)	32,90	32900	16779	510	16121	96	1,14
2) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub>	43,20	43200	18576	430	24624	133	1,35
3) Біогумус 8 т/га	49,20	49200	22632	460	26568	117	1,54
4) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га	47,10	47100	21195	450	25905	122	1,49
5) N <sub>136</sub> P <sub>136</sub> K <sub>136</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	51,00	51000	19380	380	31620	163	1,67
6) Біогумус 8 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	58,20	58200	23862	410	34338	144	1,89
7) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	55,40	55400	21606	390	33794	156	1,73

Таблиця К.10

Економічна ефективність та біоенергетична оцінка вирощування буряка столового за використання добрив та меліорантів (середнє за 2009–2011 рр.)

Варіант	Товарна урожайність, т/га	Вартість валової продукції з 1 га, грн.	Матеріально грошові витрати на 1 га, грн.	Собівартість 1 т продукції, грн.	Чистий прибуток з 1 га, грн.	Рівень рентабельності, %	Коефіцієнт біоенергетичної ефективності
1) Без добрив (контроль)	19,6	17640	8918	455	8722	98	1,19
2) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub>	24,1	21690	9158	380	12532	137	1,43
3) Біогумус 4 т/га	28,7	25830	11480	400	14350	125	1,7
4) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га	26,7	24030	10413	390	13617	131	1,59
5) N <sub>68</sub> P <sub>68</sub> K <sub>68</sub> + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	30,6	27540	10710	350	16830	157	1,76
6) Біогумус 4 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	34,4	30960	12728	370	18232	143	1,92
7) N <sub>34</sub> P <sub>34</sub> K <sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + 5 т/га CaCO <sub>3</sub>	32,8	29520	11808	360	17712	150	1,81

## Додаток К

### Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію результатів дисертації (зазначаються назви конференції, конгресу, симпозіуму, семінару, школи, місце та дата проведення, форма участі)

#### *Статті у наукових фахових виданнях*

1. Дидів О. Й., Дидів А. І. Екологічні особливості вирощування капусти білоголової пізньостиглої. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2008. № 12 (2). С. 64–67.
2. Дидів А. І. Заходи щодо нейтралізації важких металів у ґрунтах агроландшафту і зменшення їх транслокації в овочеві рослини. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2011. № 15 (1). С. 393–396.
3. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив системи удобрення на транслокацію іонів важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$ ) у буряк столовий. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2012. № 16. С. 105–109.
4. Дидів А. І. Транслокація іонів важких металів (Cd і Pb) в буряк столовий за використання різної системи удобрення. *Міжвідомчий тематичний науковий збірник Інституту овочівництва і багтанництва*. 2012. №. 58. С. 157–162.
5. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив удобрення на транслокацію іонів кадмію в капусту білоголову на темно-сірому ґрунті. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: агрономія*. 2013. Вип. 183, ч. 1. С. 219–223.
6. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив удобрення на рухомість іонів важких металів ( $\text{Cd}^{2+}$  і  $\text{Pb}^{2+}$ ) у ґрунті за вирощування буряка столового. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2013. №17 (3). С. 23–28.
7. Дидів А. Екотоксикологічна оцінка якості капусти білоголової вирощеної на забрудненому важкими металами ґрунті залежно від системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2014. № 18. С. 41–46.
8. Снітинський В., Дидів А. Вплив кадмію та свинцю на біохімічний склад

буряка столового за використання різної системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2015. № 19. С. 21–25.

9. Снітинський В., Дидів А. Біохімічний склад капусти білоголової залежно від рівня забруднення ґрунту кадмієм і свинцем за використання меліорантів та різних системи удобрення. *Вісник Львівського національного аграрного університету: агрономія*. 2016. № 20. С. 3–13.

10. 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.

**Статті у виданнях, що включені до міжнародних  
наукометричних баз**

11. Снитынский В. В., Дыдив А. И. Эффективность различной систем удобрения и мелиорантов на подвижность свинца в почве и его влияние на биохимический состав капусты белокочанной. *Овощеводство: сборник научных трудов. Национальная академия наук Беларуси*. 2016. Т. 24. С. 136–143.

