

**МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ**



ЯКОВИШИНА ТЕТЯНА ФЕДОРІВНА

УДК 504.064.3:574

**РОЗВИТОК НАУКОВИХ ОСНОВ УДОСКОНАЛЕННЯ
СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ МІГРУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ СПОЛУК
МЕТАЛІВ У ҐРУНТАХ УРБООКОСИСТЕМ**

Спеціальність 21.06.01 – екологічна безпека

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Державному вищому навчальному закладі
“Придніпровська державна академія будівництва та архітектури” (м. Дніпро).

Науковий консультант: доктор біологічних наук, старший науковий співробітник, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Шматков Григорій Григорович,
ДВНЗ “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури” МОН України, завідувач кафедри екології та охорони навколишнього середовища

Офіційні опоненти: член-кореспондент НАН України,
доктор технічних наук, професор, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки
Шапар Аркадій Григорович,
Інститут проблем природокористування та екології,
НАН України, директор

доктор технічних наук, професор
Петрук Василь Григорович,
Інститут екологічної безпеки та моніторингу довкілля
Вінницького національного технічного університету, МОН
України, директор

доктор технічних наук, професор
Шмандій Володимир Михайлович,
Кременчуцький національний університет імені Михайла
Остроградського, завідувач кафедри екологічної безпеки
та організації природокористування

Захист відбудеться “07” березня 2019 р. об 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01 у Державній екологічній академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополіта Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Державної екологічної академії післядипломної освіти та управління за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополіта Василя Липківського, 35, корп. 2 та на сайті www.dea.ua.

Автореферат розіслано “07” лютого 2019 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради Д 26.880.01

Т.Г. Іващенко



Вступ

Актуальність теми. Збільшення чисельності хронічних захворювань і смертності серед дорослого та дитячого населення техногенно навантажених урбоекосистем за останні 20 років за оцінками ВООЗ на 17-20 % пов'язано із їхнім забрудненням, істотний внесок в яке спричиняють небезпечні сполуки металів, насамперед Pb, Cd, Cu, Zn, Ni. В процесі функціонування урбоекосистем зростає техногенне навантаження на абіотичні компоненти навколишнього середовища, зокрема ґрунт. За даними Головного управління статистики в Дніпропетровській області у 2014 році на кожний квадратний кілометр площі урбоекосистеми м. Дніпро у ґрунти надійшло 5 кг сполук міді, 11 кг цинку, 5 кг свинцю, 1 кг кадмію, 4 кг нікелю із загрозами їх подальшого вимивання в ґрунтові води, а також надходження у приземний шар атмосферного повітря у складі пилу. Як відомо, частина катіонів металів утворює міцнозв'язані сполуки з компонентами ґрунту, інша зостається здатною до мігрування в трофічному ланцюгу рослина – тварина – людина і значною мірою обумовлює екологічну небезпеку для біоти урбоекосистеми.

В Україні система моніторингу за вмістом небезпечних сполук металів у ґрунтах базується на організації спостережень за їх наявністю, оцінюванні ступеня поелементного та поліелементного забруднення ґрунтового покриву відносно природного геохімічного фону або гранично допустимих концентрацій (ГДК), прогнозуванні екологічної небезпеки з визначенням екологічного ризику, а також розробленні технологій відновлення забруднених ґрунтів з подальшим управлінням якістю ґрунтового середовища. При цьому не враховується здатність небезпечних сполук металів до мігрування, що призводить до штучного заниження оціночного рівня екологічного стану техногенно навантажених урбоекосистем та прийняття помилкових управлінських рішень з питань забезпечення їх екологічної безпеки.

Розвиток наукових основ удосконалення системи моніторингу небезпечних сполук металів у ґрунтах, які враховують особливості процесів їх мігрування внаслідок функціонування урбоекосистем, є актуальною проблемою, вирішення якої є необхідною передумовою розроблення і впровадження технологій відновлення міських ґрунтів та підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій.

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

Дисертаційне дослідження проведено у рамках реалізації “Концепції національної екологічної політики України на період до 2020 року”, затвердженої розпорядженням Кабінету Міністрів України від 17.10.2007 р. № 880-р, під час виконання у Державному вищому навчальному закладі “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури” НДР “Інноваційний підхід до вирішення екологічних проблем Придніпровського регіону” (державний реєстраційний номер 0116U000478) та “Екологічний моніторинг складових техногенно навантажених урбоекосистем” (державний реєстраційний номер 0116U004746), в яких здобувач був відповідальним виконавцем.

Ідея роботи полягає у створенні передумов підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій шляхом розвитку наукових основ удосконалення системи моніторингу за наявністю та вмістом небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоекосистем з урахуванням особливостей та закономірностей процесів їх мігрування.

Мета роботи – розкриття особливостей та закономірностей впливу чинників антропогенної діяльності на процеси формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах внаслідок наявності та мігрування небезпечних сполук металів у порушених міських ґрунтах як наукове підґрунття наукових основ удосконалення системи їх моніторингу.

Для досягнення поставленої мети було визначено та поставлено до розв'язання такі задачі досліджень:

- проаналізувати сучасний світовий досвід щодо систем моніторингу за наявністю та мігруванням небезпечних сполук металів у ґрунтах як забруднювачів урбоекосистем та виявити шляхи їх удосконалення;
- обґрунтувати та розробити методологію проведення дисертаційних досліджень;
- провести теоретичні та експериментальні дослідження з виявлення впливу будівельної діяльності в урбоекосистемах на показники буферної здатності ґрунту;
- провести експериментальні дослідження з виявлення впливу урахування частини катіонів зданих до мігрування на об'єктивність оцінювання екологічної небезпечності ґрунтів урбоекосистеми;
- науково обґрунтувати та розробити методику кількісного визначення буферної здатності ґрунту до забруднення сполуками металів з урахуванням їх мігрування;
- науково обґрунтувати доцільність застосування коефіцієнту дисбалансу катіонів небезпечних металів (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni) для визначення екологічної небезпечності ґрунту, а також його екологічне прийнятне критеріальне значення;
- провести експериментальні дослідження з виявлення впливу ступеня поліелементної забрудненості небезпечними сполуками металів порушених ґрунтів урбоекосистем на їх токсичність у разі біотестування за показниками тест-функцій рослин;
- науково обґрунтувати доцільність застосування в системі моніторингу мігрування небезпечних сполук металів (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni) розподілення Вейбулла для визначення екологічного ризику при прогнозуванні екологічної небезпечності урбоекосистем;
- науково обґрунтувати, розробити та апробувати технології фітореMediaції ґрунтів, забруднених небезпечними сполуками металів, на прикладі урбоекосистеми м. Дніпро;
- розробити пропозиції щодо удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоекосистем, застосування якої є передумовою розроблення і впровадження

технологій відновлення міських ґрунтів та підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій.

Об'єкт дослідження – процес формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах внаслідок наявності та мігрування небезпечних сполук металів у порушених міських ґрунтах.

Предмет дослідження – вплив чинників антропогенної діяльності на процеси формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах внаслідок наявності та мігрування небезпечних сполук металів у порушених міських ґрунтах.

Методи дослідження. Для досягнення визначеної мети та розв'язання поставлених задач використано теоретичні та експериментальні методи. Теоретичні методи (аналізу і синтезу) застосовано для узагальнення інформації, одержаної з літературних джерел, та визначення основних напрямків дослідження. Під час проведення експериментальних досліджень з виявлення особливостей та закономірностей впливу чинників антропогенної діяльності на процеси формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах застосовано сучасні методи фізико-хімічного аналізу (атомно-абсорбційний, спектрофотометричний, пікнометричний, гравіметричний та потенціометричний); загально відомі метод біотестування з використанням у якості тест-культури вівса посівного (*Avena sativa L.*) та вегетаційні досліді з використанням рослин – деконцентратора (люцерна посівна (*Medicago sativa*)), гіперакумулятора (райграс пасовищний (*Lolium perenne*)); геохімічне картографування забруднених територій урбоекосистеми на прикладі м. Дніпро. Обробляння результатів проводилось статистичними методами із залученням комп'ютерних програм Statistica 6.0, Microsoft Excel 2010, on-line калькулятора planetcalc.ru.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розкритті особливостей та закономірностей впливу чинників антропогенної діяльності на процеси формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах внаслідок наявності та мігрування небезпечних сполук металів у порушених міських ґрунтах як квінтесенція наукових основ удосконалення системи їх моніторингу. При цьому:

уперше:

- встановлено, що коефіцієнти концентрації та безпеки, визначені за валовим вмістом катіонів металів (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) у ґрунті, на відміну від визначених за вмістом здатних до мігрування їх сполук, мають значення на 2 порядки нижче, що обов'язково повинно враховуватись в системі моніторингу ґрунтів урбоекосистем для запобігання помилкових управлінських рішень у природно-охоронній діяльності техногенно навантажених територій;

- встановлено, що будівельна діяльність негативно впливає на структуру, склад та здатність ґрунтів зв'язувати катіони небезпечних металів з утворенням нерозчинних сполук, що призводить до підвищення екологічної небезпечності внаслідок їх мігрування в трофічних ланцюгах урбоекосистем;

- запропоновано формулу для кількісного визначення буферної здатності ґрунту до забруднення небезпечними сполуками металів, як

різницю між ГДК та їх валовим вмістом при низькій міграційній здатності, на відміну від бальної оцінки, запропонованої В.Б.Ільїним;

- доведено необхідність врахування нестачі і надлишку вмісту катіонів металів в ґрунті урбоєкосистем при здійсненні оцінювання екологічної небезпечності поліелементного забруднення для довкілля та здоров'я населення міста на підставі встановлених коефіцієнтів кореляції та рівнянь регресії між коефіцієнтом дисбалансу катіонів металів (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), фітотоксичністю ґрунтового середовища та показником смертності дітей до 1-го року. Обґрунтовано його екологічне прийнятне критеріальне значення < 7 для урбоєкосистеми м. Дніпро;

- науково обґрунтовано та розроблено технології фіторе mediaції ґрунтів урбоєкосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, сутність яких полягає у фітостабілізації ґрунтів запропованою рослиною-деконцентратором (люцерна посівна (*Medicago sativa*)), або фітоекстракції катіонів металів запропованою рослиною – гіперакумулятором (райграс пасовищний (*Lolium perenne*)).

удосконалено:

- методологію моніторингу небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем, яка враховує особливості та закономірності процесів їх мігрування, що підвищує ефективність оцінювання екологічної небезпечності техногенно навантажених територій;

- методологію прогнозування екологічної небезпечності забруднення урбоєкосистем сполуками металів шляхом визначення екологічного ризику за допомогою розподілення Вейбулла для різних рівнів поелементного та поліелементного забруднення еквівалентно ГДК та природного геохімічного фону;

набуло подальшого розвитку:

- уявлення щодо необхідності залучення методу біотестування до системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів, сутністю якого є визначення інтегрального показника за декількома тест-реакціями рослин;

- уявлення щодо недоцільності визначення екологічного ризику за рівнянням Хакансона на підставі токсико-відповіді організмів, враховуючи невідповідність результатів оцінювання за цим методом реальному рівню екологічної безпеки, обумовленим забрудненням.

Обґрунтованість і достовірність наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи забезпечено: ґрунтовним аналізом літературних джерел; відповідністю методів дослідження поставленим в роботі меті та задачам; проведенням експериментальних досліджень з використанням апробованих методик та сучасних методів аналізу із застосуванням атестованого обладнання і повірених засобів вимірювань; достатнім об'ємом експериментального матеріалу; застосуванням методів математичної статистики; поширеною апробацією результатів досліджень.

Практичне значення і реалізація одержаних результатів.

Сформульовані в роботі наукові основи удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах є підґрунтям та передумовою забезпечення екологічної безпеки урбоєкосистем техногенно

навантажених регіонів України. Використання в системі моніторингу показників міграційної здатності сполук металів забезпечить підвищення об'єктивності результатів оцінювання забруднення і прогнозування рівня екологічної небезпечності урбоєкосистем та сприятиме уникненню помилкових управлінських рішень. Застосування запропонованої системи організації управління якістю ґрунтів урбоєкосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, забезпечує зменшення їх негативного впливу на біоту.

Розроблені методичні вказівки та навчальний посібник «Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем», що містять методологію оцінювання поелементного та поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем, застосовуються в навчальному процесі при підготовці бакалаврів і магістрів за спеціальністю 101 – екологія, про що є акт впровадження, наведений у додатку дисертації.

Результати дисертаційної роботи щодо організації управління якістю ґрунтів урбоєкосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, на локальному рівні залучені до мультідисциплінарного навчального курсу для магістрів та докторів філософії інженерних спеціальностей «Environmental background of region development: impact of industry and agriculture on region ecological situation» в рамках Європейської програми TEMPUS «Regional sustainable development on the basis of eco-human synergetic interaction» (акт впровадження наведено у додатках до дисертації).

Розроблені методи відновлення ґрунтів урбоєкосистем, забруднених сполуками металів захищено 1 патентом на винахід та 2 патентами на корисну модель. Створені на їх основі технології фітоекстракції райграсом пасовищним (*Lolium perenne*) при застосуванні ефектору фітоекстракції ЕДТА, мінерального добрива аміачної селітри, стимулятора росту рослин препарату “Корневін” впроваджено промисловим підприємством ТОВ ГНПО “Східпромсервіс”, а фітостабілізації люцерною посівною (*Medicago sativa*) в поєднанні з меліорантом K_2CO_3 , мікробіологічним препаратом Біокомплексом БТУ-р універсальним та укорінювачем Стимовітом Ферті – комунально-житловим господарством ОСББ «пр. Героїв, 4, п. 18, 19, 20».

