

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

ДОВБАШ НАДІЯ ІВАНІВНА

УДК: 631.45:633.1:504.53.062.4

**ЗМІНА ВЛАСТИВОСТЕЙ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ
ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ КУКУРУДЗИ В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ
ЕКОТОПІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ**

06.01.04 «Агрохімія»

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата сільськогосподарських наук

Київ – 2018

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано у Національному науковому центрі «Інститут землеробства Національної академії аграрних наук України»

Науковий керівник доктор сільськогосподарських наук,
старший науковий співробітник
Корсун Світлана Георгіївна,
Національний науковий центр
«Інститут землеробства НААН»,
завідувач відділу агроекології
і аналітичних досліджень

Офіційні опоненти: доктор сільськогосподарських наук, професор
Макаренко Наталія Анатоліївна,
Національний університет біоресурсів
і природокористування України,
професор кафедри екології агросфери
та екологічного контролю

доктор сільськогосподарських наук, доцент
Іваніна Вадим Віталійович,
Інститут біоенергетичних культур
і цукрових буряків НААН,
завідувач відділу агрохімії

Захист відбудеться «13» квітня 2018 року о 10⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.004.04 у Національному університеті біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15, навчальний корпус № 3, кімната 301

З дисертацією можна ознайомитися у науковій бібліотеці Національного університету біоресурсів і природокористування України за адресою: 03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 13, навчальний корпус № 4, кімната 41а

Автореферат розіслано «12» березня 2018 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Н. П. Бордюжа

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Однією з причин незбалансованого розвитку агроєкосистем в Україні, як вважають вітчизняні вчені, є високий рівень техногенного забруднення навколишнього природного середовища, в т.ч. важкими металами. Обґрунтовану занепокоєність дослідників викликає зростаюче забруднення ґрунтів свинцем, кадмієм, цинком, пов'язане з використанням автотранспорту, щорічним спалюванням мільйонів тонн вугілля та іншого палива, агротехногенним навантаженням.

Екотоксиканти, надходячи до ґрунту, вступають у хімічні реакції, адсорбуються органічними речовинами, глинистими мінералами, оксидами. В різних за типом і гранулометричним складом ґрунтах співвідношення форм важких металів і їх розподіл відрізняються. Депонування забруднювачів ґрунтом часто унеможливорює реалізацію потенціалу сільськогосподарських культур та спричиняє забруднення рослинницької продукції. Підтвердженням цьому є результати наукових досліджень: А. Кабата-Пендіас (1989), В. Б. Ільїна (2001), В. В. Медведєва (2002), Ю. М. Дмитрука (2005), С. М. Крамарьова (2007) В. Л. Самохвалової (2008), Н. А. Макаренко (2009), Т. М. Мінкіної (2009), С. А. Балюка (2011), А. І. Фатєєва (2012), С. Г. Корсун (2012), Г. М. Господаренка (2013) та ін.

Ураховуючи те, що в нашій країні близько 8 % території сільськогосподарських угідь представлено ґрунтами з понадприродним умістом важких металів (Балюк С. А., 2014), важливою проблемою сучасності залишається дослідження зміни їхніх хімічних, біологічних, фізико-хімічних властивостей під впливом цих елементів, та встановлення параметрів забрудненості, що дозволяють вирощувати польові культури із задовільними кількісними та якісними характеристиками. Перелічене вище свідчить про доцільність і актуальність вивчення зміни властивостей сірого лісового ґрунту в умовах забруднення екотопів важкими металами та наукового обґрунтування можливості безпечного використання таких територій для вирощування кукурудзи на зерно.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в Національному науковому центрі «Інститут землеробства НААН» впродовж 2012–2014 рр. Тема роботи має безпосередній зв'язок з тематичним планом наукових досліджень Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН», а саме: ПНД 2 Землеробство на 2011–2015 рр. «Розробити наукові основи розвитку галузі землеробства за стабілізації землекористування і структури природних угідь, застосування технологій конкурентоспроможного виробництва продукції рослинництва, збереження і відтворення в них родючості ґрунтів». Підпрограма 1 «Системи землеробства при оптимізації співвідношення земельних угідь, застосування ефективних технологій виробництва продукції рослинництва в Лісостепу й Поліссі». Завдання 02.01.05.04 «Установити спрямованість екотоксикологічних трансформацій у абіотичній та біотичній компоненті агроєкосистеми за різного агротехногенного навантаження» (номер державної реєстрації 0111U008425).

Мета та завдання дослідження. Мета роботи – встановити спрямування зміни агрохімічних і біологічних характеристик сірого лісового ґрунту в умовах стабільного забруднення важкими металами та можливості безпечного використання забруднених територій у землеробстві для вирощування кукурудзи на зерно.

Для досягнення поставленої мети вирішувались наступні завдання:

– установити спрямування трансформації фізико-хімічних, агрохімічних та біологічних властивостей сірого лісового легкосуглинкового ґрунту в умовах стабільного забруднення екотопу свинцем, кадмієм, цинком;

– з'ясувати вплив різноінтенсивного техногенного навантаження на структуру фонду важких металів у сірому лісовому легкосуглинковому ґрунті;

– установити особливості розподілу важких металів за профілем сірого лісового легкосуглинкового ґрунту в умовах техногенного забруднення території;

– дослідити вплив забрудненості екотопів кадмієм, цинком і свинцем на морфологічні показники та продуктивність фотосинтетичного апарату агроценозу кукурудзи;

– встановити вплив важких металів на урожайність кукурудзи на зерно, біохімічні та токсикологічні властивості зерна.

Об'єкт дослідження – трансформація агрохімічних і біологічних властивостей сірого лісового ґрунту та фізіолого-біохімічних процесів у рослинах кукурудзи на зерно під впливом сталого забруднення екотопів важкими металами.

Предмет дослідження – агрохімічні та біологічні показники родючості сірого лісового ґрунту, продуктивність кукурудзи, біохімічні та токсикологічні показники якості урожаю основної і побічної продукції.

Методи досліджень: візуальний – для встановлення фенологічних фаз росту і розвитку кукурудзи на зерно; польовий – для встановлення параметрів впливу важких металів та мікроелементів на родючість ґрунту; лабораторний – для визначення вмісту важких металів, фізичних, фізико-хімічних, агрохімічних властивостей ґрунту, якісних та кількісних показників урожаю; морфофізіологічний – для визначення біометричних параметрів рослин кукурудзи на зерно; порівняльно-розрахунковий – для оцінки економічної та енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно; математико-статистичний – для встановлення достовірності отриманих результатів досліджень та точності досліду.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше встановлено структуру фонду цинку, свинцю, кадмію та ступінь їхньої радіальної міграції у профілі сірого лісового ґрунту за різноінтенсивного забруднення важкими металами. Виявлено підвищення обмінної та гідролітичної кислотності, пригнічення інтенсивності респірації та целюлозолітичної активності мікроорганізмів, тенденцію до зменшення вмісту гумусу у сірому лісовому ґрунті за тривалого забруднення екотопів свинцем, кадмієм, цинком. З'ясовано особливості формування фотосинтетичного апарату рослин кукурудзи на зерно в умовах понадприродного вмісту важких металів у ґрунті, які полягали у

зниженні фотосинтетичного потенціалу посіву та чистої продуктивності фотосинтезу.

Удосконалено способи ремедіації територій, забруднених важкими металами, шляхом вирощування кукурудзи на зерно в умовах типового для зони Лісостепу сірого лісового ґрунту.

Отримала подальшого розвитку теорія механізму засвоєння хімічних елементів рослинами з ґрунту в розрізі транслокації важких металів в системі ґрунт – рослина, ефективності дії корневих бар'єрів.

Практичне значення одержаних результатів. Визначено фіторемердіаційну здатність кукурудзи на зерно за вирощування на забруднених територіях та обґрунтовано можливість використання отриманого зерна для кормових та технічних цілей. Розроблено новий спосіб використання сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм (Патент України на корисну модель «Спосіб використання сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм»). Виробничу перевірку проведено на площі 20 га у ТОВ «Можарівське» (с. Можари Овруцького району Житомирської області), на площі 17 га у ТОВ «Словечно» (с. Словечно Овруцького району Житомирської області) та в СФГ АФ «Рогізнянська» (сmt Володарка Володарського району Київської області) на загальній площі 53 га.

Особистий внесок здобувача. Здобувач безпосередньо опрацювала і узагальнила вітчизняну та зарубіжну літературу, сформувала робочу гіпотезу, провела польові і лабораторні дослідження, статистичну обробку отриманих результатів, сформувала висновки та рекомендації виробництву, підготувала наукові статті особисто та у співавторстві. З наукових праць, опублікованих у співавторстві, в дисертації використано лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої роботи здобувача.