12. 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.

13. 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 Wrocławiu: seria rolnictwo*. 2017. CXXII (625). Str. 87–98.

14. Снітинський В., Дидів А., Качмар Н. Вплив добрив та меліорантів на фітопродуктивність капусти білоголової за забруднення ґрунту свинцем. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України: агрономія*. 2018. Вип. 286. С. 329–338.



*Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації*

15. Дидів А. І. Вплив системи удобрення на міграційну здатність іонів важких металів в овочеві рослини. *Екологізація сталого розвитку і ноосферна перспектива інформаційного суспільства*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, студентів, аспірантів і молодих учених, 3–5 жовтня 2012 р. Харків, 2012. С. 64–65.

16. Снітинський В. В., Дидів А. І. Транслокація важких металів у рослини столового буряка залежно від удобрення. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності сільськогосподарського виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали тез Міжнародного науково-практичного форуму, 18–20 вересня 2013 року. Львів, 2013. С. 10–13.

17. Дидів А. І. Система удобрення – ефективний засіб зменшення рухомості кадмію та свинцю у ґрунті за вирощування столових буряків. *Екологічний моніторинг, інноваційні та ресурсозберігаючі технології в системі захисту картоплі і овочевих культур від шкідливих організмів*: тез. доп. Всеукраїнської наук.-практ. конф., 29–30 травня 2014 року. Житомир, 2014. С. 25-29.

18. Дидів А. І. Рухомість кадмію і свинцю у ґрунті та їх транслокація у рослини капусти білоголової за різної системи удобрення. *Екологізація сталого розвитку інформаційного суспільства*: матеріали тез Міжнародної науково-практичної конференції, студентів, аспірантів і молодих учених, 5-6 листопада 2014 р., ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Харків, 2014. С. 65–67.

19. Снітинський В., Дидів А. Антагонізм та синергізм макро- та мікро елементів у формуванні якісного складу буряка столового за використання різної системи удобрення. *Теоретичні основи і практичні аспекти використання ресурсоощадних технологій для підвищення ефективності агропромислового виробництва і розвитку сільських територій*: матеріали XV Міжнар. наук.-практ. Форуму, 24–26 вересня 2015 р. Львів, 2015. С. 18–28.

20. Снітинський В. В., Дидів А. І. Вплив рухомих форм свинцю на якість

капусти білоголової за використання різних систем удобрення та меліорантів. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVII Міжнародного науково-практичного форуму, 14–16 вересня 2016 р. Львів, 2016. С. 27–33.*

21. Дидів А. І. Нагромадження кадмію і свинцю в рослинах капусти білоголової залежно від системи удобрення. *Овочівництво і багтанництво (історичні аспекти, сучасний стан, проблеми і перспективи розвитку): матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції (у рамках I-го наукового форуму: Науковий тиждень у Крутах – 2016, 21–22 березня 2016 р., с. Крути, Чернігівська обл.)* ДС «Маяк» ІОБ НААН. Ніжин: Лисенко М.М., 2016. Т. 2. С. 92–94.

22. Дыдив А. И. Эффективность удобрения и мелиорантов на подвижность кадмия и свинца в почве их влияние на качество капусты белокочанной. *Перспективы научного обеспечения овощеводства: Международная научно-практическая конференция, 21-24 июля 2016 года, аг. Самохваловичи-2016, РУП «Институт овощеводства» Беларусь. Самохваловичи, 2016. С. 62–64.*

23. Дыдив А. И. Влияние различной системы удобрения и мелиорантов на качественный состав столовой свеклы в зависимости от уровня загрязнения почвы кадмием и свинцом. *Почва – удобрение – урожай: Международная научно-практическая конференция посвященная 95-летию кафедр почвоведения и агрохимии Белорусской государственной сельскохозяйственной академии и 110- летию со дня рождения Заслуженного деятеля науки БССР, доктора с.-х наук, проф. Р. Т. Вильдфлуша, 11–12 октября 2016 г., г. Горки, Беларусь. Горки: БГСХА, 2016. С. 75–76.*

24. Снітинський В., Дидів А. Фітопродуктивність буряка столового залежно від рівнів забруднення ґрунту кадмієм за використання меліорантів та різних систем удобрення. *Теорія і практика розвитку агропромислового комплексу та сільських територій: матеріали XVIII Міжнародного наук.-практ. форуму, присвяченого пам'яті інженера Ярослава Зайшлого (м. Дубляни, 20-22 вересня 2017 р.).* Львів, 2017. С. 196–201.