Результати дисертаційної роботи стосовно переліку показників буферної здатності ґрунтів, які доцільно застосовувати в системі моніторингу мігрування небезпечних сполук металів в елементах урбоєкосистем впроваджено у діяльність науково-виробничого підприємства ТОВ НВП “Центр екологічного аудиту та чистих технологій”.

Особистий внесок здобувача полягає у визначенні мети, об'єкта, предмета та завдань досліджень дисертаційної роботи; проведенні літературного і патентного пошуків; розробці програм досліджень, проведенні експериментів, обробці та інтерпретації результатів дослідження; формулюванні висновків і наукових положень, в апробації отриманих результатів досліджень. Технології з фіторемедіації ґрунтів урбоєкосистем забруднених, небезпечними сполуками металів з урахуванням їх здатності до мігрування розроблено особисто.

Наукові результати, отримані в дисертаційній роботі та винесені на захист, одержані автором і відображені у друкованих працях і електронних ресурсах. З наукових праць, опублікованих за співавторства, використано лише ті ідеї і положення, які є результатом особистих досліджень. Внесок автора у працях, опублікованих за співавторства, конкретизовано у списку праць за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались, обговорювались та отримали позитивне схвалення на всеукраїнських з'їздах екологів з міжнародною участю, міжнародних та національних наукових і науково-практичних конгресах, симпозіумах та конференціях, а саме:

- XI Міжнародній науково-практичній конференції “Problems and tendencies of modern society development” (м. Київ – м. Лондон, 2011);

- III Міжнародній конференції “Науково-технічне та організаційно-екологічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві” (м. Макіївка, 2012);

- Міжнародному науковому симпозіумі “Неделя еколога – 2012” (м. Дніпродзержинськ, 2012);

- X Міжнародній науково-практичній конференції “Найновите постиження на европейката наука – 2014” (м. Софія);

- Міжнародному науково-практичному конгресі “Scientific resources management of countries and regions” (м. Копенгаген, 2014);

- II, III і IV Міжнародних науково-практичних конференціях “Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства” (м. Тернопіль, 2015, 2016, 2017);

- VI і VII Міжнародних наукових конференціях “Актуальні проблеми дослідження довкілля” (м. Суми, 2015, 2017);

- CII Міжнародному науково-практичному конгресі “Technical progress of mankind in the content of continuous extension of the society’s material needs” (м. Лондон, 2015);

- V і VI Всеукраїнському з'їздах екологів з міжнародною участю (м. Вінниця, 2015, 2017);

- X Міжнародній науково-практичній конференції “Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів” (м. Харків, 2015);

- XII Міжнародній науково-практичній конференції “Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення” (м. Миколаїв – м. Коблеве, 2016);

- Міжнародній науково-технічній конференції “Форум гірників – 2016” (м. Дніпро);

- II Міжнародній науково-практичній конференції “Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції” (м. Кам'янець-Подільський, 2016);

- Міжнародній науково-практичній конференції “Аграрна освіта та наука Поділля” (м. Кам'янець-Подільський, 2017).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 48 наукових праць, з них 1 монографія, 23 статті у фахових українських та міжнародних наукових виданнях, 18 тез доповідей, 1 патент на винахід, 2 патенти на корисну модель, 2 посібники, 1 в іншому виданні.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Повний обсяг дисертації становить 479 сторінок, у тому числі 33 рисунки, та 136 таблиць. Список використаних літературних джерел містить 311 посилань.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** наведено актуальність, ідею, мету дисертаційної роботи, задачі, об'єкт і предмет дослідження, висвітлено наукову новизну і практичне значення одержаних результатів, відображено особистий внесок здобувача, надано інформацію щодо апробації та публікації результатів роботи, її структури, а також обсягу.

У **першому розділі** дисертації наведено результати аналізу світової статистики техногенезу металів, існуючих систем моніторингу ґрунтів, оцінювання їх поелементного і поліелементного забруднення внаслідок мігрування небезпечних сполук металів, підходів щодо визначення фітотоксичності та екологічного ризику, котрий здатні вони спричиняти, а також шляхам відновлення ґрунтів урбоєкосистем.

На підставі аналізу видобутку екологічно небезпечних металів встановлено, що на початку XXI століття він збільшився порівняно до XX століття по Zn – 28,18; Pb – 6,90; Cu – 34,14; Ni – 239,0; Cd – 1492,86 разів. Динаміка техногенезу екологічно небезпечних металів, яка визначена згідно статистичних даних United States Geological Survey більш ніж за 100-річний період, представлена на рис. 1.

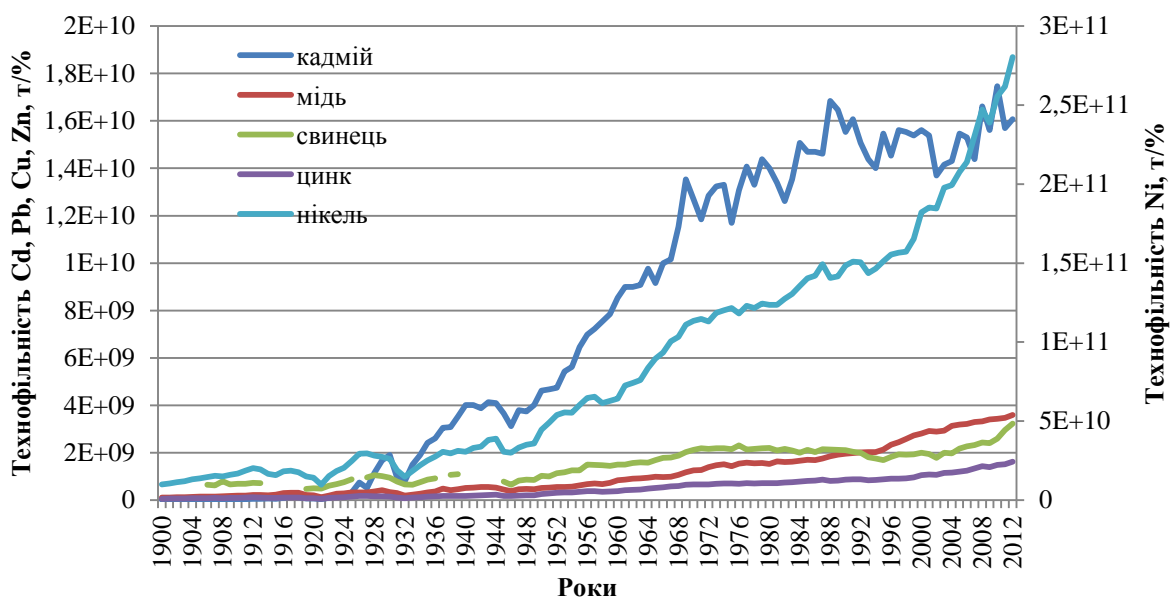


Рис. 1. Динаміка техногенезу деяких металів – потенційних забруднювачів ґрунту за період з 1900 по 2018 рр.

Встановлено, що підвищення інтенсивності включення досліджуваних металів з техногенними потоками до біогеохімічних циклів у другій половині ХХ століття в більшій мірі позначалось на використанні Ni, Zn та Cu, чим Cd і Pb – потреби людства в яких зростали поступово. Відносно Pb наприкінці 1990-х – початку 2000-х років була зафіксована тенденція зменшення технофільності внаслідок визначення властивостей цього металу спричиняти токсичний, канцерогенний та мутагенний ефекти, що пояснюється спробами людства скоротити його використання. В теперішній час згідно модулю техногенного навантаження щорічно на 1 км² площі суші в середньому надходить Cd близько 140 г, Ni – 19 кг, Pb – 35 кг, Zn – 91 кг, Cu – 113 кг. 10 % від зазначених кількостей концентрується в продукції промислового виробництва, а решта – зумовлена низьким коефіцієнтом використання природної сировини через недостатні ресурсо- та енергозберігаючі технології різними шляхами потрапляє і концентрується у ґрунті.

Ґрунт в урбоекосистемі виконує роль базисної складової, а саме: у ній замикаються антропогенно перетворені колообіги металів; вона є потужним біогеохімічним бар'єром на шляху їх мігрування, здатним депонувати небезпечні сполуки металів на тривалий час в умовах зростаючого техногенного навантаження. Шляхи надходження сполук металів у ґрунт урбоекосистеми наведено на рис. 2. Як багатофазова складна система з широким діапазоном генетичних властивостей, ґрунт являє собою ідеальне реакційне середовище для різних хімічних і фізико-хімічних процесів перетворення сполук металів. На буферну здатність ґрунту впливають процеси розчинення – осадження, комплексоутворення, окислення – відновлення, сорбція – десорбція. Від їх направленості залежить розподілення металів між сполуками міцнозв'язаних та рухомих форм, які здатні до мігрування. Мігруючи трофічними ланцюгами сполуки металів призводять до цілої низки захворювань у живих організмів техногенно навантажених урбоекосистем (рис. 2).

Ґрунти урбоекосистеми, які відіграють значну екологічну роль в депонуванні сполук металів та можуть перешкоджати їх подальшому мігруванню трофічними ланцюгами, потребують проведення моніторингу, як системи спостережень за їх станом для своєчасного виявлення змін, оцінювання екологічної небезпеки, впровадження заходів з відновлення для ліквідації наслідків негативних процесів.

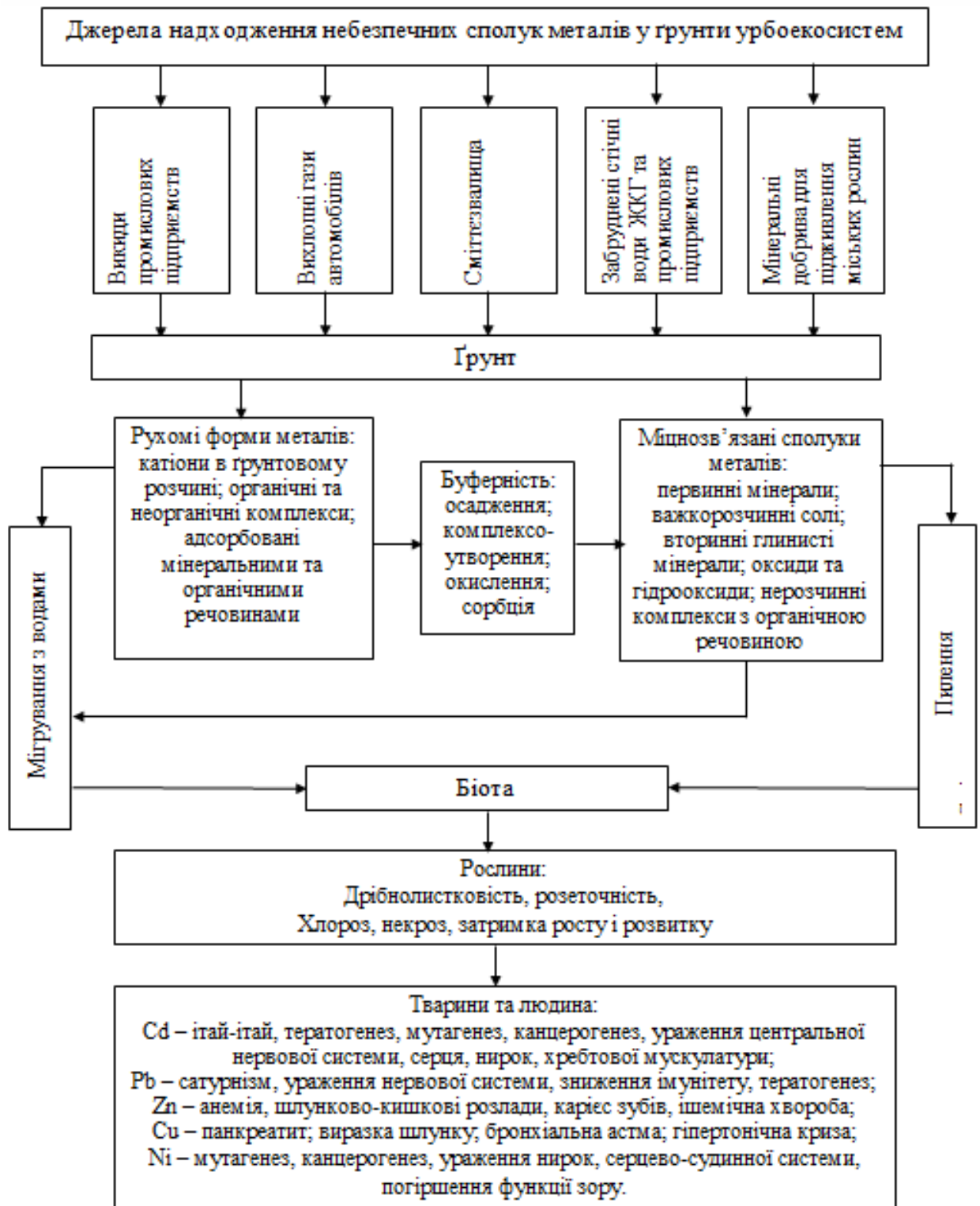


Рис. 2. Схематичне зображення негативного впливу мігрування небезпечних сполук металів (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni) в ґрунті на екологічну безпеку урбоєкосистеми

Загальними питаннями концептуального характеру пов'язаного з розробкою методологічного підходу стосовно створення системи моніторингу ґрунтів пов'язані роботи І.П. Герасімова, Ю.А. Израеля, В.А. Ковди, В.В. Медведєва, Р.Е. Munn, Т.А. Сафранова та ін.