Апробація результатів дисертації. Результати дисертаційних досліджень щорічно доповідались та обговорювались на засіданнях методичної комісії з питань землеробства та рослинництва Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН» (сmt Чабани, 2012–2014 рр.). Основні положення та результати досліджень дисертаційної роботи викладено і обговорено на науково-практичній конференції молодих учених і спеціалістів «Агротехнології для сталого виробництва конкурентоспроможної продукції» (сmt Чабани, 2012 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих вчених, аспірантів і докторантів «Наукові пошуки молоді у третьому тисячолітті» (м. Біла Церква, 2013 р.); ІХ з'їзді Українського товариства ґрунтознавців та агрохіміків «Охорона ґрунтів – основа сталого розвитку України» (м. Миколаїв, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Збалансоване природокористування: традиції та інновації» (м. Київ, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених, студентів і аспірантів «Екологізація сталого розвитку інформаційного суспільства» (м. Харків, 2014 р.); Міжнародній науково-практичній конференції «Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві» (м. Київ, 2014 р.); V Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія/Ecology – 2015) (м. Вінниця, 2015 р.); науково-

практичній конференції молодих учених і спеціалістів «Інноваційні розробки молодих учених для конкурентоспроможного аграрного виробництва» (сmt Чабани, 2015 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 16 наукових працях, з яких 4 статті у наукових фахових виданнях України, 3 статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних, патент України на корисну модель, 8 тез наукових доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотацій, вступу, 6 розділів, висновків, рекомендацій виробництву, списку використаних джерел та додатків. Дисертацію викладено на 213 сторінках друкованого тексту. Робота містить 33 рисунки, 22 таблиці, 17 додатків. Список використаних джерел налічує 325 джерел, у т. ч. 68 латиницею.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ТРАНСФОРМАЦІЇ В АГРОБІОГЕОЦЕНОЗАХ ЗА УМОВИ АНТРОПОГЕННОГО ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

У розділі проаналізовано і узагальнено наукові літературні джерела вітчизняних і зарубіжних учених щодо впливу важких металів на основні фізичні, хімічні, біологічні властивості ґрунтів, їхню біокумуляцію рослинами, а також деконтамінацію ґрунтів шляхом фіторе mediaції. З'ясовано, що в умовах підвищеного рівня антропогенного пресингу генетичні особливості ґрунтів та рівень їхньої родючості визначають умови росту та розвитку сільсько-господарських культур.

Ураховуючи те, що площі сільськогосподарських угідь з понадприродним умістом важких металів збільшуються, постає проблема встановлення параметрів забрудненості ґрунтів, що дозволяють вирощувати польові культури із задовільними кількісними та якісними характеристиками урожаю. Зважаючи на вже досягнуті наукові здобутки, роботу було спрямовано на визначення зміни агрохімічних характеристик сірого лісового ґрунту в умовах стабільного забруднення свинцем, кадмієм, цинком та обґрунтування способу безпечного використання таких територій у землеробстві.

УМОВИ ТА МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження проводили у дрібноділянковому досліді «Вплив цинку, свинцю, кадмію на продуктивність сільськогосподарських культур, агрохімічні та екотоксикологічні характеристики сірого лісового ґрунту», який закладено в 1999 р. в Правобережному Лісостепу (дослідне господарство «Чабани» Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН»).

Ґрунт дослідної ділянки сірий лісовий грубопилувато легкосуглинковий на лесовидному суглинку. Перед закладанням досліді орний шар ґрунту (0–20 см) характеризувався низьким умістом гумусу (1,65 %), близькою до нейтральної реакцією середовища ($pH_{\text{сол.}}$ 5,65), дуже низьким умістом гідролізованих форм азоту (85,1 мг/кг), високим – рухомого фосфору (162 мг/кг ґрунту) та підвищеним – рухомого калію (120 мг/кг ґрунту).

Дослід включав чотири варіанти з штучно створеними ґрунтовими фонами. Змодельовано комплексне забруднення верхнього шару (0–20 см) ґрунту цинком, свинцем, кадмієм: варіант № 1 – природний (локальний) фон важких металів (контроль); варіант № 2 – перевищення природного фону металів у 10 разів; варіант № 3 – перевищення природного фону у 100 разів; варіант № 4 – перевищення природного фону у 5 разів. Площа облікової ділянки становила 4 м², повторність – чотириразова.

Перед закладанням досліду було встановлено, що на сірих лісових ґрунтах господарства «Чабани» природний (локальний) фон вмісту кислоторозчинної фракції елементів складав: свинцю – 10 мг/кг ґрунту, цинку – 5, кадмію – 0,2 мг/кг ґрунту. Згідно з градацією, наведеною у «Методиці суцільного ґрунтово-агрохімічного моніторингу сільськогосподарських угідь України» такий вміст важких металів відповідає слабкому рівню забруднення за кадмієм, помірному – за свинцем та відзначається відсутністю забрудненості за цинком.

При формуванні екотопів з різними рівнями забрудненості до верхнього шару ґрунту (20 см) вносили солі металів: свинець азотнокислий ($\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$), кадмій азотнокислий ($\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$) і цинк азотнокислий ($\text{Zn}(\text{NO}_3)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). Створені у 1999 р. фони підтримувались за рахунок систематичного поповнення фонду важких металів на кожному з екотопів. Дози металів розраховували і вносили щорічно, виходячи з виносу елементів урожаєм культур. Таким чином, валовий вміст важких металів за варіантами досліду був стабільним і у варіанті № 1 (природний фон, контроль) відповідав: свинцю – 10 мг/кг ґрунту, цинку – 5, кадмію – 0,2 мг/кг ґрунту; варіанті № 2 (перевищення природного фону металів у 10 разів): свинцю – 100 мг/кг ґрунту, цинку – 50, кадмію – 2 мг/кг ґрунту; варіанті № 3 (перевищення природного фону у 100 разів): свинцю – 1000 мг/кг ґрунту, цинку – 500, кадмію – 20 мг/кг ґрунту; варіанті № 4 (перевищення природного фону у 5 разів): свинцю – 50 мг/кг ґрунту, цинку – 25, кадмію – 1 мг/кг ґрунту.

Упродовж 2012–2014 рр. на ділянках досліду вирощували кукурудзу на зерно (середньоранній гібрид Здвиж МВ (ФАО 240)) у беззмінному посіві. Технологія вирощування культури була загальноприйнятою для зони Лісостепу. Система удобрення під кукурудзу передбачала внесення мінеральних добрив у дозі $\text{N}_{120}\text{P}_{90}\text{K}_{120}$. Добрива застосовували у формі: аміачна селітра – NH_4NO_3 (34,6 % д. р.) (ДСТУ 7370:2013), простий гранульований суперфосфат – $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4) \cdot \text{H}_2\text{O}$ (20 % д. р.) (ГОСТ 5956-78), калій хлористий – KCl (60 % д. р.) (ГОСТ 4568-95). Для захисту посівів від шкочинних об'єктів застосовували Вітавакс 200 ФФ, в. с. к., 3 л/т (протруювач); Хармоні 75, в. г., 15 г/га (гербіцид); Харнес 90, к. е., 2 л/га (гербіцид ґрунтовий). У досліді до 2012 р. вирощували зернові, зернобобові, кормові, олійні культури.

Відбір і підготовку ґрунтових і рослинних проб до аналізу здійснювали згідно з атестованими в Україні методиками. Ґрунтові проби відбирали з шару 0–20 см (ДСТУ ISO 11464-2001), а для досконалішого вивчення процесів трансформації властивостей ґрунту під впливом важких металів проводили відбір на глибину профілю (до 120 см) через кожні 20 см. У ґрунтових пробах

визначали: рН сольове іонометрично (ДСТУ ISO 10390-2001); гідролітичну кислотність – за методом Каппена (ДСТУ 7537:2014); уміст органічної речовини (гумус) – за методом Тюріна (ДСТУ 4289:2004); гідролізований азот – за методом Корнфілда (ДСТУ 7863:2015); рухомий калій та фосфор за методом Чирикова (ДСТУ 4115-2002); азот нітратний – потенціометрично (ДСТУ 4725-2007); біологічну активність ґрунту – методом аплікації лляних полотен (Теппер Е. В., 2004); інтенсивність виділення ґрунтом CO₂ за ДСТУ 7927:2015; нітрифікаційну здатність ґрунту за методом Кравкова; валові, кислотнорозчинні (після вилучення 1,0 н HCl) та рухомі (після вилучення ацетатно-амонійним буферним розчином рН 4,8) форми цинку, кадмію, свинцю у ґрунті – методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії (ДСТУ 4362:2004, ДСТУ 4770 (2, 3, 9):2007).

При дослідженні стану фітоценозу визначали: фотосинтетичний потенціал і чисту продуктивність фотосинтезу – за методикою А. А. Ничипоровича; вологість рослинного матеріалу за ДСТУ ISO 11465-2001; об'єм кореневої системи – за методом Д. А. Сабініна та І. І. Колосова; флуоресценцію хлорофілу – експрес-методом індукції флуоресценції хлорофілу за допомогою портативного флуорометра «Флоратест»; біохімічні показники якості зерна (протеїн, білок, жир, клітковина, крохмаль) – методом інфрачервоної спектроскопії на інфрачервоному аналізаторі NIR Systems 4500 (ДСТУ 4117:2007); масу 1000 зерен за ДСТУ 4138-2002; посівні якості насіння (схожість, енергія проростання, сила росту) згідно з ДСТУ 4138:2002; уміст цинку, кадмію, свинцю у вегетативних і генеративних органах – методом атомно-абсорбційної спектрофотометрії після деструкції органічної речовини з допомогою азотної кислоти та термообробки (ГОСТ 30178–96).