25. Дидів А. І. Зменшення токсичності важких металів за використання

добрива та меліорантів при вирощуванні буряка столового. *Теорія і практика інноваційних розробок молодих вчених у ґрунтово-агрохімічній науці*: матеріали Всеукраїнського наук.-практ. круглого столу для молодих вчених (м. Харків, 18- 19 трав. 2017 р.). Харків: ФОП Бровін О.В., 2017. С. 56–58.

26. Dydiv A. I., Kachmar N. V., Bahday T. V. Influence of fertilizer and ameliorants on the quality of beet root dining in case of soil contamination cadmium. *Пермакультура та екологічно-безпечне землеробство*: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції (м. Ужгород, 24–25 лютого 2018 р.). Ужгород, 2018. С. 19–21.

**ФГ МЕЛЕШКА В.П.**

81646, Львівська обл., Миколаївський район, с.Київцець

Вих. № 1/11 від « 05 » листопада 2013 р.**ДОВІДКА****про впровадження результатів досліджень  
дисертаційної роботи поданої на здобуття  
наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук  
Дидіва Андрія Ігоровича**

Довідка видана Дидіву А. І. про те, що у 2012 – 2013 рр. результати дисертаційного дослідження з використанням органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту під капусту білоголову (сорт Ярославна) в нормі Біогумус 8 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га, а під буряк столовий (сорт Бордо харківський) в нормі Біогумус 4 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + СаСО<sub>3</sub> 5 т/га були впроваджені в ФГ «Мелешко» Миколаївського району Львівської області на площі 0,24 га.

Результати впровадження підтвердили високу ефективність проведення меліоративних заходів у поєднанні з органічними та мінеральними добривами. За використання такої технології зменшилась на 56-66% концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті порівняно з контролем (без добрив), а також знизився в 2,7-4,1 рази вміст важких металів в овочевих рослинах.

Запропонована технологія із застосуванням органічної та органо-мінеральної систем удобрення на фоні вапнування ґрунту дала можливість одержати екологічно-безпечну якісну продукцію капусти білоголової та буряка столового, а також підвищити урожайність на 47-55%.

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту дисертаційної роботи Дидіва А. І.

Голова ФГ Мелешка В.П.



Мелешко В. П.

**ФІРМА "ЗОРЕПАД" У ФОРМІ ТОВАРИСТВА З ОБМЕЖЕНОЮ  
ВІДПОВІДАЛЬНІСТЮ**

*80361, Львівська обл., Жовківський район, село Артасів*

Вих. № 17 від « 10 » листопада 2015р.

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів досліджень  
дисертаційної роботи поданої на здобуття  
наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук  
Дидіва Андрія Ігоровича**

У 2014 – 2015 рр. результати досліджень дисертаційної роботи Дидіва А. І. були впроваджені в ТзОВ «Зорепад» Жовківського району Львівської області на площі 0,30 га. Вирощували капусту білоголову пізньостиглу сорт Ярославна та буряк столовий сорт Бордо харківський. Застосовували органічну та органо-мінеральну систему удобрення на фоні вапнування ґрунту під капусту білоголову в нормі Біогумус 8 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га, а під буряк столовий в нормі Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га.

Результати впровадження підтвердили високу ефективність застосування органічних і мінеральних добрив на фоні вапнування ґрунту за вирощування капусти білоголової та буряка столового, завдяки чому зменшилась на 52-68% концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті, а також знизилась в 2,9-4,3 рази концентрація цих елементів в продуктивних органах овочевих рослин порівняно з контролем – без добрив.