В останні часи були поглиблені та деталізовані знання, що стосуються різних підсистем моніторингу, а саме: порядку проведення спостережень при ґрунтово-геохімічному обстеженні територій – С.А. Балюк, О.С. Безуглова, М.М. Мірошніченко, Г.В. Мотузова, А.І. Фатєєв та ін.; процесам мігрування та трансформації небезпечних сполук металів у ґрунті – І.Г. Важенін, М.Г. Зирін, Г.В. Мотузова, Р.С. Трускавецький та ін.; методам їх визначення – Д.В. Ладонін, В.Г. Петрук D.L. Rowell та ін.; комплексній оцінці ступеня забруднення ґрунтового покриву сполуками металів – S. Baron, Н.П. Грицан, В.В. Добровольський, В.Б. Ільїн, Р.Р. Кабіров, С.І. Колесніков, Т.М. Мінкіна, S.H. Rahman, Ю.Є. Саєт, В.М. Шмандій, D.L. Tomlinson, А.Г. Шапар, Г.Г. Шматков та ін.; прогнозуванню розповсюдження забруднення – Г.В. Аверін, Г.Г. Бугайова, М. El-Bady, А.В. Звягинцева, А.В. Когут, Н.W. Schlipkater, В.Н. Уманець, L. Nakanson та ін.; забезпечення екологічної безпеки ґрунту, як складової урбоекосистем, шляхом усунення токсичності й відновлення його екологічних функцій – І.Є. Автухович, Н.Л. Байдіна, Р.В. Галіулін, І.В. Глазунова, S.D. Ebbs, Є.Н. Єлізарьєва, Л.В. Кірейчева, М.А. Кузьмич, M. Puschenreiter, В.Л. Самохвалова, W. Huang, Y.F. Zhang та ін.

На основі детального аналізу існуючого наукового доробку вітчизняних та закордонних вчених були виділені основні підсистеми моніторингу, котрі потребували розробки наукових основ щодо її удосконалення при урахуванні особливостей мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоекосистем на рівнях підсистем “спостереження – оцінювання – прогнозування – відновлення” для створення передумов забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій.

На підставі аналізу літературних джерел сформульовано ідею, мету, предмет, об’єкт та задачі досліджень.

У **другому розділі** представлено методологію проведення дисертаційних досліджень, яка включала в себе застосування як теоретичних, так і експериментальних методів (рис. 3.).

Теоретичні методи (аналізу і синтезу) використано для узагальнення інформації, одержаної з літературних джерел, та визначення основних напрямків дослідження. Експериментальні методи використано: для дослідження вмісту катіонів Pb, Cd, Ni, Zn, Cu у ґрунті та рослинах (атомно-абсорбційна спектрофотометрія); токсичності ґрунтів внаслідок мігрування небезпечних сполук металів у ґрунті (біотестування); для створення технологій з фітостабілізації та фітоекстракції катіонів металів з ґрунту (вегетаційні досліді); для визначення буферної здатності ґрунту (спектрофотометричний, пікнометричний, гравіметричний та потенціометричний методи); при створення карт забруднення ґрунтів сполуками металів (геохімічне картографування); для визначення достовірності експериментальних даних та встановлення залежностей між показниками (статистичні методи).

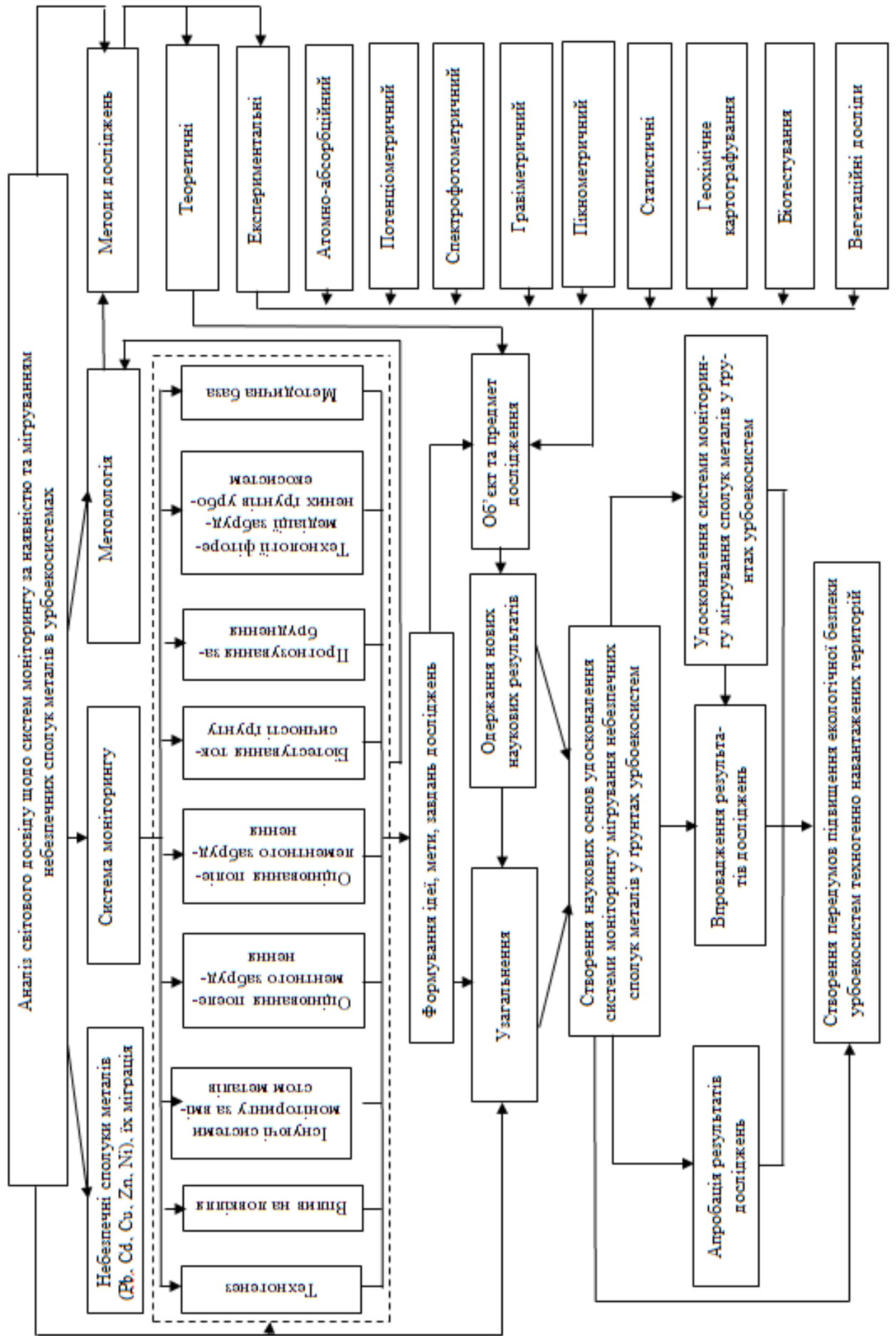


Рис. 3. Схематичне зображення методології проведення дисертаційних досліджень

Дослідження морфологічних, агрофізичних та агрохімічних характеристик ґрунтів урбоекосистем проводили за показниками типова належність ґрунту, глибина гумусованого профілю, каменястість, засміченість, щільність складення (пікнометричний метод), гранулометричний склад (метод сухого просіювання за Н.А. Качинським в модифікації агрофізичного інституту), вміст гумусу (метод І.В. Тюріна в модифікації ЦНДІАО), вміст карбонатів та R_2O_5 (гравіметричний метод), $pH_{\text{водн}}$ ґрунту на іономірі універсальному.

Валовий вміст металів в ґрунті визначали після його кислотної обробки на атомно-абсорбційному спектрофотометрі, рухомі форми, що показували здатність сполук металів до мігрування – у витягу ААБ з pH 4,8, потенційно-рухомі форми для врахування впливу урбоекосистеми на процес мігрування – у витягу $1N$ HCl . Оцінювання поелементного забруднення проводили за коефіцієнтом концентрації (K_c) та коефіцієнтом небезпеки ($K_{\text{нб}}$) з визначенням частки техногенності металу (ЧТМ) та запасів буферності (B_3); поліелементного забруднення – за сумарним показником забруднення (Z_c), індексом забруднення ґрунту (ІЗГ) і коефіцієнтом дисбалансу катіонів металів в ґрунті (C_d).

Фітотоксичність досліджуваних ґрунтів оцінювали шляхом біотестування з використанням в якості тест-організму вівса посівного (*Avena sativa* L.) за тест-реакціями (ТР): енергія проростання (E_p), довжина корінця, висота проростку, суха біомаса з визначенням комплексного показника – індексу токсичності факторів (ІТФ).

Обробку експериментальних даних здійснювали за допомогою дисперсійного, кореляційного та регресійного аналізів із залученням комп'ютерних програм Statistica 6.0, Microsoft Excel 2010, on-line калькулятору planetcalc.ru.

Екологічний ризик внаслідок забруднення ґрунтів урбоекосистеми оцінювали використовуючи рівняння Хакансона (фактор екологічного ризику (E_r), потенційний екологічний ризик (RI)) та за законом розподілення Вейбулла (R_n).

Вегетаційні дослідження щодо відновлення порушених і забруднених ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро проводили у двох напрямках: 1) шляхом фітостабілізації при вирощуванні люцерни посівної (*Medicago sativa*) в поєднанні з внесенням меліоранту (K_2CO_3), органічного добрива (Стимовіт Ферті (укорінювач)) та бактеріального препарату (біокомплекс БТУ-р універсальний); 2) за допомогою заходів з фітоекстракції катіонів металів з ґрунту рослиною-гіперакумулятором – райграсом пасовищним (*Lolium perenne*) в сполученні з ефектором фітоекстракції (ЕДТА), стимулятором росту (препарат “Корневін”) та мінеральним добривом (NH_4NO_3).

Для проведення експериментальних досліджень з визначення наявності та мігрування сполук металів було обрано 65 ключових ділянок з різних районів м. Дніпро (табл. 1). Мережа ключових ділянок відбору проб ґрунту для дослідження вмісту катіонів металів, що відносяться до сполук з різною

міграційною здатністю, сформована шляхом нанесення на територію міста сітки розміром 2 км × 2 км. Розміри сітки визначались площею та кількістю населення міста. В системі моніторингу досліджені сполуки Cd, Pb, Zn, Cu та Ni.

Таблиця 1. Розподілення ділянок відбору проб ґрунту по території м. Дніпро

Район	Площа, га	Населення, тис. чол	Всього ділянок відбору	Характеристика ділянок відбору проб			
				Промислова зона	Висотна забудова	Приватний сектор	Зелена зона
Амур-Нижньодніпровський	7162,6	154,4	13	1	-	9	3
Індустріальний	3267,9	132,7	5	2	2	1	-
Новокодацький	8870,2	151,7	12	-	4	4	4
Самарський	6683,4	77,9	8	1	-	4	3
Соборний	4409,3	169,5	8	-	3	1	4
Центральний	1040,3	67,2	3	-	2	-	1
Чечелівський	3589,7	120,6	9	4	-	5	-
Шевченківський	2679,4	152,0	7	1	2	2	2
Лівобережжя	19300,7	438,8	26	4	2	14	6
Правобережжя	18402,1	587,2	39	5	11	12	11

На території міста розташовано 237 промислових підприємств з них 74 викидають сполуки металів. За 2014 р. загальна кількість сполук металів (оксиди, солі), що надійшла в повітря м. Дніпро становила 102,3 т.

Результати досліджень наведено в 3-7 розділах.

У **третьому розділі** надано результати експериментальних досліджень впливу урбоєкосистеми на морфологічні, агрофізичні та агрохімічні показники ґрунту з визначенням його буферної здатності.

На підставі проведених досліджень було встановлено наслідки впливу урбоєкосистеми на ґрунт (рис. 4). Згідно їх аналізу були виявлені негативні процеси, що впливають на показники буферної здатності ґрунту (вміст гумусу, глинистих часток, карбонатів, R_2O_5 , рН) та сприяють мігруванню сполук металів. Буферна здатність ґрунту була визначена для ґрунтів м. Дніпро з різних функціональних зон. Ґрунти м. Дніпро були представлені урбаноземами з наступними типами ґрунтових профілів:

1. Промислові зони міста – перемішаний тип ґрунтового профілю (Hqk(u) + Hrk(u) + Phk(u) + Pk.

2. Території висотної забудови – насипний тип ґрунтового профілю Hdk + UHk + Hrk + Phk + Pk.

3. Присадибні ділянки приватного сектору – агрогенний тип ґрунтового профілю На + Нк + Нрк + Phk + Pk.