Урожайність основної і побічної продукції кукурудзи визначали щорічно з кожної ділянки. Фенологічні спостереження за ростом і розвитком культури проводили згідно з «Методикою Державного сорто випробування сільськогосподарських культур» під редакцією В. В. Волкодава.

Баланс нутрієнтів і полютантів розраховували згідно методичних рекомендацій (Макаренко В. М., Розстальний В. Є., Марчук І. У. та ін., 2003 р.) на основі отриманих нами емпіричних даних. Економічну ефективність визначали згідно методики відділу економіки Національного наукового центру «Інститут землеробства НААН», а енергетичну – за методичними рекомендаціями Ю. О. Тараріко (2001 р.). Математико-статистичний аналіз отриманих у процесі досліджень даних проведено за Б. О. Доспеховим (1985 р.) з допомогою комп'ютерних програм Microsoft Office Excel 2007, Statistica 5.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

ВПЛИВ ЕКЗОГЕННОГО НАДХОДЖЕННЯ СВИНЦЮ, КАДМІЮ, ЦИНКУ НА ЗМІНУ ВЛАСТИВОСТЕЙ СІРОГО ЛІСОВОГО ҐРУНТУ

Дослідження ґрунту ділянок з понадприродним вмістом важких металів виявило певне трансформовання структури ґрунтового вбирного комплексу. При закладанні досліду у 1999 р. обмінна кислотність у контрольному варіанті

знаходилась на рівні pH_{KCl} 5,65, а на ділянках перед створенням фонів з 5-, 10- і 100-разовим перевищенням природного фону важкими металами показник pH_{KCl} відповідно становив 5,68, 5,60, 5,80 за $HIP_{05}=0,17$ та мав незначне варіювання ($V=1,5\%$). У період 2012–2014 рр. обмінна кислотність (pH_{KCl}) досягла діапазону 4,53–4,73. Таке загальне для ділянки дослідження зниження показника пов'язано з відсутністю вапнувань в період 1999–2014 рр. Отримані в 2012–2014 рр. результати також мали низький рівень варіювання ($V=1,8\%$). Утім, порівняння значень, отриманих на кожній окремій ділянці, з вихідним ґрунтом виявило зменшення pH_{KCl} на 0,93–1,27 одиниць. Найбільше зниження показника pH_{KCl} порівняно з вихідним ґрунтом було у варіанті зі 100-разовим перевищенням природного фону важких металів – 1,27 (рис. 1).

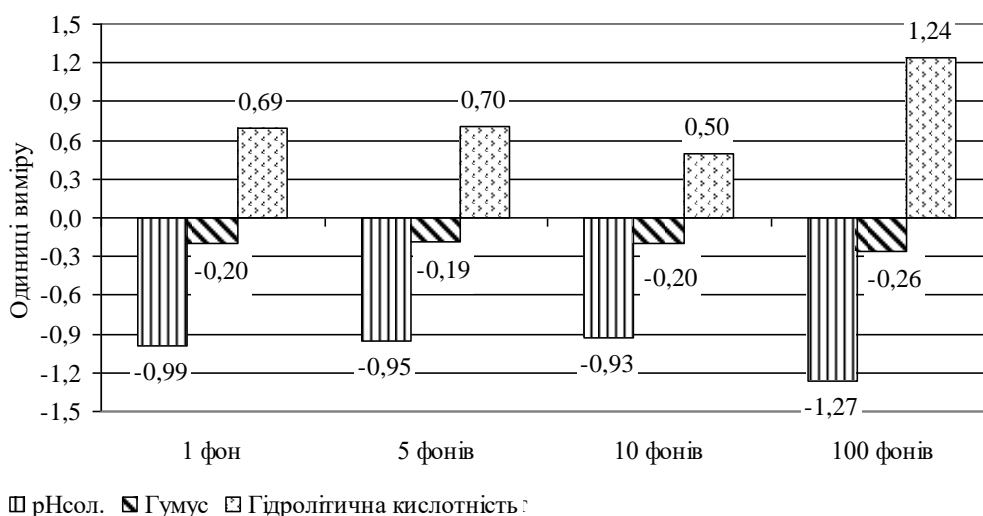


Рис. 1. Зміна значення показників фізико-хімічного стану ґрунту до вихідного рівня (1999 р.) за тривалого забруднення агроєкотопів важкими металами, середнє за 2012–2014 рр. (варіанти: 1 фон – природний фон важких металів (контроль); 5, 10, 100 фонів – перевищення природного фону важких металів відповідно у 5, 10, 100 разів, pH_{sol} ; гумус, %; гідролітична кислотність, м-екв/100 г ґрунту)

Отримані тенденції змін у ґрунтово-вбирному комплексі підтверджуються результатами аналізу гідролітичної кислотності. Як у пробах, відібраних при закладанні дослідження, так і у період 2012–2014 рр. варіювання показників було низьким: $V=4,4\%$ і $V=8,2\%$ відповідно. Утім, за тривалого накопичення ґрунтом важких металів відбулось зростання частки іонів H^+ та Al^{3+} у ґрунтово-вбирному комплексі, що зумовило збільшення потенційної кислотності порівняно з початковими показниками на 0,5–1,24 м-екв/100 г ґрунту. У контролі та за 5- і 10-разового перевищення фону важких металів додалось лише 0,5–0,7 м-екв/100 г, тоді як 100-разове перевищення фону спричинило зростання гідролітичної кислотності на 1,24 м-екв/100 г ґрунту та перехід від групи з нейтральною кислотністю до середнього рівня кислотності. Такий ефект спричинений впливом важких металів на співвідношення між катіонами у ґрунтово-вбирному комплексі та тенденцією до зниження кількості гумусових речовин у ґрунті.

Установлено, що вихідний вміст гумусу (1999 р.) у ґрунтах дослідних ділянок становив 1,58–1,68 % за низького рівня варіювання ($V=2,9\%$). За вирощування кукурудзи на зерно з системою удобрення, в якій не передбачено органічних добрив, відбулось зменшення кількості органічних речовин у ґрунті всіх варіантів. До 2012–2014 рр. було втрачено 0,19–0,26 % гумусу, хоча варіювання показника залишалось низьким – $V=3,2\%$. Попри це виявлено, що найбільшими були втрати гумусу на ділянках з максимальним накопиченням важких металів – 0,26 %.

Використання забруднених екотопів для вирощування сільсько-господарських культур за систематичного внесення мінеральних добрив у рекомендованих дозах зумовило зміну концентрації рухомих форм поживних елементів у орному шарі ґрунту (рис. 2). Окультуреність ґрунту та вирощування в попередні роки люцерни, люпину, квасолі, кормових бобів сприяли підтриманню вмісту азоту на рівні, близькому до вихідних значень, попри його дефіцитний баланс упродовж 2012–2014 рр. (інтенсивність господарського балансу азоту становила 59–74 %). Уміст азоту гідролізованих форм за високого забруднення (100 фонів) мав тенденцію до підвищення, порівняно з вихідними показниками ґрунту.

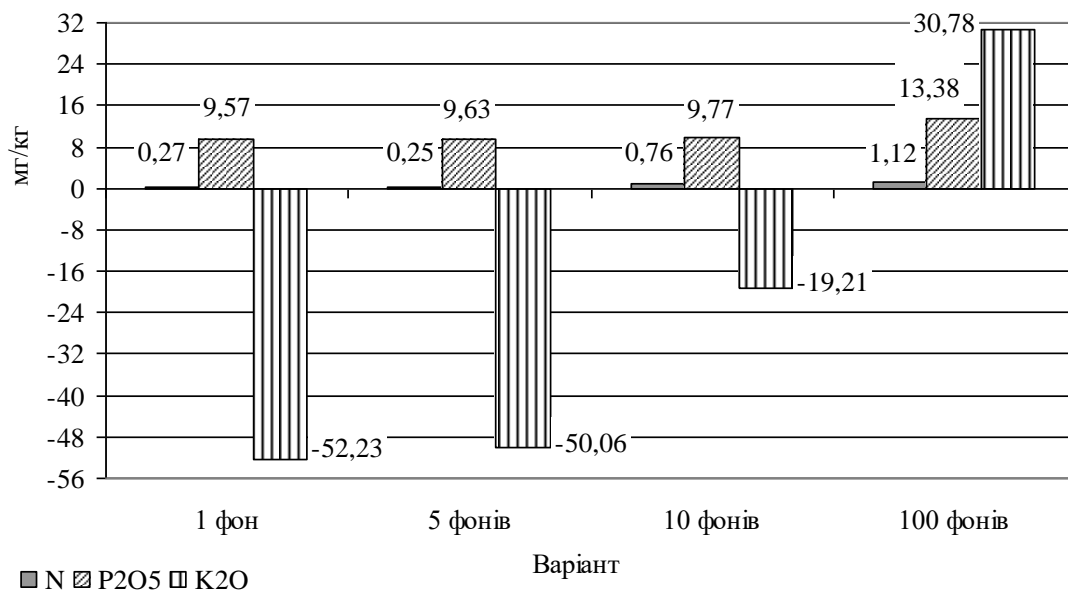


Рис. 2. Приріст значення показників поживного режиму ґрунту до вихідного рівня (1999 р.) за умови тривалого забруднення агроекотопів важкими металами, середнє за 2012–2014 рр. (варіанти: 1 фон – природний фон важких металів (контроль); 5, 10, 100 фонів – перевищення природного фону важких металів відповідно у 5, 10, 100 разів; N – гідролізований азот; P₂O₅ – рухомий фосфор; K₂O – рухомий калій, мг/кг ґрунту)

Позитивний баланс фосфору в агроекотопі (інтенсивність господарського балансу фосфору 107–137 %) свідчить про присутність у ґрунті рухомих фосфатів, які можуть брати участь у зв'язуванні катіонів свинцю, кадмію, цинку, що знижує їхню рухомість. Варіювання вмісту рухомих фосфатів як при закладанні досліду, так і в період вирощування кукурудзи на зерно було на

середньому рівні – $V=12,0\%$ і $V=10,6\%$ відповідно. Порівняно з вихідним ґрунтом кількість фосфатів зростає: у контролі та варіантах з перевищенням фону в 5 і 10 разів – на 9,6–9,8 мг/кг ґрунту, а в найзабрудненішому екотопі (100 фонів) – на 13,4 мг/кг.