Впровадження технології забезпечило урожайність капусти білоголової 58,2-60,3 т/га, а буряка столового 37,7–40,2 т/га. Одержана продукція характеризувалася високою якістю та товарністю.

Використання запропонованих систем удобрення на фоні вапнування покращило фізико-хімічні властивості ґрунту та підвищило його біологічну активність.

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту дисертаційної роботи Дидіва Андрія Ігоровича.



Керівник ТзОВ «Зорепад»

Федина П. В.

**ФЕРМЕРСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО «ЛІМ»**

80406, Львівська обл., Кам'янка-Бузький район, село Товмач

Вих. № 90/0 від « 27 » листопада 2017 р.

**ДОВІДКА**

**про впровадження результатів досліджень  
дисертаційної роботи поданої на здобуття  
наукового ступеня кандидата сільськогосподарських наук  
Дидіва Андрія Ігоровича**

У 2016 – 2017 рр. результати дисертаційного дослідження Дидіва А. І. за вирощування капусти білоголової сорт Ярославна та буряка столового сорт Бордо харківський при використанні органічної та органо-мінеральної системи удобрення на фоні вапнування ґрунту були впроваджені в ФГ «ЛІМ» Кам'янка-Бузького району Львівської області на площі 0,40 га. Застосовували такі норми добрив і меліорантів: під капусту білоголову – Біогумус 8 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>68</sub>P<sub>68</sub>K<sub>68</sub> + Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га, а під буряк столовий – Біогумус 4 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га та N<sub>34</sub>P<sub>34</sub>K<sub>34</sub> + Біогумус 2 т/га + CaCO<sub>3</sub> 5 т/га.

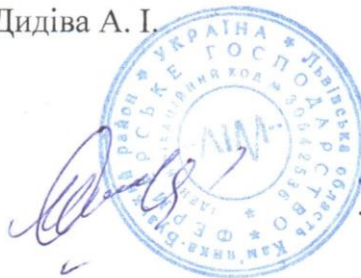
За впровадження технології зменшилась на 58-72% концентрація рухомих форм Cd<sup>2+</sup> та Pb<sup>2+</sup> у ґрунті порівняно з варіантом без добрив (контроль) та знизилась в 2,6-4,0 рази концентрація важких металів в головках капусти та коренеплодах буряка столового. В кінцевому результаті це дало можливість одержати екологічно-безпечну продукції з високими якісними показниками.

Застосування органічної та органо-мінеральної систем удобрення у поєднанні з кальцієвими меліорантами забезпечило урожайність капусти білоголової 56,4-62,0 т/га, а буряка столового 36,2–39,7 т/га.

Водночас використання запропонованих систем удобрення на фоні вапнування сприяло формуванню агрономічно цінної структури ґрунту, покращенню його фізико-хімічних властивостей, а в цілому підвищення його родючості.

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту дисертаційної роботи Дидіва А. І.

Голова ФГ «ЛІМ»



Лесишак М. І.



**Львівський національний  
аграрний університет**

01-27-03-1045.1  
13.09.2018р.

**ДОВІДКА**  
**про впровадження результатів дисертаційного дослідження**  
**асистента кафедри екології**  
**Львівського національного аграрного університету**  
**Дидіва Андрія Ігоровича**

Видана Дидіву А.І. про те, що результати наукових досліджень за темою дисертації «Агроекологічні аспекти нагромадження йонів кадмію і свинцю у *Brassica oleracea* var. *capitata* L. та *Beta vulgaris* L. в умовах Західного Лісостепу» використовуються у навчальному процесі Львівського національного аграрного університету при читанні курсів «Екологічні основи застосування добрив», «Охорона ґрунтів», «Токсикологія», «Овочівництво», «Агроекологія» студентам факультету агротехнологій і екології.

Довідка видана для пред'явлення у спеціалізовану вчену раду за місцем захисту дисертаційної роботи.

Проректор з наукової роботи  
д.е.н., доцент



Яців І. Б.