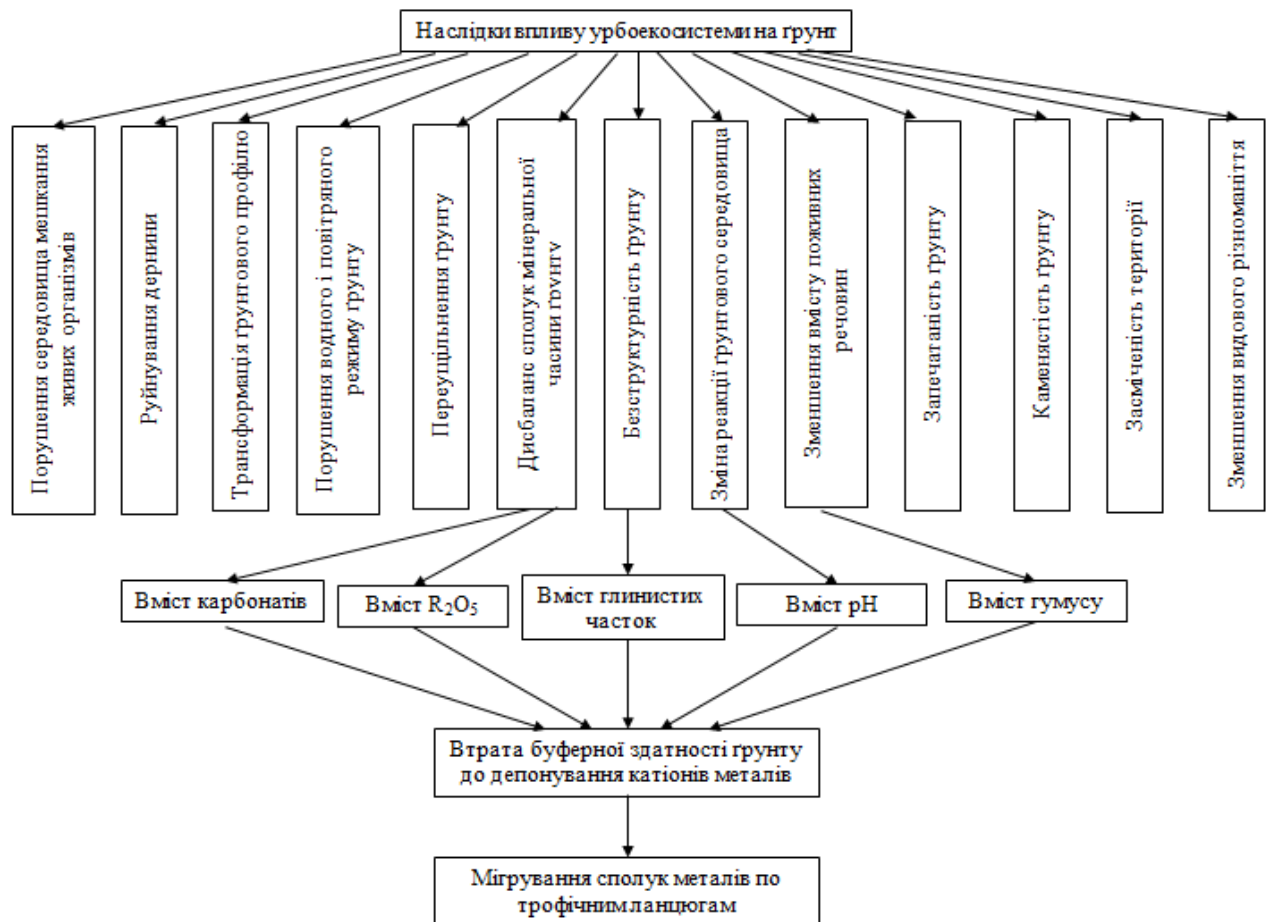


Рис. 4. Чинники впливу урбоекосистеми на буферну здатність ґрунту

На підставі аналізу останніх доведено, що незважаючи на різне функціональне використання території ґрунти урбоекосистеми м. Дніпро володіли підвищеним рівнем буферної здатності щодо мігрування сполук металів (табл. 2).

Таблиця 2. Буферна здатність ґрунтів м. Дніпро

Показники	Зони міста		
	промислова	висотна забудова	приватний сектор
Гумус, %	1,47	1,88	2,96
Глинисті частки, %	59,1	60,3	58,8
Карбонати, %	0,36	0,47	0,41
R ₂ O ₅ , %	3,6	3,0	3,7
pH	6,70	7,14	7,02
Буферна здатність, бали	34 підвищена	35 підвищена	38 підвищена

В результаті проведених досліджень було виявлено обмеження вмісту катіонів, які відносяться до сполук металів, здатних до мігрування в ґрунті внаслідок сумісної дії показників буферності (витяг ААБ, рН 4,8) (рис. 4).

Проте встановлено, що вміст катіонів, які відносяться до потенційно-рухомих форм був досить високим і становив потенційну загрозу підвищення екологічної небезпеки у разі зміни ґрунтових умов внаслідок впливу урбоекосистеми на ґрунт (рис. 5).

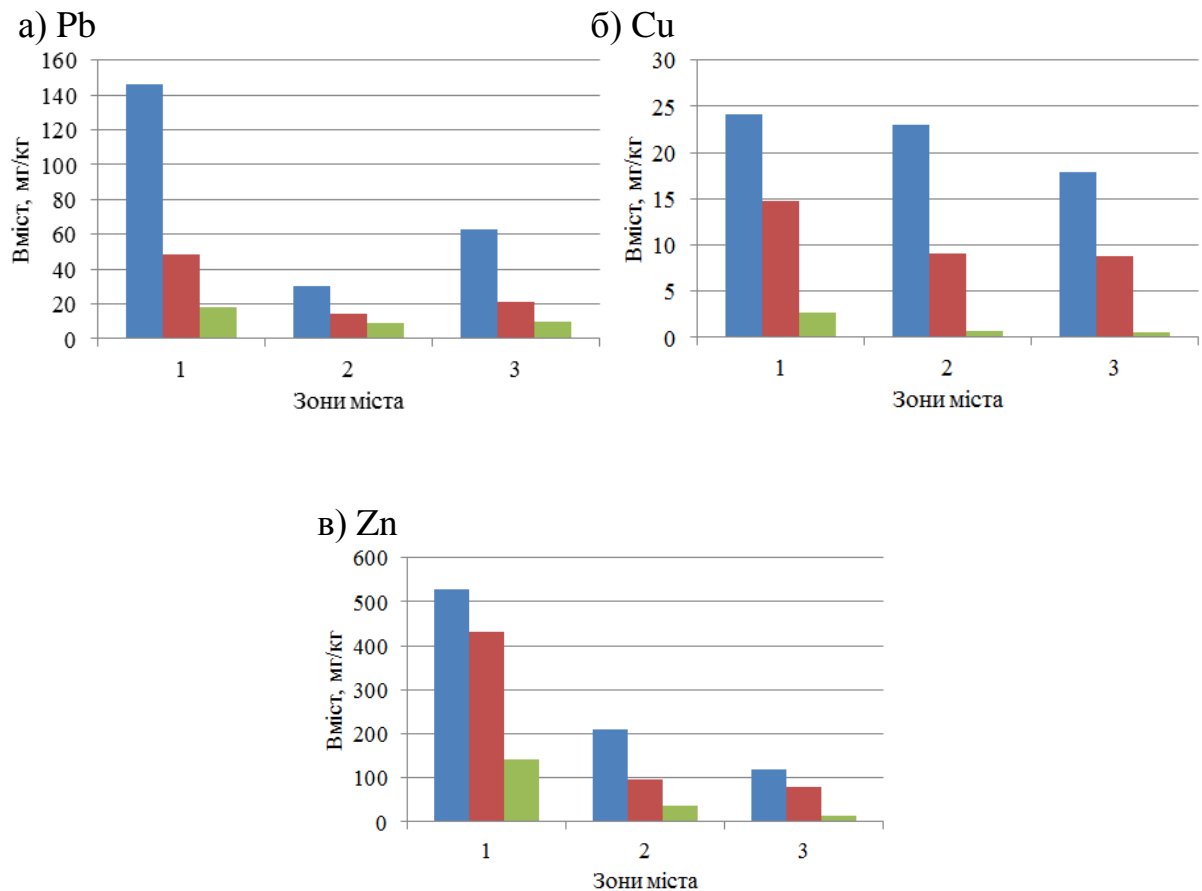


Рис. 5. Вміст катіонів металів, що відносяться до сполук з різною здатністю до мігрування при підвищеному рівні буферності ґрунту

Примітка: ряд ■ – вміст катіонів металу, вилучених із сполук після кислотної обробки ґрунту (валовий вміст); ряд ■ – вміст катіонів металу, вилучених за допомогою витягу 1Н HCl (сполуки, що відносяться до потенційно-рухомих форм); ряд ■ – вміст катіонів металу, вилучених за допомогою витягу ААБ з рН 4,8 (сполуки, що відносяться до рухомих форм); 1 – промислова зона, 2 – висотна забудова; 3 – приватний сектор

У **четвертому розділі** представлено розроблену підсистему оцінювання поелементного забруднення ґрунтів урбоекосистем небезпечними сполуками металів з урахуванням їх здатності до мігрування, основні положення якої надані на прикладі цинку. Для цього були визначені наступні показники: коефіцієнт концентрації (K_c) – оцінювання ступеня екологічної небезпеки за природним геохімічним фоном, коефіцієнт небезпеки ($K_{нб}$) – оцінювання за ГДК, частка техногенності металу (ЧТМ) для встановлення техногенного характеру забруднення та запаси буферності (B_3) щодо можливості подальшого надходження небезпечних сполук металів у ґрунт.

Згідно коефіцієнтів кореляції та високої достовірності апроксимації рівнянь регресії між концентраціями катіонів металів у ґрунтах, одержаними із сполук за допомогою різних витягів встановлено, що процес забруднення позначався на підвищенні їх кількості здатної до мігрування (табл. 3-4), що в більшій мірі стосувалось катіонів вилучених 1Н НСІ.

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції між концентраціями катіонів металів у ґрунтах м. Дніпро, одержаними за допомогою різних витягів

Вміст катіонів металів	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
після кислотної обробки (валовий вміст) і у витязі 1 Н НСІ (потенційно-рухомі форми)	0,854	0,945	0,962	0,910	0,729
після кислотної обробки (валовий вміст) і у витязі ААБ з рН 4,8 (рухомі форми)	0,809	0,633	0,902	0,884	0,715
у витязі 1 НСІ (потенційно-рухомі форми) і у витязі ААБ з рН 4,8 (рухомі форми)	0,899	0,730	0,809	0,922	0,992

Таблиця 4. Рівняння регресії між концентраціями катіонів металів у ґрунтах м. Дніпро, одержаними за допомогою різних витягів

Елемент	Рівняння регресії	R ²
Zn	Сп.-р.ф. _{Zn} = 0,0000009Св. _{Zn} ³ - 0,0011Св. _{Zn} ² + 1,0695Св. _{Zn} - 25,399	0,900
	Ср.ф. _{Zn} = 0,000003Св. _{Zn} ³ - 0,0033Св. _{Zn} ² + 1,1824Св. _{Zn} - 66,259	0,602
	Ср.ф. _{Zn} = 0,000003Сп.-р.ф. _{Zn} ³ - 0,0025Сп.-р.ф. _{Zn} ² + 0,8515Сп.-р.ф. _{Zn} - 66,259	0,801
Cu	Сп.-р.ф. _{Cu} = -0,0007Св. _{Cu} ² + 0,5608Св. _{Cu} - 0,2958	0,786
	Ср.ф. _{Cu} = -0,0001Св. _{Cu} ² + 0,1255Св. _{Cu} - 1,4534	0,670
	Ср.ф. _{Cu} = 0,0026Сп.-р.ф. _{Cu} ² + 0,0417Сп.-р.ф. _{Cu} + 0,1047	0,884
Pb	Сп.-р.ф. _{Pb} = -0,0000006Св. _{Pb} ³ + 0,0009Св. _{Pb} ² + 0,5663Св. _{Pb} + 4,9997	0,930
	Ср.ф. _{Pb} = -0,0000003Св. _{Pb} ³ + 0,00005Св. _{Pb} ² + 0,2506Св. _{Pb} + 2,0928	0,815
	Ср.ф. _{Pb} = 0,000002Сп.-р.ф. _{Pb} ³ - 0,0019Сп.-р.ф. _{Pb} ² + 0,6575Сп.-р.ф. _{Pb} - 4,3449	0,721
Cd	Сп.-р.ф. _{Cd} = -0,3845Св. _{Cd} ³ + 0,8125Св. _{Cd} ² + 0,3493Св. _{Cd} + 0,0522	0,841
	Ср.ф. _{Cd} = -0,1426Св. _{Cd} ³ + 0,331Св. _{Cd} ² + 0,139Св. _{Cd} + 0,0388	0,787
	Ср.ф. _{Cd} = 0,0303Сп.-р.ф. _{Cd} ³ + 0,0268Сп.-р.ф. _{Cd} ² + 0,3523Сп.-р.ф. _{Pb} + 0,0333	0,853
Ni	Сп.-р.ф. _{Ni} = 0,3632Св. _{Ni} ^{1,0889}	0,637
	Ср.ф. _{Ni} = 0,1334Св. _{Ni} ^{0,8495}	0,406
	Ср.ф. _{Ni} = 0,2857Сп.-р.ф. _{Ni} ^{0,7993}	0,668

Примітка: Св – концентрація катіонів металу після кислотної обробки (валовий вміст);
Сп.-р.ф. – концентрація катіонів металу у витязі 1Н НСІ (потенційно-рухомі форми);
Ср.ф – концентрація катіонів металу витязі ААБ з рН 4,8 (рухомі форми).

На підставі результатів оцінювання поелементного забруднення доведено невідповідність одержаних результатів оцінок відносно природного геохімічного фону та ГДК за вмістом катіонів після кислотної обробки ґрунту та вилучених за допомогою витягу ААБ з рН 4,8, так згідно

останнього категорія та рівень забруднення ґрунту були більш небезпечними (табл. 5-6).