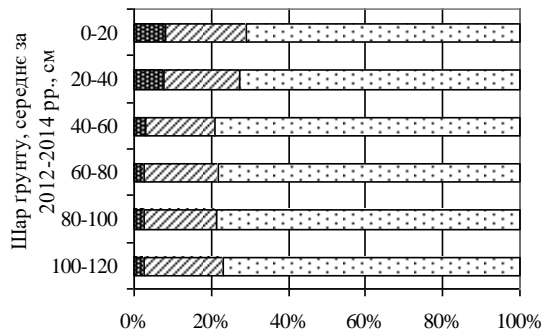
Порівняння абсолютних значень на кожній з ділянок дозволило встановити чітку тенденцію до збіднення ґрунту рухомим калієм у контролі та варіантах з 5- і 10-разовим перевищенням фону важких металів. Втрати становили 19,2–52,2 мг K_2O на кг ґрунту. Для ділянок з 100-разовим підвищенням фону важких металів, навпаки, характерно зростання кількості доступних рослинам форм калію (на 30,8 мг/кг ґрунту). Тенденція підтверджується балансовими розрахунками, згідно з якими інтенсивність балансу калію в досліді складала 75–107 % (2012–2014 рр.), причому саме у варіанті з найбільшим забрудненням ґрунту інтенсивність балансу була 107 %. Накопичення рухомих сполук калію саме у цьому варіанті, на нашу думку, пов'язано з різким зниженням урожайності сільськогосподарських культур і відповідним зменшенням відчуження біогенних елементів, у тому числі калію, із зерном та надземною вегетативною масою.

Одним із чутливих діагностичних критеріїв родючості ґрунту в умовах техногенного навантаження є стан його мікробного ценозу. В агроценозі, впродовж 2012–2014 рр., залежно від навантаження екотопів важкими металами, целюлозоруйнівна активність змінювалась в межах від 31,4 до 43,9 % ($V=14,3\%$), досягнувши середнього рівня за шкалою Звягінцева. Найбільш інтенсивний розклад тканини відмічено у контролі. Достовірне зниження показника виявлено лише у варіанті з 100-разовим перевищенням фону важких металів (за HIP_{05} 10,9 %).

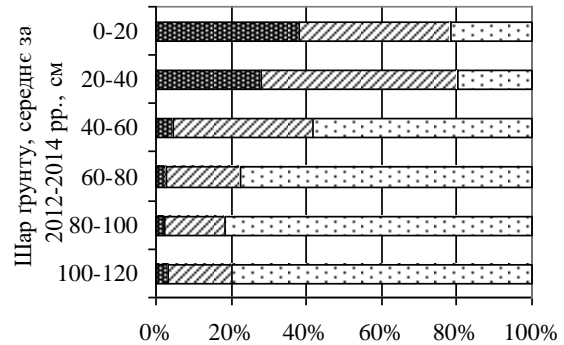
Мінливість ознаки інтенсивності респірації у варіантах агроценозу кукурудзи відзначалась низькою варіабельністю ($V=9,3\%$) – 28,6–35,5 мг/кг ґрунту за добу без перевищення найменшої ймовірної різниці між варіантами досліді. Втім, за низького значення коефіцієнту варіації ($V=4,2\%$) виявлено тенденцію до підвищення нітрифікаційної здатності на ділянках забруднених важкими металами. Нітрифікаційні процеси проходили найінтенсивніше за перевищення природного фону важких металів у 100 разів – 8,14 мг/кг ґрунту, а найнижча інтенсивність відмічена у контролі (7,42 мг/кг ґрунту).

Виявлено, що 19,8–37,0 % від загального вмісту цинку, 13,5–56,5 % свинцю та 8,22–18,4 % кадмію у профілі сірого лісового легкосуглинкового ґрунту знаходиться у кислоторозчинній формі і відповідно 1,10–6,29 %, 4,07–6,90, 1,43–8,27 % – у рухомій формі, за їхнього низхідного розподілу між генетичними горизонтами (рис. 3). В умовах систематичного забруднення екотопів найбільше концентрування валових запасів цинку, свинцю і кадмію зафіксовано у гумусово-елювіальному та верхній частині ілювіального гумусованого горизонтів. Виявлено, що залежно від рівня надходження металів в агроекотопи кількість валових запасів цинку, свинцю, кадмію у шарі 0–40 см відносно всього профілю впродовж періоду з 1999 р. до 2012–2014 рр. відповідно зростає з 28,9–32,9 до 40,2–87,8 %; з 30,3–34,0 до 58,2–93,7 %; з 30,1–31,8 до 41,7–70,2 % за відповідного збільшення частки кислото-

розчинних форм від 38,5–40,8 до 56,3–95,6 %; від 44,9–49,1 до 80,2–97,6 %; від 29,2–34,2 до 63,9–93,3 %; та рухомих форм – від 60,0–62,9 до 86,5–98,8 %; від 31,1–34,2 до 87,2–98,3 %; від 48,8–50,3 до 77,9–95,9 %.

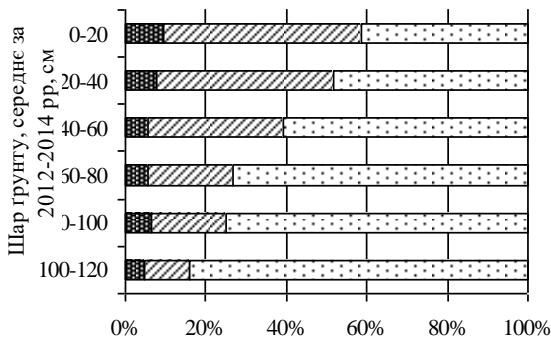


Природний фон важких металів
(контроль)

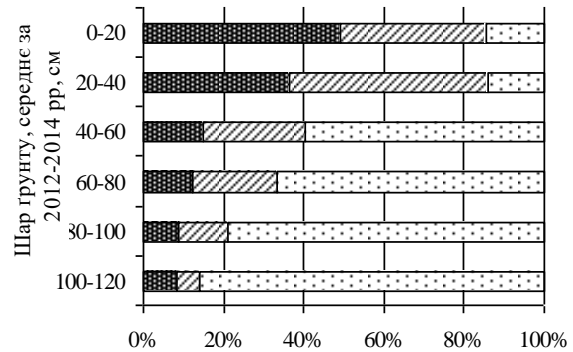


Перевищення природного фону
важких металів у 100 разів

Цинк

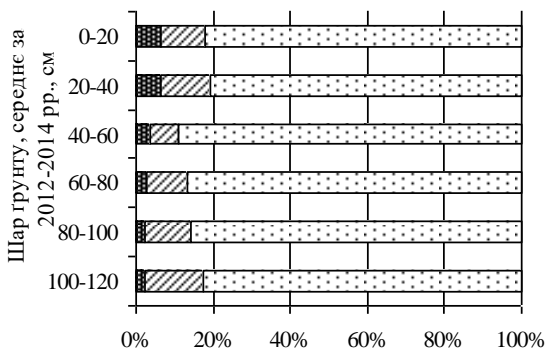


Природний фон важких металів
(контроль)

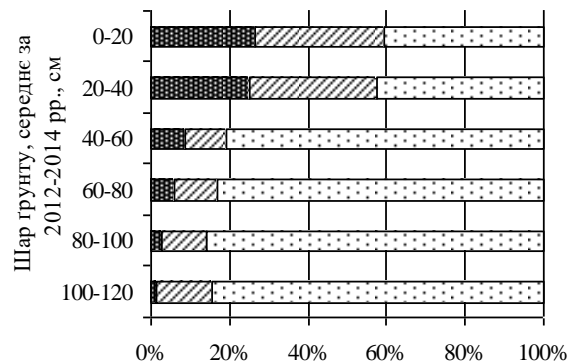


Перевищення природного фону
важких металів у 100 разів

Свинець



Природний фон важких металів
(контроль)



Перевищення природного фону
важких металів у 100 разів

Кадмій

■ Рухома форма ▨ Кислоторозчинна форма □ Нерозчинна форма в 1н НСІ

Рис. 3. Зміна структури запасів цинку, свинцю, кадмію за профілем ґрунту залежно від фону забрудненості агроєкотопу важкими металами, %, 2012–2014 рр.

ФОРМУВАННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В АГРОЕКОТОПАХ З ЕКЗОГЕННИМ НАДХОДЖЕННЯМ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Відмічено, що з підвищенням умісту важких металів у ґрунті змінювались біометричні показники рослин кукурудзи. Між висотою рослин в основні фази росту і розвитку та забрудненістю ґрунту виявлено тісний обернений кореляційний зв'язок: у фазі 3–4 листків коефіцієнт кореляції становив $r = -0,922$, цвітіння – $r = -0,823$, молочної стиглості – $r = -0,923$. З розвитком рослин негативний вплив металів на лінійний ріст кукурудзи посилювався, досягаючи максимуму в період інтенсивного накопичення вегетативної маси (рис. 4).

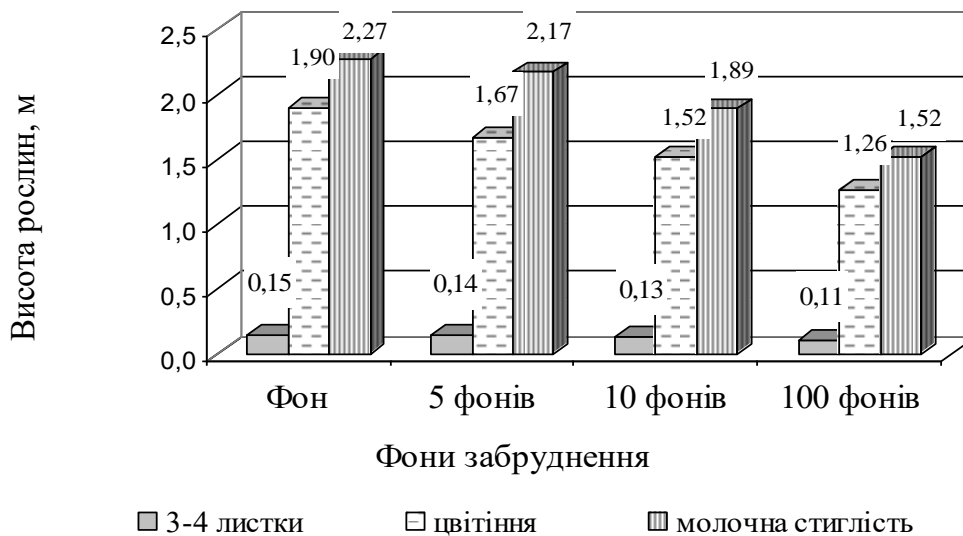


Рис. 4 Висота рослин кукурудзи за основними фазами росту і розвитку залежно від фону забрудненості ґрунту, м, 2012–2014 рр.

Підвищення вмісту важких металів у ґрунті обумовило негативні зміни розвитку фотосинтетичного апарату посівів кукурудзи, що пов'язано з порушенням перебігу біохімічних процесів під впливом кадмію, цинку, свинцю (табл. 1). За вмісту у верхньому шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту свинцю до 1000 мг, цинку до 500 мг, кадмію до 20 мг/кг ґрунту фотосинтетичний потенціал посіву знижувався на 7,5–34,2 %, чиста продуктивність фотосинтезу – на 3,22–22,6 %.

Діагностування фізіологічного стану рослин кукурудзи методом індукції флуоресценції хлорофілу дозволило виявити тісну позитивну кореляційну залежність між якісними і кількісними показниками стану асиміляційного апарату в умовах забруднення ґрунту свинцем, кадмієм і цинком. Коефіцієнти кореляції між ефективністю первинних процесів фотосинтезу, визначену методом індукції флуоресценції хлорофілу, і фотосинтетичним потенціалом посіву знаходились у межах $0,753 < r < 0,971$, чистою продуктивністю фотосинтезу – $0,777 < r < 0,963$. Ефективність циклу Кальвіна, визначена за параметрами кривої Каутського, мала середню та тісну кореляційну залежність з фотосинтетичним потенціалом посіву ($0,588 < r < 0,923$) і з чистою продуктивністю фотосинтезу ($0,581 < r < 0,914$).

**Показниками стану асиміляційного апарату рослин кукурудзи
в умовах забруднення ґрунту свинцем, кадмієм і цинком,
середнє за 2012–2014 рр.**

Варіант досліджу	Площа листової поверхні кукурудзи за фазами росту і розвитку, тис. м ² /га					ФПП, млн м ² днів/га	ЧПФ, г/м ² за добу
	3–4 листки	11–12 листків	викиданья волотей	цвітіння	молочна стиглість		
1 – природний фон важких металів (контроль)	0,83	9,31	40,1	52,1	37,3	2,81	8,46
4 – п'ятиразове перевищення природного фону важких металів	0,71	9,01	37,6	48,5	32,6	2,60	8,19
2 – десятиразове перевищення природного фону важких металів	0,61	8,56	31,7	44,1	29,7	2,32	7,38
3 – сторазове перевищення природного фону важких металів	0,45	6,25	26,8	34,8	22,4	1,85	6,55
$\bar{X} \pm S_{\bar{x}}$	0,65± 0,08	8,28± 0,69	34,1± 3,0	44,8± 3,7	30,5± 3,1	2,40± 0,21	7,65± 0,43
V, %	24,7	16,8	17,6	16,6	20,5	17,3	11,3

Примітка. ФПП – фотосинтетичний потенціал посіву; ЧПФ – чиста продуктивність фотосинтезу

Дослідження стану агроценозу кукурудзи на зерно в умовах забруднення ґрунту свинцем, кадмієм, цинком засвідчило високу стійкість культури до підвищення вмісту важких металів у ґрунтового середовищі. Урожайність зерна в досліді коливалась в межах 6,15–7,93 т/га (рівень варіювання середній – 14,2 %), але забруднення ґрунту погіршувало умови росту і розвитку рослин. На ділянках з 5–100-разовим перевищенням фону важких металів спостерігали зниження врожайності зерна кукурудзи на 0,52–1,78 т/га ($НІР_{05}=0,37$), порівняно з контролем. Недобір урожаю становив 6–22 %, що пов'язано як із зменшенням маси 1000 зерен, так і розміром качанів (табл. 2).

Розвиток асиміляційного апарату та активність його діяльності під час росту і розвитку рослин визначають рівень формування та якість урожаю. Результати кореляційного аналізу (табл. 3) підтвердили тісну позитивну залежність урожайності кукурудзи та маси 1000 зерен від стану асиміляційного апарату рослин (фотосинтетичний потенціал посіву і чиста продуктивність фотосинтезу). Важливо те, що ефективність первинних процесів фотосинтезу та ефективність циклу Кальвіна також мали позитивний зв'язок з урожайністю кукурудзи. Найтісніша залежність між параметрами флуоресценції і величини урожаю характерна для фаз викидання волотей і молочної, воскової стиглості.

Вплив забрудненості ґрунту важкими металами на врожайність та якість зерна кукурудзи гібриду Здвиж МВ, середнє за 2012–2014 рр.

Варіант дослідю	Урожайність, т/га	Маса 1000 зерен, г	Уміст у зерні, мг/кг		
			кадмій, Cd	свинець, Pb	цинк, Zn
1 – природний фон важких металів (контроль)	7,93	272	0,00	0,4	10,5
4 – п'ятиразове перевищення природного фону важких металів	7,41	259	0,00	0,5	10,8
2 – десятиразове перевищення природного фону важких металів	7,07	241	0,05	0,7	12,6
3 – сторазове перевищення природного фону важких металів	6,15	239	0,05	0,9	22,8
$\bar{X} \pm S\bar{x}$	7,14±0,23	253±4,16	0,03±0,01	0,66±0,10	14,2±2,92
V, %	14,2	7,40	115,5	30,4	41,3
ГДК: зерно продовольче зерно на корм	–	–	0,10 0,30	0,50 5,00	50,0 50,0

Таблиця 3

Кореляційна залежність між продуктивністю і параметрами флуоресценції хлорофілу листків, показниками стану асиміляційного апарату рослин кукурудзи, середнє за 2012–2014 рр.

Показник	Фото-синте-тичний потен-ціал посіву	Чиста продук-тив-ність фото-синтезу	Параметри флуоресценції хлорофілу листків за фазами розвитку					
			ефективність первинних процесів фотосинтезу (F_v/F_m)			ефективність циклу Кальвіна ($(F_m-F_{st})/F_{st}$)		
			3–4 листки	вики-дання волотей	молочна стиг-лість	3–4 листки	вики-дання волотей	молочна стиг-лість
Урожай-ність	0,995	0,978	0,737	0,977	0,979	0,604	0,850	0,928
Маса 1000 зерен	0,801	0,913	0,964	0,962	0,951	0,852	0,918	0,983

Установлено, що забрудненість ґрунту важкими металами не спричиняла значних змін у концентрації основних органічних речовин та макроелементів у ньому. Варіювання показників вмісту «сирого» протеїну, білка, крохмалю, клітковини, жиру відповідало низькому рівню. Хоча прослідковувались чіткі залежності: за підвищення накопичення важких металів ґрунтом екотопів уміст «сирого» протеїну, білка, клітковини, жиру мав тенденцію до зростання, а

крохмалю – до зниження. Утім, достовірні зміни концентрації отримано лише для білка і жиру у варіанті з найбільшим забрудненням ґрунту (100-разове перевищення фону).