Таблиця 5. Екологічна небезпека поелементного забруднення ґрунтів сполуками Zn на прикладі деяких адміністративних районів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно природного геохімічного фону

Адміністративна одиниця	Категорія забруднення ґрунту			
	природна флуктуація	слабка	помірна	сильна
K _c визначений за вмістом катіонів металів після кислотної обробки ґрунту				
Амур-Нижньодніпровський район	<u>1,59 (0,39-2,76)</u> 6	<u>7,04 (5,45-9,97)</u> 4	<u>17,41(11,37-20,98)</u> 3	
Новокодацький район	<u>2,68 (1,41-4,14)</u> 6	<u>7,12 (5,60-8,64)</u> 2	<u>16,23 (12,44-24,22)</u> 4	
K _c визначений за вмістом катіонів металів вилучених з ґрунту ААБ з рН 4,8				
Амур-Нижньодніпровський район			<u>5,68 (5,37-5,98)</u> 2	<u>34,06 (8,65-95,50)</u> 11
Новокодацький район				<u>104,44 (13,63-774,22)</u> 12

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Таблиця 6. Екологічна небезпека поелементного забруднення ґрунтів сполуками Zn на прикладі деяких адміністративних районів урбоєкосистеми м. Дніпро відносно ГДК

Адміністративна одиниця	Рівень забруднення ґрунту			
	безпечний	толерантний	помірно небезпечний	небезпечний
K _{нб} визначений за вмістом катіонів металів після кислотної обробки ґрунту				
Амур-Нижньодніпровський район	<u>0,42 (0,15-0,63)</u> 4	<u>1,06 (1,03-1,09)</u> 2	<u>3,13 (2,16-4,50)</u> 5	<u>8,10 (7,88-8,31)</u> 2
Новокодацький район	<u>0,78 (0,56-0,98)</u> 3	<u>1,34 (1,12-1,64)</u> 3	<u>3,52 (2,22-4,93)</u> 3	<u>6,92 (5,22-9,59)</u> 3
K _{нб} визначений за вмістом катіонів металів вилучених з ґрунту ААБ з рН 4,8				
Амур-Нижньодніпровський район		<u>0,43 (0,25-0,70)</u> 5	<u>1,37 (1,07-1,62)</u> 5	<u>3,04(2,14-4,48)</u> 3
Новокодацький район		<u>0,75 (0,64-0,91)</u> 3	<u>1,30 (1,03-1,93)</u> 5	<u>12,53 (2,34-36,35)</u> 4

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

Техногенний характер забруднення було доведено шляхом визначення ЧТМ за профільним підходом, згідно якого, вміст катіонів металів нормували до вмісту катіонів консервативного елемента – Al відносно аналогічних показників у ґрунтоутвірній породі. За результатами проведених досліджень встановлено необхідність урахування техногенного внеску при оцінюванні екологічної небезпеки забруднення ґрунтів урбоєкосистем небезпечними сполуками металів. Приміром, техногенний характер забруднення ґрунту Zn²⁺ підтверджено на 55 ділянках відбору проб.

Запропоновано кількісне визначення буферної здатності ґрунту (B₃) сприймати техногенне навантаження через надходження небезпечних сполук металів з урахуванням здатності їх до мігрування за формулою (1)

$$B_3 = \text{ГДК}_{\text{вал}} - C_{\text{вал}} \quad (1)$$

$$C_{\text{р.ф.}} < \text{ГДК}_{\text{р.ф.}}$$

де $\text{ГДК}_{\text{вал}}$ – ГДК валового вмісту катіонів металу, мг/кг ґрунту;
 $C_{\text{вал}}$ – концентрація валового вмісту катіонів металу, мг/кг ґрунту;
 $\text{ГДК}_{\text{п.ф.}}$ – ГДК рухомих форм металу, мг/кг ґрунту;
 $C_{\text{п.ф.}}$ – концентрація рухомих форм катіонів металу, мг/кг ґрунту.

При невиконанні додаткової умови буферну здатність ґрунту відносно накопичення небезпечних сполук металів вважали вичерпаною.

В табл. 7 представлено запаси буферної здатності ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро до забруднення сполуками цинку в перерахунку на Zn^{2+} , які свідчили про її майже повну вичерпаність, як щодо подальшого накопичення, так і територіально.

Таблиця 7. Буферна здатність ґрунтів деяких адміністративних районів урбоекосистеми м. Дніпро щодо забруднення сполуками Zn, мг/кг

Адміністративна одиниця	Загальна кількість ділянок	Буферна здатність
Амур-Нижньодніпровський район	13	<u>58,71 (37,45-84,73)</u> 4
Новокодацький район	12	<u>22,25 (1,80-44,31)</u> 3

Примітка: чисельник – середнє значення та в дужках межі коливань в ґрунтах відповідної категорії забруднення; знаменник – кількість ключових ділянок відбору проб ґрунту.

У п'ятому розділі представлено розроблену підсистему оцінювання поліелементного забруднення та токсичності яку воно спричиняє у ґрунті внаслідок мігрування небезпечних сполук металів.

Оцінювання забруднення за групою металів проводили шляхом визначення сумарного показника забруднення (Z_c), індекса забруднення ґрунту (ІЗГ), коефіцієнту дисбалансу катіонів металів (C_d), токсичність визначали за енергією проростання (E_n) та індексом токсичності факторів (ІТФ).

Для розширення меж використання C_d були розроблені методики його нормування та здійснено їх порівняльний аналіз.

У першому варіанті за основу була прийнята методика широко розповсюджена в еколого-картографічних дослідженнях, згідно якої було прийнято припущення, якщо в існуючих умовах вміст катіонів металів в ґрунті буде відповідати середньому по місту, то екологічну ситуацію можна охарактеризувати як задовільну. Середня величина техногенного навантаження була взята за умовну норму. За аналізуєму (оціночну величину) було прийнято відношення фактичного навантаження в межах досліджуваної території до умовної норми згідно значень C_d – відносний коефіцієнт K_i , де i – техногенне навантаження на ґрунт урбоекосистеми внаслідок зміни в ньому вмісту катіонів екологічно небезпечних металів. $K_i =$

1 величина даного виду навантаження дорівнює середній по місту, а екологічна оцінка – “задовільна”. Всі значення менші за одиницю свідчили про сприятливу ситуацію, а вищі за одиницю – несприятливу екологічну ситуацію. Згідно картографічного принципу, для просторової характеристики показника (K_i) його значення розбивали на 5 ступенів, для характеристики яких використовувалась умовна нерівномірна шкала. Центральне місце в шкалі посідав інтервал, що відповідав величині $K_i = 1$ з відхиленням на $\pm 0,1$ (0,9-1,1), адже еколого-географічний прогноз припускає погрішність $\pm(10-15)\%$ при використанні карт мілкою та середнього масштабів. Кожній градації присвоювався бал від 1 до 5, де 1 бал – найменше значення, 5 – найбільше, тобто діяв принцип від меншого до більшого (табл. 8).

Таблиця 8. Шкала оцінювання C_d за еколого-картографічним підходом

Відносний коефіцієнт K_i	Бал	Екологічна ситуація
0-0,50	1	Сприятлива
0,51-0,90	2	Допустима
0,91-1,10	3	Задовільна
1,11-2,0	4	Напружена
> 2,01	5	Кризова

Однак, при застосуванні даної методики було виявлено недолік, що суттєво обмежував її застосування в умовах техногенно навантажених урбоєкосистем. За умов перевищення урбанізованим геохімічним фоном санітарно-гігієнічного нормативу – ГДК, згідно методики значення K_i дорівнювало 1 за C_d , проте по факту екологічна ситуація визначалась як незадовільна.

У другому варіанті при оцінюванні забруднення сполуками металів за коефіцієнтом дисбалансу катіонів металів враховували буферну здатність ґрунту. За результатами розрахунків буферності в балах встановлювали його екологічне прийнятне критеріальне значення, яке становило < 7 для підвищеного рівня буферної здатності ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро. В результаті проведених досліджень доведено, що оцінювання згідно цієї методики надавало можливість врахувати здатність сполук металів до мігрування, котре зумовлюється буферними властивостями ґрунту.

Для визначення найбільш ефективного показника оцінювання поліелементного забруднення була здійснена їх порівняльна характеристика (табл. 9). На прикладі урбоєкосистеми м. Дніпро виявлено, що застосування Z_c завдяки його досить широкому нормуванню, надавало можливість визначити навіть незначні відхилення від природного геохімічного фону, в той час як ІЗГ констатував тільки сам факт забруднення (рис. 6 а, б). Згідно одержаних коефіцієнтів кореляції між показниками оцінювання поліелементного забруднення ґрунтів сполуками металів та показниками

смертності населення урбоекосистеми м. Дніпро встановлено, що найбільш ефективним щодо оцінювання ступеня небезпеки був коефіцієнт дисбалансу катіонів металів, котрий враховував їх надлишок і нестачу в ґрунті (табл. 9).

Таблиця 9. Характеристика показників оцінювання поліелементного забруднення ґрунтів сполуками металів

Характеристика	Показники		
	Z_c	ІЗГ	C_d
Показник нормування	Концентрація природного геохімічного фону	ГДК	Концентрація природного геохімічного фону
Кількість категорій нормування	6	3	Визначається відносно ступеня буферності
Особливості оцінювання	Тільки забруднення	Тільки забруднення	Забруднення і нестача
Кореляція із смертністю дорослого населення	0,068	0,130	0,345
Кореляція із смертністю дітей до 1 року	0,436	0,510	0,802
Призначення	Для функціонуючих урбоекосистем при інтенсивному техногенному навантаженні		Для будь-яких урбоекосистем

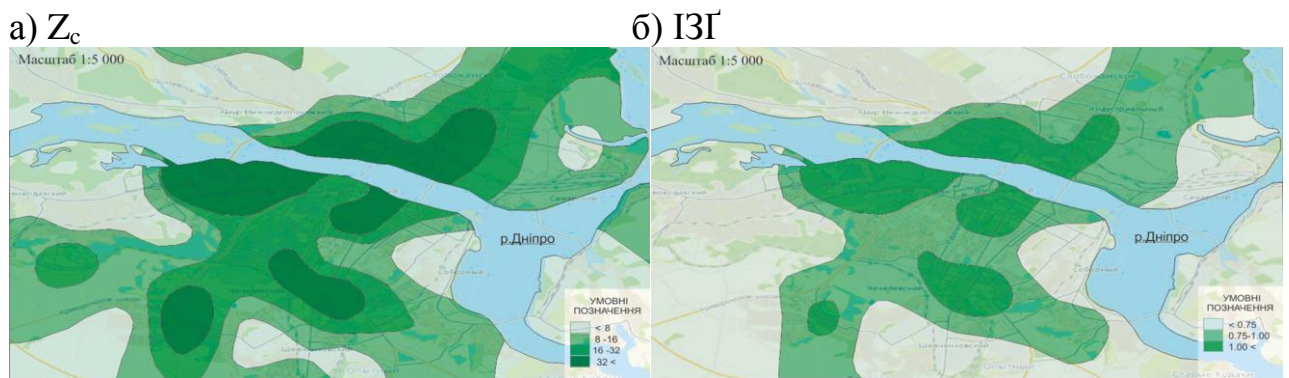


Рис. 6. Схема поліелементного забруднення металами ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро побудована на основі а) Z_c , б) ІЗГ

Відносно досліджуваних показників були встановлені такі кореляційні зв'язки між Z_c і ІЗГ – 0,968; Z_c і C_d – 0,934; ІЗГ і C_d – 0,929, що надавало можливість їх комплексного використання в системі моніторингу мігрування небезпечних сполук у ґрунтах урбоекосистем при оцінюванні поліелементного забруднення.

Для оцінки фітотоксичності ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро було проведено дві серії біотестів з використанням в якості тест-культури вівса посівного (*Avena sativa L.*). В першому визначали тільки одну тест-реакцію – енергію проростання (E_p), в другому – три тест-реакції: довжину корінця,

висоту проростку, суху біомасу, з розрахунком комплексного показника – індексу токсичності фактору (ІТФ).

Встановлено, що значення фітотоксичності ґрунтів за енергією проростання коливались в менш широких межах ніж значення ІТФ внаслідок наявності поживних речовин в зародку насінин вівса посівного (*Avena sativa L.*) та замалого контакту корінців, які тільки-но проклюнулися, із забрудненим ґрунтовим середовищем для прояву токсичних ефектів, однак загальна тенденція зберігалась (коефіцієнт кореляції між ІТФ та E_p – 0,690).

Порівняльну характеристику ефективності застосування методів біотестування токсичності ґрунту урбоекосистем в системі моніторингу наведено в табл. 10. Зі збільшенням рівня поліелементного забруднення ґрунту небезпечними сполуками металів (Z_c , ІЗГ, C_d) спостерігалось пригнічення тест-реакцій. На підставі значень коефіцієнтів кореляції доведено, що більш ефективним методом оцінювання токсичності міських ґрунтів, спричиненої внаслідок мігрування сполук металів, було визначення ІТФ, адже цей інтегральний показник ґрунтується на групі тест-реакцій (довжина корінця, висота проростку та суха біомаса) досліджуваного організму, на відміну від енергії проростання (табл. 10). Встановлено, що визначення токсичності тільки за однією тест-реакцією призводить до значної похибки одержаних результатів внаслідок складності реакції-відгуку тест-організму. Порівняння результатів категоріальної оцінки токсичності ґрунтів згідно зазначених методів показало їх невідповідність через необґрунтованість реакції-відгуку тест-організму рівню забруднення ґрунту при визначенні енергії проростання.

Таблиця 10. Характеристика методів біотестування в системі моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоекосистем

Характеристика	Показники	
	Енергія проростання	ІТФ
Тест-організм	Овес посівний (<i>Avena sativa L.</i>)	
Тест-реакції	Енергія проростання	Довжина корінця, висота проростку, суха біомаса
Кількість категорій нормування	4	6
Особливості оцінювання	Пригнічення тест-організму	Пригнічення і стимуляція тест-організму
Кореляція із Z_c	-0,664	-0,765
Кореляція із ІЗГ	-0,657	-0,736
Кореляція із C_d	-0,745	-0,838
Кореляція із смертністю дорослого населення	0,384	-0,427
Кореляція із смертністю дітей до 1 року	-0,143	-0,662
Призначення	Для функціонуючих урбоекосистем при інтенсивному техногенному навантаженні	Для будь-яких урбоекосистем

Згідно встановлених коефіцієнтів кореляції між ІТФ та показниками поліелементного забруднення (Z_c , $IЗГ$, C_d) підтверджено необхідність врахування надлишку і нестачі валового вмісту металів в ґрунті урбоекосистеми при визначенні токсичності (табл. 10). За значенням достовірності апроксимації в одержаних рівняннях регресії встановлено тісний зв'язок між токсичністю ґрунту за ІТФ і рівнем його поліелементного забруднення за C_d на відміну від врахування тільки однієї тест-реакції – енергії проростання (рис. 7 а, б). Через відсутність зв'язків між показниками фітотоксичності з Z_c та $IЗГ$, які відбивають тільки рівень поліелементного забруднення ґрунту, доведено, що при проведенні моніторингу мігрування сполук металів у ґрунтах, котрі були порушені в результаті будівельної діяльності, але ще не зазнали інтенсивного техногенного навантаження внаслідок забруднення, слід надавати перевагу визначенню C_d .

На підставі значень коефіцієнтів кореляції доведено, що більш перспективним показником оцінювання впливу фітотоксичності ґрунтового середовища на рівень здоров'я населення був ІТФ (табл. 10). Встановлено, що фітотоксичність ґрунту не була визначальним фактором негативного впливу підвищення смертності населення урбоекосистеми м. Дніпро.

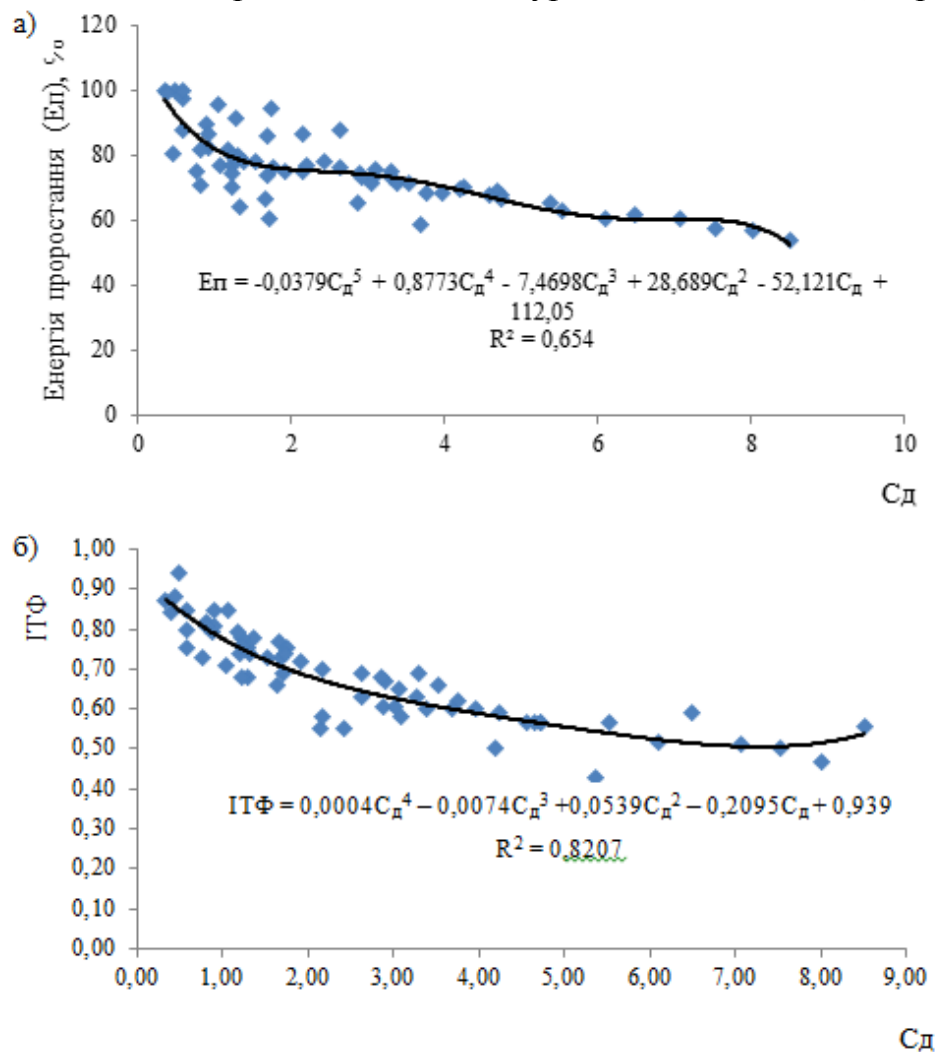


Рис. 7. Залежність фітотоксичності ґрунту ($E_{п}$, ІТФ) від дисбалансу валового вмісту катіонів металів (C_d), вилучених після кислотної обробки ґрунту

В шостому розділі здійснено порівняльний аналіз традиційного та запропонованого підходів щодо визначення екологічного ризику для прогнозування забруднення ґрунтів урбоєкосистеми сполуками металів. Згідно традиційного підходу екологічний ризик визначали за методикою L. Nakanson, як відносну величину, котра ґрунтується на токсико-відповіді організму на забруднення сполуками конкретного металу: E_r – для кожного досліджуваного металу та RI – з врахуванням поліелементного характеру забруднення.

В результаті проведених розрахунків виявлено ряд недоліків щодо традиційного підходу визначення екологічного ризику за E_r та RI .

За результатами кореляційного аналізу між фактором екологічного ризику та показниками поелементного забруднення ґрунту, встановлено, що E_r дублює K_c та $K_{нб}$. Проте при його застосуванні були виявлені суттєві недоліки при визначенні ступеню екологічної небезпеки:

- за умов однакового техногенного навантаження в межах одного класу небезпеки забруднювачів може бути встановлено різні рівні екологічного ризику;
- E_r , хоча й ґрунтується на ступені небезпеки для організму людини, не відповідає санітарно-гігієнічному нормативу – ГДК.

Це було доведено визначенням потенційного екологічного ризику відносно кадмію для геохімічного фону та 1 ГДК, що, в свою чергу, становить: в першому випадку 30 – низький, а в другому – 236,8 – високий ризик за умов відсутності забруднення ґрунту сполуками цього металу на території урбоєкосистеми м. Дніпро.

Згідно визначених коефіцієнтів кореляції між показниками ЧТМ та E_r досліджуваних металів встановлено, що останні не відбивають антропогенного характеру забруднення, адже їх значення зменшувались в ряді $Cd > Zn > Pb > Cu$ (табл. 11).

На підставі виявленої відсутності кореляційних зв'язків між фактором екологічного ризику та смертністю було доведено, що забруднення за окремим елементом не може бути лімітуючим фактором стану здоров'я населення (табл. 11).

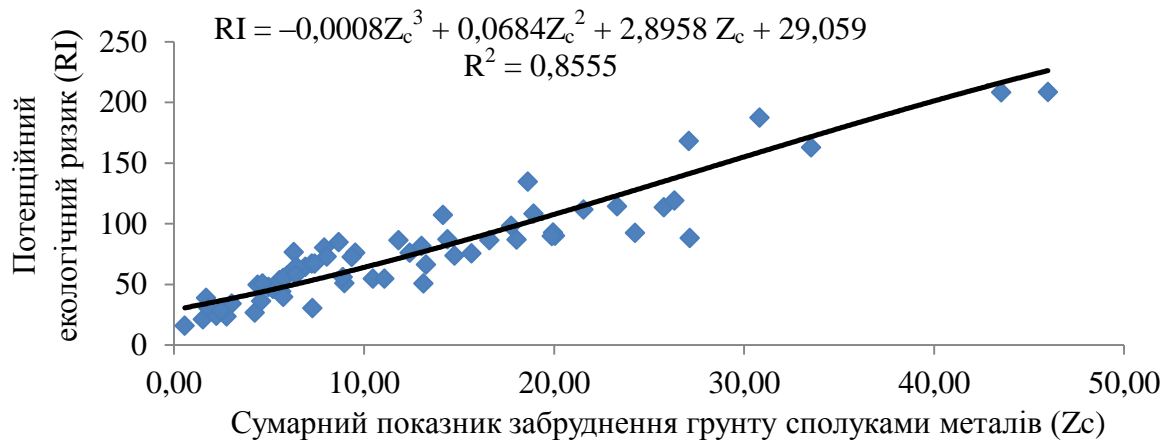
Таблиця 11. Коефіцієнти кореляції між фактором екологічного ризику та показниками екологічної небезпеки внаслідок мігрування сполук металів у ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро

Показники екологічної небезпеки	E_r				
	Cu	Zn	Pb	Cd	Ni
ЧТМ, %	0,597	0,845	0,704	0,911	-
Смертність дорослого населення, випадків на 1 тис. чол.	0,143	-0,239	0,281	0,095	-0,178
Смертність дітей до 1 року, випадків на 1 тис. чол.	0,080	0,494	0,386	0,171	-0,114

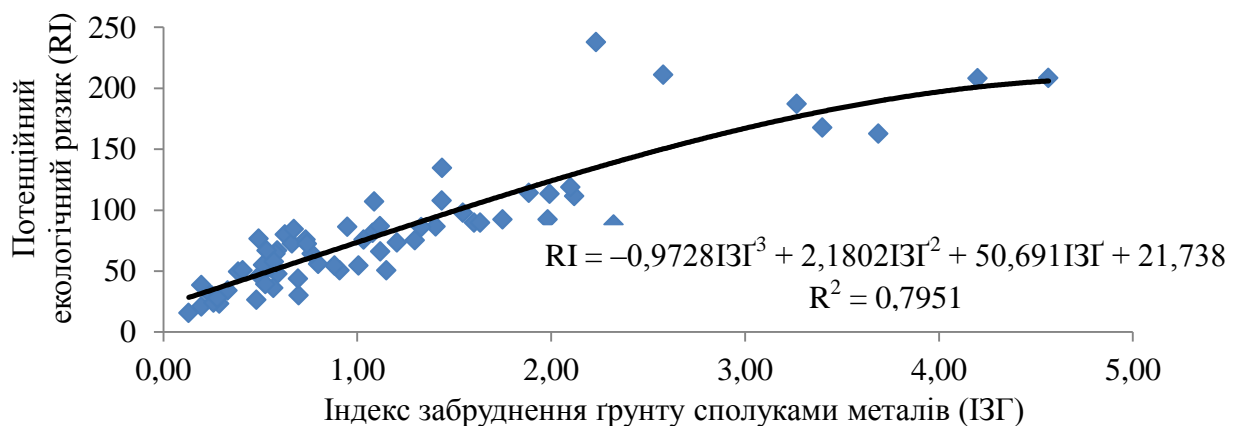
Для врахування поліелементного характеру забруднення було визначено потенційний екологічний ризик згідно L. Nakanson, як суму

індивідуальних E_g , для кожного досліджуваного металу. На підставі одержаних залежностей потенційного екологічного ризику від інтегральних показників поліелементного забруднення, спричиненого групою досліджуваних металів, доведено, що RI в більшій мірі має спорідненість з оцінюванням ступеня небезпеки за природним геохімічним фоном, чим за ГДК згідно коефіцієнту достовірності апроксимації – 0,8555 і 0,7951 відповідно (рис. 8 а, б). Встановлено, що RI не відбиває дисбалансу катіонів металів у ґрунті (0,6948) (рис. 8 в).