БАЛАНС ЕЛЕМЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ ТА ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ЗА ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ АГРОЕКОТОПІВ ПОЛЮТАНТАМИ У ЗОНІ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В умовах забруднення ґрунту важкими металами з урожаєм 6,15–7,93 т/га кукурудза виносила із зерном азоту 97,2–123 кг/га, фосфору – 41,2–48,4, калію – 24,0–27,8 кг/га, а з побічною продукцією – 50,1–74,2 кг/га, 23,7–35,1, 89,4–137 кг/га відповідно.

При порівнянні статей надходження і вносу елементів живлення встановили, що баланс азоту був дефіцитний у всіх варіантах і змінювався від (–98,8) до (–48,9) кг/га, фосфору – позитивний за значень 5,9–24,5 кг/га. Сальдо балансу калію за природного фону важких металів та за його перевищення у 5 і 10 разів коливалось в межах від’ємних значень – (–26,1)–(–42,6) кг/га, але за 100-разового забруднення ґрунту важкими металами досягло позитивної цифри – 8,9 кг/га.

З накопиченням агроекотопами важких металів знижувалась продуктивність агроценозу кукурудзи, що супроводжувалось зменшенням відчуження біогенних елементів, і тому інтенсивність балансу азоту зростала від 59 % на незабруднених ділянках до 74 % на ділянках з 100-разовим перевищенням фону, фосфору від 107 до 137 %, калію від 75 до 107 % відповідно.

В умовах Правобережного Лісостепу при перевищенні природного фону сірого лісового ґрунту за вмістом цинку, свинцю і кадмію у 5–100 разів з рослинами кукурудзи на зерно відчужувалось 120–1805 г/га цинку, 19,4–102 свинцю, 0,7–15,9 г/га кадмію. Це свідчить про те, що за здатністю до накопичення важких металів кукурудза не може вважатись ефективним ремедіантом ґрунту.

ЕКОНОМІЧНА ТА ЕНЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИРОЩУВАННЯ КУКУРУДЗИ НА ЗЕРНО В УМОВАХ ЗАБРУДНЕННЯ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ

Максимальний дохід у досліді отримано у варіанті з природним фоном важких металів, де він становив 13,3 тис. грн/га. З підвищенням рівня забрудненості ґрунту полютантами та відповідним зниженням врожайності дохід мав тенденцію до спадання. Так, за 5-разового перевищення природного фону важких металів цей показник знизився на 14 %, за 10-разового – на 23 %, за 100-разового – на 48 %, порівняно з природним фоном.

За врожайності кукурудзи на зерно 6,15–7,93 т/га рівень рентабельності у досліді становив 42–79 %. Зниження рентабельності відбулось у варіантах з забрудненим фоном. Це, обумовлено недоотриманням прибутку внаслідок зменшення врожайності кукурудзи. Втім, метою виробництва кукурудзи на зерно в умовах забруднення ґрунту полютантами є підвищення ефективності

використання землекористувань агроландшафту, тому певне зниження доходу та рентабельності не повинно бути пересторогою використання таких територій.

Аналіз втрат енергії показав, що збільшення вмісту свинцю, кадмію, цинку в ґрунті супроводжується зменшенням втраченої кількості енергії на 1 га. Найбільш енерговитратним виявився варіант з природним фоном важких металів – 34,7 ГДж, що спричинено більшими витратами палива та електроенергії. Утім, коефіцієнт енергетичної ефективності тут був найвищим у досліді – 4,03, що пов'язано з вищою врожайністю культури. Втрати енергії за 5- та 100-разового перевищення природного фону важких металів були на 0,2–0,5 ГДж менші порівняно з контрольним варіантом, хоча коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно все ж знизився на 6–21 % порівняно з природним фоном важких металів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі експериментальних досліджень та теоретичного узагальнення результатів запропоновано авторське розв'язання наукового завдання, що полягає у встановленні трансформацій агрохімічних характеристик сірого лісового грубопилувато легкосуглинкового ґрунту в умовах Правобережного Лісостепу за стабільного забруднення екотопів важкими металами та обґрунтуванні способу безпечного використання таких територій у землеробстві шляхом вирощування кукурудзи на зерно.

1. Накопичення свинцю до 100 мг/кг, кадмію до 2,0, цинку до 50 мг/кг ґрунту за тривалого техногенного впливу не призвело до погіршення фізико-хімічних властивостей верхнього шару ґрунту (0–20 см), порівняно з природним фоном. За концентрування свинцю у кількості 1000 мг/кг, кадмію – 20, цинку – 500 мг/кг ґрунту відмічено підвищення обмінної кислотності на 1,27 одиниці рН, гідролітичної кислотності – на 1,24 м-екв/100 г ґрунту і втрату гумусу на 0,26 %.

2. Внесення мінеральних добрив у дозі $N_{120}P_{90}K_{120}$ в агроценозах кукурудзи на зерно зі збільшенням концентрації свинцю до 100 мг/кг, кадмію – 2,0, цинку – 50 мг/кг ґрунту істотно не вплинуло на фонд рухомих форм азоту, фосфору, калію. За вмісту свинцю 1000 мг/кг, кадмію 20, цинку 500 мг/кг ґрунту відбулось різке зменшення продуктивності рослин і відчуження елементів живлення з ґрунту, а кількість доступного рослинам фосфору та калію в верхньому шарі (0–20 см) відповідно зросла на 13,4 і 30,8 мг/кг ґрунту, порівняно з вихідними даними.

3. В умовах забруднення екотопів свинцем, кадмієм, цинком показники стану мікробного ценозу ґрунту змінювались в межах середнього та низького рівня варіювання ($V=4,2-14,3$ %). За зростання концентрації важких металів у ґрунті спостерігали зниження активності целюлозоруйнівних мікроорганізмів із незначним варіюванням ($V=9,3$ %), пригнічення інтенсивності респірації ґрунту за середньої варіації ($V=14,3$ %), та тенденцію до активізації мікроорганізмів-нітрифікаторів з незначною мінливістю ($V=4,2$ %).

4. Для нативного сірого лісового грубопилувато легкосуглинкового ґрунту в обробітку був характерним низхідний розподіл форм полютантів по ґрунтовому профілю. При цьому, 19,8–37,0 % від загального запасу цинку у генетичних горизонтах знаходилось у кислоторозчинній і 1,10–6,29 % у рухомій формі; свинцю – відповідно 13,5–56,5 і 4,07–6,90 %, кадмію – 8,22–18,4 і 1,43–8,27 %.

5. В умовах систематичного забруднення екотопів переважаюче концентрування валових запасів цинку, свинцю і кадмію характерне для гумусово-елювіального та верхньої частини ілювіального гумусованого горизонтів (0–40 см). Валові запаси цинку, свинцю, кадмію у цьому шарі відносно всього профілю відповідно зросли з 28,9–32,9 до 40,2–87,8 %; з 30,3–34,0 до 58,2–93,7 %; з 30,1–31,8 до 41,7–70,2 % за відповідного збільшення частки кислоторозчинних форм від 38,5–40,8 до 56,3–95,5 %; від 44,9–49,1 до 80,2–97,6 %; від 29,2–34,2 до 63,9–93,3 %; рухомих форм – від 60,0–62,9 до 86,5–98,8 %; від 31,1–34,2 до 87,2–98,3 %; від 48,8–50,3 до 77,9–95,9 %, залежно від рівня надходження металів у агроекотопи.

6. Підвищення вмісту важких металів у ґрунті спричинило негативні зміни розвитку фотосинтетичного апарату посівів кукурудзи на зерно. За вмісту у верхньому шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту свинцю до 1000 мг, цинку до 500 мг, кадмію до 20 мг/кг ґрунту фотосинтетичний потенціал посіву знизився на 7,5–34,2 %, чиста продуктивність фотосинтезу – на 3,22–22,6 %. Коефіцієнти кореляції між ефективністю первинних процесів фотосинтезу і фотосинтетичним потенціалом посіву знаходились у межах $0,753 < r < 0,971$, чистою продуктивністю фотосинтезу – $0,777 < r < 0,963$. Ефективність циклу Кальвіна (за параметрами кривої Каутського) мала середню та тісну кореляційну залежність з фотосинтетичним потенціалом посіву ($0,588 < r < 0,923$) і з чистою продуктивністю фотосинтезу ($0,581 < r < 0,914$).

7. Транслокація важких металів в системі ґрунт – рослина регулюється фізіологічними бар'єрами біохімічної природи. За збільшення у верхньому шарі (0–20 см) сірого лісового ґрунту кількості свинцю до 1000 мг, цинку до 500 мг, кадмію до 20 мг/кг ґрунту накопичення цих металів кореневою системою рослин кукурудзи на зерно перевищувало їх уміст у стеблах і листках за фазами росту і розвитку відповідно: цинку у 1,90–8,22, свинцю – 1,35–8,77, кадмію – 0,55–3,91 раза.

8. Кукурудза має виражену стійкість до важких металів, що дозволяє ефективно використовувати території, забруднені свинцем, кадмієм і цинком без виведення їх із сільськогосподарського використання. Накопичення у верхньому шарі (0–20 см) ґрунту свинцю до 1000 мг/кг, цинку до 500, кадмію до 20 мг/кг обумовило зниження врожайності зерна кукурудзи лише на 6–22 %, порівняно з природним фоном.

9. Накопичення свинцю, кадмію і цинку агроекотопами змінювало хімічний склад зерна кукурудзи. Зерно, отримане за 10- і 100-разового перевищення фону важких металів, містило 0,7–0,9 мг/кг свинцю, що перевищило гранично-допустимі концентрації для продовольчого зерна, але його якість відповідала нормативам щодо кормової сировини та для технічних

цілей. Виявлено тісний позитивний кореляційний зв'язок між накопиченням важких металів у зерні та кількістю «сирого» протеїну: для свинцю – 0,95, кадмію – 0,88, цинку – 0,77; жиру за коефіцієнтами відповідно 0,99; 0,91; 0,85, клітковини – 0,91; 0,93; 0,66 відповідно, та обернений тісний з вмістом крохмалю ($r=-0,93$; $-0,90$; $-0,69$).

11. За надходження до агроценозу кукурудзи з добривами однакової кількості основних нутрієнтів – $N_{120}P_{90}K_{120}$, інтенсивність балансу зростала з підвищенням забрудненості сірого лісового ґрунту свинцем до 1000 мг/кг, цинку до 500, кадмію до 20 мг/кг ґрунту і становила для азоту 59–74 %, фосфору – 107–137, калію – 75–107 % залежно від накопичення екотопами важких металів.

12. За здатністю до накопичення важких металів кукурудза на зерно не може вважатись ефективним ремедіантом ґрунту. В умовах Правобережного Лісостепу при перевищенні природного фону сірого лісового ґрунту за вмістом цинку, свинцю і кадмію у 5–100 разів з рослинами кукурудзи на зерно відчувувалось 120–1805 г/га цинку, 19,4–102 свинцю та 0,7–15,9 г/га кадмію.

13. Рентабельність вирощування кукурудзи на зерно змінювалась відповідно до забрудненості екотопів свинцем, кадмієм, цинком і становила 42–79 %. Зростання забрудненості ґрунту у 5 та 10 разів знизило рентабельності відповідно до 69 та 61 %, а за 100-разового перевищення фону – до 42 %. Коефіцієнт енергетичної ефективності вирощування кукурудзи на зерно знизився на 6–21 % порівняно з природним фоном важких металів.

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Для підвищення ефективності використання сільськогосподарських угідь, забруднених свинцем, кадмієм і цинком та отримання безпечної продукції рослинництва рекомендується на забруднених територіях вирощувати кукурудзу на зерно. В умовах Правобережного Лісостепу за вмісту свинцю до 100 мг/кг ґрунту, цинку до 50, кадмію до 2,0 мг/кг сірого лісового ґрунту можливо отримувати 7 т/га зерна середньоранніх гібридів кукурудзи (ФАО 240), яке відповідає нормативам щодо кормової та технічної сировини.

2. Сільськогосподарські угіддя, забруднені свинцем і кадмієм, використовувати у спосіб, передбачений патентом України на корисну модель «Спосіб використання сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Корсун С. Г., Давидюк Г. В., Клименко І. І., Довбаш Н. І., Хмара Т. М. Спосіб фітореMediaції сільськогосподарських земель, забруднених важкими металами. Землеробство. 2014. Вип. 1–2. С. 51–53. *(Здобувачем особисто відібрано дослідні зразки, проведено польові та лабораторні дослідження, проаналізовано та узагальнено результати).*

2. Довбаш Н. І. Посівні якості насіння кукурудзи, отриманого за різного рівня забрудненості екотопів важкими металами. Вісник аграрної науки. 2015. № 8. С. 71–73.

3. Корсун С. Г., Буслаєва Н. Г., **Довбаш Н. І.** Особливості фотосинтетичної діяльності посівів кукурудзи на зерно в умовах забруднення агроекотопів свинцем, кадмієм, цинком. Вісник аграрної науки. 2016. № 1. С. 32–36. *(Здобувачем досліджено рослини кукурудзи, проведено лабораторні дослідження, проведено огляд наукових джерел з проблеми досліджень, сформульовано висновки).*

4. Корсун С. Г., **Довбаш Н. І.** Зміна агрохімічних показників родючості ґрунту під впливом забруднення важкими металами. Землеробство. 2016. Вип. 2 (91). С. 17–21. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, відібрано ґрунтові зразки та проведено лабораторні дослідження, проаналізовано та узагальнено результати).*

Статті у наукових фахових виданнях України, включених до міжнародних наукометричних баз даних:

5. Корсун С. Г., **Довбаш Н. І.**, Клименко І. І. Продуктивність кукурудзи на зерно залежно від накопичення важких металів у ґрунті. Агрохімія і ґрунтознавство. 2015. Вип. 82. С. 75–80. *(Здобувачем проведено біометричні виміри рослин кукурудзи за фазами росту та розвитку, опрацьовано літературні джерела з проблеми досліджень, проведено узагальнення та сформульовано висновки).*

6. Корсун С. Г., Груша В. В., **Довбаш Н. І.** Індукція флуоресценції хлорофілу в листках кукурудзи за умов забруднення важкими металами. Агроекологічний журнал. 2015. № 2. С. 36–41. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, розраховано величини ключових параметрів флуоресценції хлорофілу, виконано порівняльний аналіз та сформульовано загальні висновки).*

7. Корсун С. Г., **Довбаш Н. І.**, Оліферчук В. П. Залежність біологічної активності ґрунту від забрудненості екотопів важкими металами. Агроекологічний журнал. 2016. № 3. С. 56–61. *(Здобувачем у лабораторних умовах визначено інтенсивність респірації ґрунту та нітрифікаційну здатність ґрунту, а у польових – закладено лляні тканини, проведено узагальнення та сформульовано висновки).*

Патент України на корисну модель

8. Камінський В. Ф., Корсун С. Г., Давидюк Г. В., Клименко І. І., **Довбаш Н. І.** Патент України на корисну модель 95346 МПК А01С 21/00 А01D 44/00. Спосіб використання сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм. № u 2014 06074. Заявлено 02.06.2014; опубліковано 25.12.2014. Бюл. № 24. 4 с. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, відібрано дослідні зразки та проведено лабораторні дослідження).*

Тези наукових доповідей:

9. Буслаєва Н. Г., Клименко І. І., **Довбаш Н. І.** Вплив різних фонів важких металів на варіабельність рухомих форм поживних елементів. Агротехнології для сталого виробництва конкурентоспроможної продукції: науково-практична конференція молодих учених і спеціалістів, смт Чабани, 28–30 листопада 2012 року: тези доповіді. К., 2012. С. 54–55. *(Здобувачем відібрано ґрунтові зразки та проведено лабораторні дослідження, проаналізовано та узагальнено результати).*

10. Довбаш Н. І. Трансформування агрохімічних і токсикологічних показників ґрунту під впливом забруднення екотопів важкими металами. Наукові пошуки молоді у третьому тисячолітті «Екологічні проблеми України та шляхи їх вирішення»: Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених аспірантів та докторантів, м. Біла Церква, 16–17 травня 2013 року: тези доповіді. Біла Церква, 2013. С. 6.

11. Довбаш Н. І. Зміна агрохімічних характеристик сірого лісового ґрунту за екзогенного надходження важких металів. Агрохімія і ґрунтознавство. ІХ з'їзд Українського товариства ґрунтознавців та агрохіміків. Охорона ґрунтів від ерозії і техногенного забруднення, рекультивація, агрохімія, біологія ґрунтів. м. Миколаїв, 30 червня – 4 липня 2014 року: тези доповіді. Х., 2014. С. 96–98.

12. Довбаш Н. І. Особливості накопичення та впливу важких металів на екосистему ґрунту. Екологічна безпека та збалансоване природокористування в агропромисловому виробництві: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 1–3 липня 2014 року: тези доповіді. К., 2014. С. 13.

13. Довбаш Н. І. Фіторемедіація агроекотопів, забруднених важкими металами. Збалансоване природокористування: традиції та інновації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 16–17 жовтня 2014 року: тези доповіді. К., 2014. С. 61–62.

14. Довбаш Н. І. Використання техногенно забруднених земель у агроландшафтах Лісостепу. Екологізація сталого розвитку інформаційного суспільства: Міжнародна науково-практична конференція молодих учених, студентів і аспірантів, м. Харків, 5–6 листопада 2014 року: тези доповіді. м. Харків, 2014. С. 85–88.