а)



б)



в)

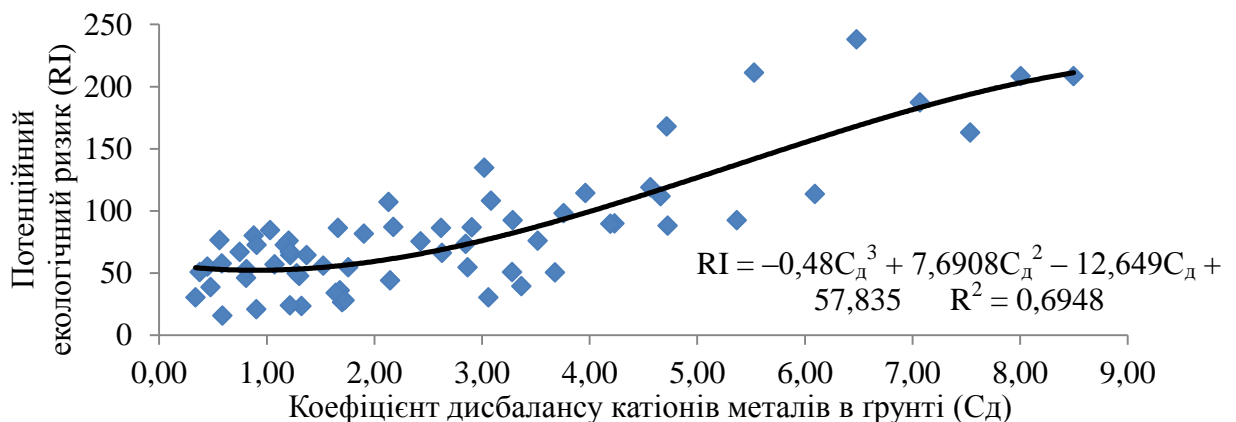
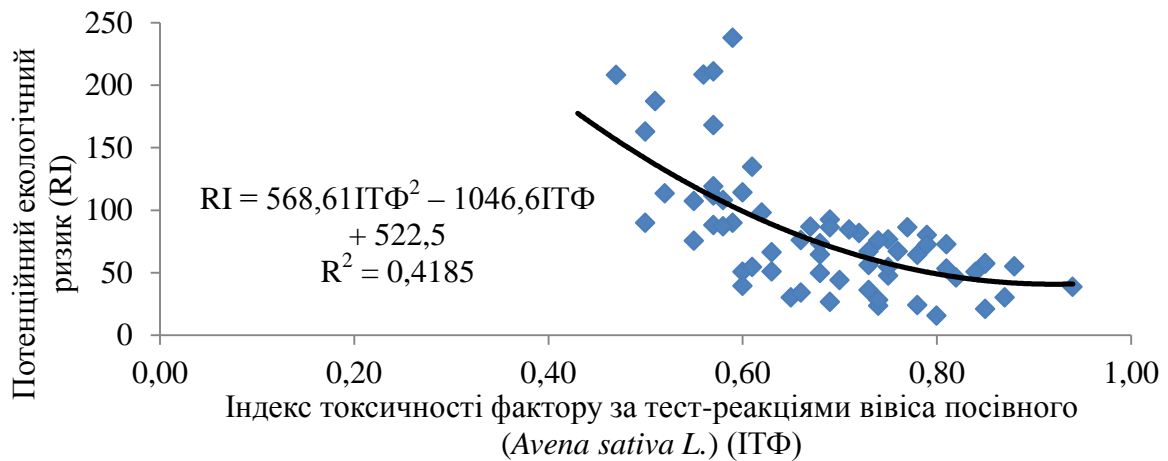


Рис. 8. Залежність потенційного екологічного ризику від інтегральних показників оцінювання поліелементного забруднення сполуками металів Z_c (а); IZI (б); C_d (в).

Для врахування особливостей міських ґрунтів, порушених при розбудові і функціонуванні урбоєкосистеми було перевірено відповідність ступеня екологічної небезпеки за RI рівню фітотоксичності, утвореної внаслідок мігрування сполук металів у ґрунтах урбоєкосистеми. Проте згідно низької достовірності апроксимації залежностей потенційного екологічного ризику від показників ІТФ та E_n , доведено, що RI не відбиває ступеня фітотоксичності ґрунту (рис. 9), отже ступеня порушення міських ґрунтів цей показник не враховував.

а)



б)

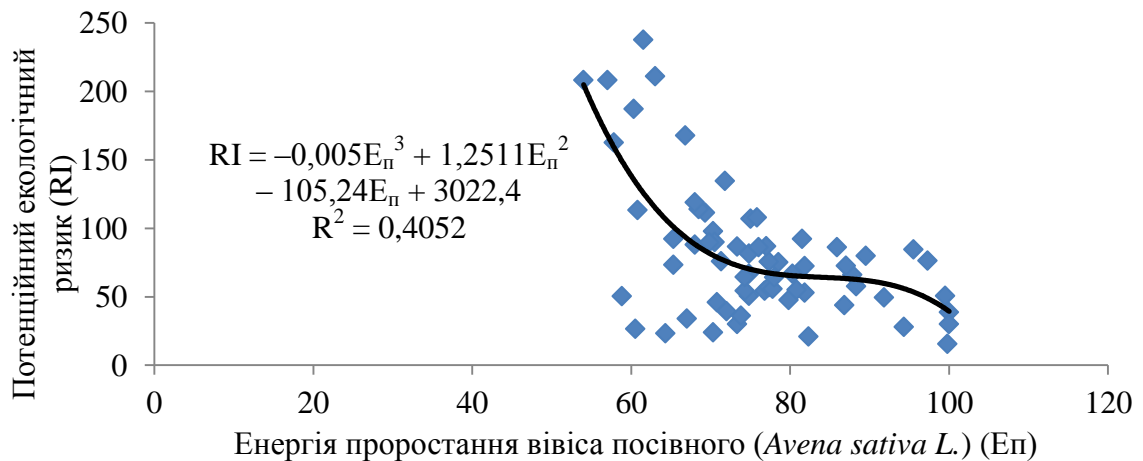
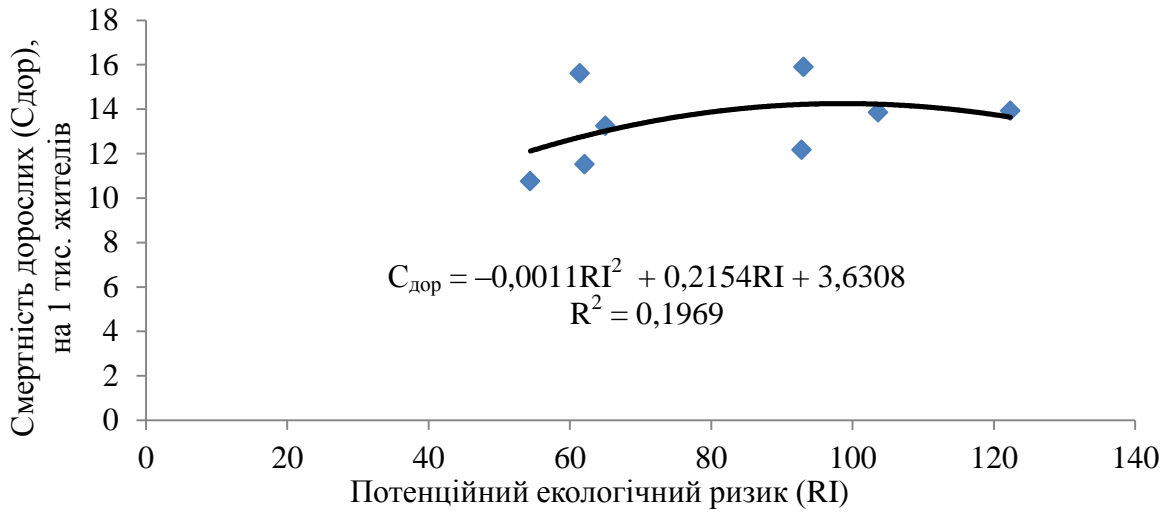


Рис. 9. Залежність потенційного екологічного ризику від показників оцінювання токсичності ґрунту, спричиненої внаслідок мігрування сполук металів ІТФ (а); E_n (б).

Зважаючи, що RI враховує токсико-відповідь організму людини на забруднення сполуками металів була перевірена відповідність визначення екологічного ризику внаслідок їх мігрування у ґрунті відносно рівня здоров'я населення. На підставі рівнянь регресії між потенційним екологічним ризиком та смертністю населення урбоєкосистеми м. Дніпро доведено, що RI не був визначальним чинником стану здоров'я населення урбоєкосистеми (рис. 10). Згідно даних достовірності апроксимації встановлено, що

потенційний екологічний ризик позначався в більшій мірі на рівні смертності дітей до 1-го року, чим дорослих (рис. 10).

а)



б)

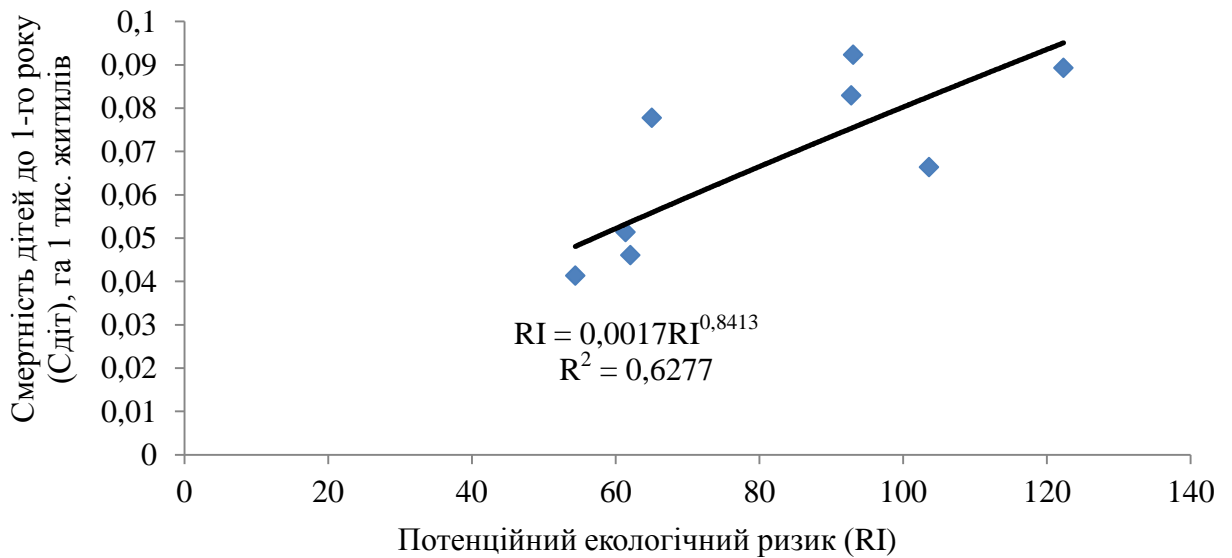


Рис. 10. Залежність смертності дорослого населення (а) та смертності дітей до 1-го року (б) від потенційного екологічного ризику, спричиненого внаслідок мігрування сполук металів.

Визначення E_g та RI не надавало можливості здійснювати прогнозування екологічної небезпеки внаслідок мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистеми, тому залучення цих показників до системи моніторингу не має сенсу.

Запропонований підхід щодо визначення екологічного ризику ґрунтувався на використанні інтегралу із функції розподілення концентрацій досліджуваних металів на основі функції розподілення Вейбулла з прив'язкою до загальноприйнятого нормування.

В результаті аналізу виборок вмісту катіонів металів у ґрунті урбоекосистеми м. Дніпро доведено можливість використання закону Вейбулла за умов наявності їх несиметричного розподілення. Для ймовірнісної оцінки екологічного ризику (R_n) внаслідок поелементного забруднення ґрунту сполуками металів при використанні інтегралу із функції розподілення Вейбулла (2) було запропоновано здійснювати прив'язку до нормування поелементного забруднення ґрунтів за рівнями небезпеки відносно ГДК

$$R_{n(\text{ГДК})} = \exp \left[- \left(\frac{b_j \cdot k \cdot \text{ГДК}_j}{c_j} \right)^{m_j} \right] \quad (2)$$

де b_j та m_j – параметри розподілення Вейбулла для j -го забруднювача в ґрунті в межах заданого інтервалу, мг/кг;

c_j – середнє значення концентрації j -го забруднювача в ґрунті в межах заданого інтервалу нормування на досліджуваній території, мг/кг;

k – коефіцієнт нормування поелементного забруднення відносно рівнів небезпеки (для валового вмісту катіонів металів у ґрунті $k=1$ – толерантний, $k=2$ – помірно небезпечний та $k=5$ – небезпечний рівень забруднення; для вмісту катіонів, що відносяться до рухомих форм $k=1$ – помірно небезпечний та $k=2$ – небезпечний рівень забруднення).

Для нормування екологічного ризику внаслідок поелементного забруднення за природним геохімічним фоном формула була допрацьована і отримала наступний вигляд (3)

$$R_{n(\text{СФ})} = \exp \left[- \left(\frac{b_j \cdot k \cdot \text{СФ}_j}{c_j} \right)^{m_j} \right] \quad (3)$$

де СФ_j – фоновий вміст металу в зональному ґрунті, мг/кг;

k – коефіцієнт нормування інтенсивності поелементного забруднення відносно природного геохімічного фону для валового вмісту катіонів та катіонів, що відносяться до рухомих форм ($k=1$ – слабе, $k=2$ – помірне та $k=6$ – сильне забруднення).

На підставі визначених коефіцієнтів кореляції встановлено, що розрахований за допомогою закону Вейбулла, екологічний ризик внаслідок мігрування сполук металів у ґрунті досить тісно пов'язаний з показниками оцінювання небезпеки поліелементного забруднення за $K_{\text{нб}}$ та K_c (табл. 12). Наявність тісних зв'язків доводила доцільність залучення запропонованих показників до системи моніторингу. На підставі значень коефіцієнтів кореляції між екологічним ризиком та смертністю жителів встановлено, що його значення, розраховане за сполуками Рв здатними до мігрування, в більшій мірі відбивають екологічну небезпечність урбоекосистеми м. Дніпро.

Таблиця 12. Коефіцієнти кореляції між показником екологічного ризику і показниками поелементного забруднення ґрунту на прикладі сполук Рb відносно природного геохімічного фону за умов $k=1$

Показник екологічної небезпеки	Вміст катіонів металів після кислотної обробки ґрунту	Вміст катіонів металів у витягу ААБ (рН 4,8)
$K_{нб}$	0,859	0,812
Смертність дорослого населення, випадків на 1 тис. чол.	0,127	0,518
Смертність дітей до 1 року, випадків на 1 тис. чол.	0,422	0,389

Доведена можливість використання інтегралу із функції розподілення Вейбулла для здійснення прогнозу поліелементного забруднення ґрунту сполуками металів, так згідно існуючого нормування за Z_c і ІЗГ формула отримала наступний вигляд (4 і 5).

$$R_n (ІЗГ) = \exp \left[- \left(\frac{b_j}{ІЗГ} \right)^{m_j} \right] \quad (4)$$

де ІЗГ – середнє значення ІЗГ в ґрунті в межах досліджуваної території. ІЗГ_{ГДК} дорівнює одиниці, як було встановлено за результатами виконаних розрахунків для вмісту катіонів металів в 1 ГДК за кожним досліджуваним елементом. Коефіцієнтом k можна знехтувати, адже згідно існуючого нормування поліелементного забруднення відносно ГДК, для всіх випадків він буде дорівнювати 1.

$$R_n (Z_c) = \exp \left[- \left(\frac{b_j \cdot k \cdot Z_{c \text{ пр.ф.}}}{Z_{c_j}} \right)^{m_j} \right] \quad (5)$$

де $Z_{c \text{ пр.ф.}}$ – Z_c , що відповідає наявності поліелементного забруднення згідно нормування за природним геохімічним фоном, дорівнює 8;

k – коефіцієнт нормування інтенсивності поліелементного забруднення відносно природного геохімічного фону ($k=1$ – слабе, $k=2$ – помірне, $k=4$ – сильне, $k=6$ – дуже сильне, $k=12$ – надто сильне забруднення).