15. Камінський В. Ф., Корсун С. Г., Давидюк Г. В., Клименко І. І., **Довбаш Н. І.** Використання сільськогосподарських земель, забруднених свинцем і кадмієм. Аграрна наука – виробництву. Науково-інформаційний бюлетень завершених наукових розробок. 2015. № 2 (72). С. 6. *(Здобувачем опрацьовано літературні джерела, відібрано дослідні зразки та проведено лабораторні дослідження).*

16. Dovybash N. I. The influence of heavy metals on biometric indicators of maize. Інноваційні розробки молодих учених для конкурентоспроможного аграрного виробництва: науково-практична конференція молодих учених і спеціалістів, смт Чабани, 10–12 листопада 2015 року: тези доповіді. К., 2015. С. 78–80.

АНОТАЦІЯ

Довбаш Н. І. Зміна властивостей сірого лісового ґрунту та продуктивність кукурудзи в умовах забруднення екотопів важкими металами. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата сільсько-господарських наук зі спеціальності 06.01.04 «Агрохімія». Національний університет біоресурсів і природокористування України. Київ, 2018.

Дисертаційну роботу присвячено вивченню змін агрохімічних та біологічних властивостей сірого лісового легкосуглинкового ґрунту в умовах стабільного забруднення екотопу свинцем, кадмієм, цинком в умовах Правобережного Лісостепу України.

Установлено, що за тривалого техногенного впливу на екосистему сірого лісового грубопилувато легкосуглинкового ґрунту та накопичення в ньому свинцю до 100 мг/кг, кадмію до 2,0 і цинку до 50 мг/кг не відбулось погіршення фізико-хімічних властивостей у верхньому 0–20-сантиметровому шарі ґрунту, порівняно з природним фоном. За концентрування свинцю у кількості 1000 мг/кг, кадмію – 20, цинку – 500 мг/кг ґрунту відмічено підвищення обмінної кислотності на 1,27 одиниці рН, гідролітичної кислотності – на 1,24 м-екв/100 г ґрунту і втрату гумусу на 0,26 %.

Вивчено особливості розподілу важких металів за профілем сірого лісового легкосуглинкового ґрунту за умови техногенного забруднення території. Установлено, що в умовах систематичного забруднення екотопів найбільше концентрування валових запасів цинку, свинцю і кадмію в ґрунті було характерним для гумусово-елювіального та верхньої частини ілювіального гумусованого горизонтів.

Досліджено вплив забрудненості екотопів важкими металами на формування фотосинтетичного апарату, морфологічні показники рослини, урожайність кукурудзи, біохімічні та токсикологічні властивості зерна. Виявлено, що сірі лісові легкосуглинкові ґрунти Правобережного Лісостепу з концентрацією свинцю в орному шарі до 1000 мг/кг, цинку до 500, кадмію до 20 мг/кг ґрунту залишаються придатними для вирощування кукурудзи на зерно із забезпеченням урожайності 6,15–7,93 т/га, залежно від рівня забрудненості.

Ключові слова: агрохімічні властивості ґрунту, баланс, біологічна активність ґрунту, важкі метали, ґрунт, екотоп, кукурудза, продуктивність, фотосинтез.

АННОТАЦИЯ

Довбаш Н. И. Изменение свойств серой лесной почвы и продуктивность кукурузы в условиях загрязнения экотопов тяжелыми металлами. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата сельскохозяйственных наук по специальности 06.01.04 «Агрохимия». Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины. Киев, 2018.

Диссертационная работа посвящена изучению изменений агрохимических и биологических свойств серой лесной легкосуглинистой почвы в условиях стабильного загрязнения экотопов свинцом, кадмием, цинком в условиях Правобережной Лесостепи Украины.

Установлено, что при длительном техногенном воздействии на экосистему серой лесной крупнопылевато легкосуглинистой почвы и накопление в ней свинца до 100 мг/кг, кадмия в 2,0 и цинка до 50 мг/кг не произошло ухудшения физико-химических свойств в верхнем 0–20-сантиметровом слое почвы по сравнению с естественным фоном. При концентрации свинца 1000 мг/кг, кадмия – 20, цинка – 500 мг/кг почвы отмечено повышение обменной кислотности на 1,27 единицы рН, гидролитической кислотности – на 1,24 м-экв/100 г почвы и потери гумуса на 0,26 %. С увеличением содержания тяжёлых металлов в почве произошло снижение активности целлюлозоразрушающих микроорганизмов при незначительном варьировании ($V=9,3\%$), угнетение интенсивности респирации при средней вариации ($V=14,3\%$), наблюдалась тенденция к активизации микроорганизмов-нитрификаторов с незначительной изменчивостью ($V=4,2\%$).

Изучены особенности распределения тяжёлых металлов по профилю серой лесной почвы в условиях техногенного загрязнения территории. Установлено, что в условиях систематического загрязнения экотопов, почва которых обрабатывается, наибольшее концентрирование валовых запасов цинка, свинца и кадмия наблюдали в гумусово-элювиальном и верхней части иллювиального гумусированного горизонтов.

Исследовано влияние загрязнения экотопов тяжелыми металлами на формирование фотосинтетического аппарата, морфологические показатели растений, урожайность кукурузы на зерно, биохимические и токсикологические свойства зерна. Повышение количества тяжёлых металлов в почве привело к негативным изменениям фотосинтетического аппарата посевов кукурузы. При содержании в верхнем 0–20-сантиметровом слое почвы свинца до 1000 мг, цинка до 500 мг кадмия до 20 мг/кг фотосинтетический потенциал посева снизился на 7,5–34,2 %, чистая продуктивность фотосинтеза – на 3,22–22,6 %. Коэффициенты корреляции между эффективностью первичных процессов фотосинтеза, которую определяли методом индукции флуоресценции хлорофилла, и фотосинтетическим потенциалом посева находились в пределах $0,753 < r < 0,971$, чистой продуктивностью фотосинтеза – $0,777 < r < 0,963$. Эффективность цикла Кальвина, который определяли по параметрам кривой Каутского, имела корреляционную зависимость с фотосинтетическим потенциалом посева ($0,588 < r < 0,923$) и с чистой продуктивностью фотосинтеза ($0,581 < r < 0,914$).

Установлено высокую устойчивость кукурузы к тяжелым металлам, что позволяет эффективно использовать территории, загрязненные свинцом, кадмием и цинком без вывода их из сельскохозяйственного использования. При накоплении в верхнем 0–20-сантиметровом слое почвы свинца до 1000 мг/кг, цинка до 500 мг/кг, кадмия до 20 мг/кг урожай початков кукурузы снизился на 6–22 % по сравнению с контролем. Коэффициенты корреляционной

зависимости между урожайностью и показателями производительности ассимиляционного аппарата находились в пределах $0,978 < r < -0,995$.

Зерно кукурузы, полученное с 10- и 100-кратного превышения фона тяжелых металлов, содержало 0,7–0,9 мг/кг свинца, что превышает предельно допустимую концентрацию для продовольственного зерна, но его качество соответствует нормативам кормового сырья, а также может быть использовано для технических целей.

Ключевые слова: агрохимические свойства почвы, баланс, биологическая активность почвы, тяжелые металлы, почва, экотоп, кукуруза, продуктивность, фотосинтез.

ANNOTATION

Dovbash N. I. Changes in the properties of gray forest soil and corn productivity in conditions of contamination of ecotopes by heavy metals. – The Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Agricultural Sciences in speciality 06.01.04 «Agrochemistry». National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, 2018.

The thesis is devoted to the study of changes in agrochemical and biological properties of gray forest littoral soil under conditions of stable contamination of ecotopes by lead, cadmium, zinc in the of the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine.

It has been established that the long-term man-made impact on the ecosystem of gray forest light loam soil and the accumulation of lead in it up to 100 mg/kg, cadmium in 2.0 and zinc up to 50 mg/kg did not deteriorate the physicochemical properties in the upper 0–20 have a centimeter layer of soil compared with the natural background. Concentration of lead in the amount of 1000 mg/kg, cadmium – 20, zinc – 500 mg/kg marked an increase in the exchange acidity by 1.27 units pH, hydrolytic acidity – by 1.24 mg-eq/100 g soil and loss of humus by 0.26 %.

The features of the distribution of heavy metals along the profile of gray forestless Camouflage soils under technogenic contamination of the territory were studied. It was established that in conditions of systematic contamination of ecotopes, the soil of which is under processing, more concentration of gross reserves of zinc, lead and cadmium was observed in the humus-alluvial and upper parts of the alluvial humus horizon.

The influence of pollutants of ecotopes by heavy metals on formation of photosynthetic apparatus is investigated, the morphological parameters of the plant, corn yield, the biochemical and toxicological properties of grain have been studied. It was revealed that on gray forestless stilts of the Right-bank Forest-steppe with a concentration of lead in the arable layer of up to 1000 mg/kg, zinc up to 500 mg/kg, cadmium up to 20 mg/kg remain suitable for growing maize for grain with a yield of 6.15–7.93 tons/ha, depending on the level of contamination.

Key words: agrochemical properties of the soil, balance, biological activity of soil, heavy metals, soil, ecotop, corn, productivity, photosynthesis.