На прикладі розрахунків екологічного ризику внаслідок поліелементного забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро встановлено, що визначення $R_n (ІЗГ)$ призведе до констатації самого факту небезпечності розповсюдження забруднення без врахування рівня техногенного навантаження. При розрахунку $R_n (Z_c)$ було зафіксовано його збільшення залежно від зменшення інтенсивності поліелементного забруднення, що надавало можливість визначення екологічного ризику прояву різних рівнів екологічної небезпеки на досліджуваній території.

Виявлено, що згідно шкали Хантера для значень R_n , поелементного і для поліелементного забруднення ґрунтів м. Дніпро висока ймовірність розповсюдження прояву ефектів низької токсичності по всій його території, що підтверджують результати біотесту з вівсом посівним (*Avéna satíva*), навпаки, прояви ефектів, пов'язаних з середньою та високою токсичністю носить локальний характер.

Високі значення коефіцієнтів кореляції між показниками екологічного ризику та показниками оцінювання ступеня екологічної небезпеки за умов поліелементного забруднення ($IЗГ$ і Z_c) свідчили про перспективність залучення R_n до системи моніторингу мігрування сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем (табл. 13-14). На підставі коефіцієнтів кореляції можна стверджувати, що для урбоєкосистеми м. Дніпро екологічний ризик внаслідок забруднення ґрунтів небезпечними сполуками металів не є лімітуючим фактором, котрий впливає на здоров'я населення (табл. 13-14).

Таблиця 13. Коефіцієнти кореляції між R_n (ГДК) і показниками екологічної небезпеки за умов поліелементного забруднення ґрунту сполуками металів

Показники екологічної небезпеки	R_n (поліел.з. за ГДК)
$IЗГ$	0,992
Смертність дорослого населення, випадків на 1 тис. чол.	0,129
Смертність дітей до 1 року, випадків на 1 тис. чол.	0,537

Таблиця 14. Коефіцієнти кореляції між R_n (Z_c) і показниками екологічної небезпеки за умов поліелементного забруднення ґрунту сполуками металів

Показники екологічної небезпеки	R_n (поліел.з. за ГДК)		
	k=1	k=2	k=4
Z_c	0,792	0,752	0,696
Смертність дорослого населення, випадків на 1 тис. чол.	0,152	0,173	0,164
Смертність дітей до 1 року, випадків на 1 тис. чол.	0,289	0,323	0,387

У **сьомому розділі** представлено створені технології з фітореMediaції міських ґрунтів, забруднених небезпечними сполуками металів, та розроблену систему організації управління їх якістю на локальному рівні.

Для цього було проведено дві серії вегетаційних дослідів:

1. Фітостабілізація: рослина-деконцентратор – люцерна посівна (*Medicago sativa*) + меліорант – K_2CO_3 + укорінювач – Стимовіт Ферті + мікробіологічний препарат – біокомплекс БТУ-р універсальний;

2. Фітоекстракція – рослина-фітоекстрактор – райграс пасовищний (*Lolium perenne*) + ефектор фітоекстракції – ЕДТА + стимулятор росту – “Корневін”+ азотне мінеральне добриво – аміачна селітра.

Результати експериментальних досліджень, наведених у табл. 15 свідчать, що найбільша ефективність процесу відновлення ґрунту досягається при залученні всіх складових технологій фітостабілізації та

фітоекстракції, адже це сприяє створенню оптимальних умов в першому випадку щодо блокування, а в другому – надходження катіонів металів в рослини урбоєкосистем.

Таблиця 15. Ефективність процесу відновлення ґрунтів, забруднених сполуками металів

Складові технології	КБП		ТК
	надземна частина	корені	
Фітостабілізація (умови забруднення – 14,3 ГДК в перерахунку на Pb ²⁺)			
Рослина-деконцентратор люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>)	0,39	0,44	0,87
Рослина-деконцентратор люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>) + меліорант K ₂ CO ₃	0,27	0,37	0,73
Рослина-деконцентратор люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>) + меліорант K ₂ CO ₃ + укорінювач Стимовіт Ферті	0,23	0,34	0,68
Рослина-деконцентратор люцерна посівна (<i>Medicago sativa</i>) + меліорант K ₂ CO ₃ + укорінювач Стимовіт Ферті + мікробіологічний препарат біокомплекс БТУ-р універсальний	0,19	0,31	0,62
Фітоекстракція (умови забруднення – 10 ГДК в перерахунку на Cd ²⁺)			
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний (<i>Lolium perenne</i>)	6,84	7,59	0,90
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний (<i>Lolium perenne</i>) + ефектор фітоекстракції ЕДТА	7,23	7,98	0,91
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний (<i>Lolium perenne</i>) + ефектор фітоекстракції ЕДТА + стимулятор росту “Корневін”	7,36	8,12	0,91
Рослина-фітоекстрактор райграс пасовищний (<i>Lolium perenne</i>) + ефектор фітоекстракції ЕДТА + стимулятор росту “Корневін” + мінеральне добриво аміачна селітра	8,17	8,56	0,95

Економічне обґрунтування застосування технологій з відновлення ґрунтів урбоєкосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, проводили двома шляхами: зіставленням вартості на їх проведення із штрафними витратами за забруднення міських ґрунтів та визначенням їх еколого-економічної ефективності порівняно з базовим варіантом по створенню трав'яного покриття за допомогою універсального рулонного газону. Згідно результатів, наведених в табл. 16, доведено, що впровадження у виробництво запропонованих технологій економічно вигідно.

Таблиця 16. Економічна оцінка ефективності технологій відновлення ґрунтів, забруднених сполуками металів

Технологія	Вартість 1 м ²		Економічний ефект відносно базового варіанту	
	у грн.	у % відносно вартості 1 м ² землі у м. Дніпро	у грн.	у %
Створення рулонного газону (базовий варіант)	55,00	11,22	-	-
Фітостабілізація	27,23	5,56	27,77	49,51
Фітоекстракція	12,75	2,60	42,25	76,82

На рис. 11 представлено запропоноване за результатами дисертаційної роботи узагальнення у вигляді схематичного зображення удосконаленої системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем з врахуванням впливу чинників на формування їх екологічної безпеки та зменшення негативного впливу на здоров'я людини. Блок-схема ілюструє, що її застосування є необхідною умовою зменшення негативного впливу на ґрунти щодо забезпечення екологічної безпеки урбоєкосистем техногенно навантажених територій.

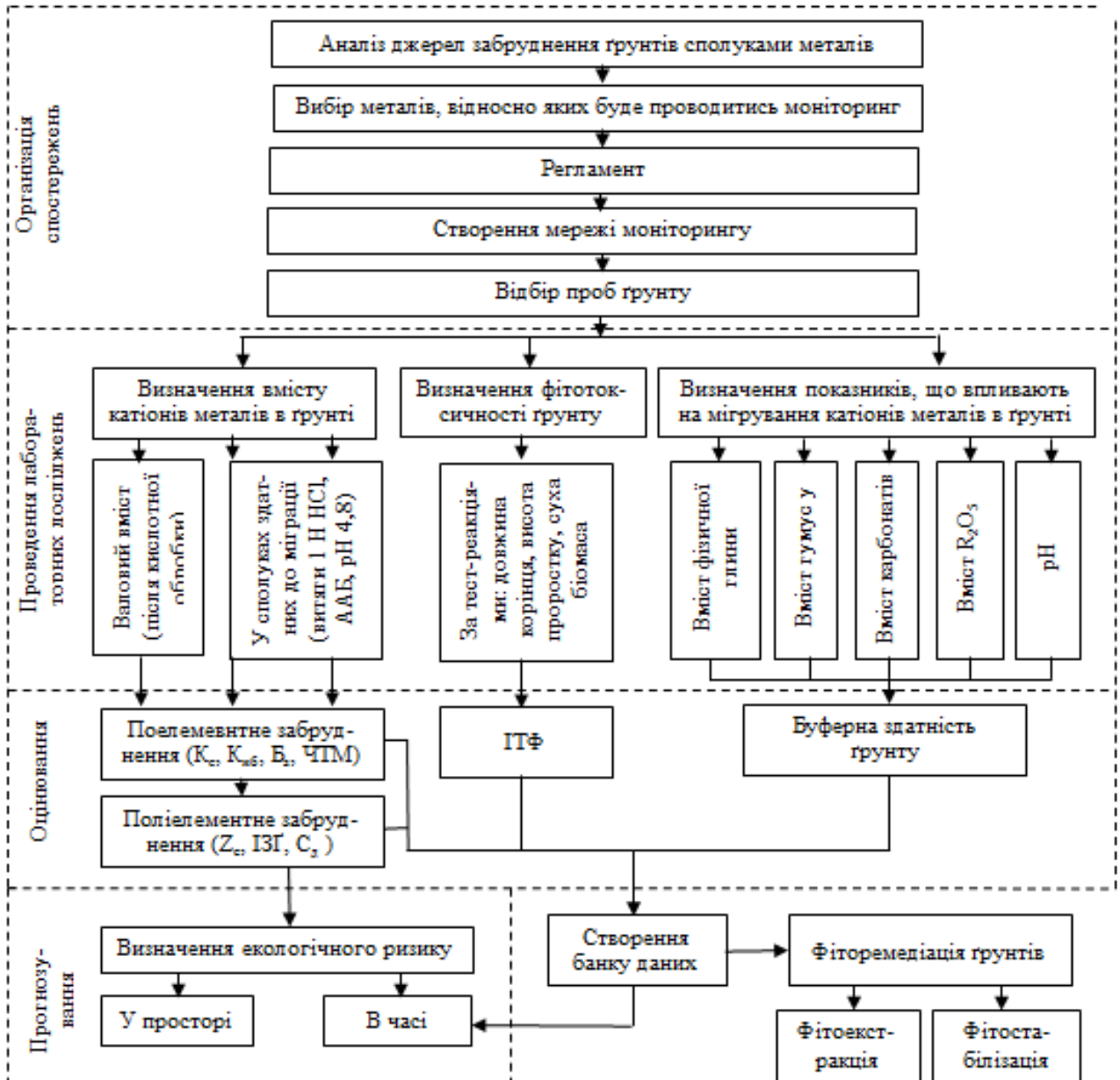


Рис. 11. Блок-схема моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем

На прикінцевому етапі розроблено систему організації управління якістю ґрунтів урбоєкосистеми на локальному рівні, яку запропоновано здійснювати згідно циклу Демінга із залученням вже існуючих організацій і установ екологічного профілю міста (рис. 12), що призведе до створення

передумов зменшення техногенного навантаження на довкілля та забезпечення екологічної безпеки для її мешканців.



Рис. 12. Блок-схема організації управління якістю ґрунтів урбоєкосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, на локальному рівні

ВИСНОВКИ

За результатами виконання дисертаційної роботи вирішено актуальну проблему розвитку наукових основ удосконалення системи моніторингу небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем, які враховують особливості та закономірності процесів їх мігрування, як передумови підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій. Основними науковими та практичними результатами роботи є:

1. За результатами аналізу сучасних систем моніторингу за наявністю та вмістом небезпечних сполук металів у ґрунтах виявлено, що в них не враховують здатність до мігрування таких речовин, штучного занижується оціночний рівень екологічного стану техногенно навантажених

урбоєкосистем, на підставі якого приймаються помилкові управлінські рішення з питань забезпечення їх екологічної безпеки.

2. Висунуто ідею, що одним із шляхів підвищення ефективності забезпечення екологічної безпеки техногенно навантажених територій є удосконалення системи моніторингу небезпечних сполук металів у ґрунтах, яка враховує особливості процесів їх мігрування внаслідок функціонування урбоєкосистем.

3. Обґрунтовано методологію проведення досліджень, яка передбачала, як теоретичні, так і експериментальні дослідження, зокрема, застосування методів фізико-хімічного аналізу (атомно-абсорбційний, спектрофотометричний, пікнометричний, гравіметричний та потенціометричний); загально відомі метод біотестування з використанням у якості тест-культури вівса посівного (*Avena sativa L.*) та вегетаційні досліді з використанням рослин – деконцентратора (люцерна посівна (*Medicago sativa*)), гіперакумулятора (райграс пасовищний (*Lolium perenne*)); геохімічне картографування забруднених територій урбоєкосистеми на прикладі м. Дніпро.

4. Встановлено, що коефіцієнти концентрації та безпеки, визначені за валовим вмістом катіонів металів (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) у ґрунті, на відміну від визначених за вмістом здатних до мігрування їх сполук, мають значення на 2 порядки нижче, що запропоновано враховувати в системі моніторингу ґрунтів урбоєкосистем для запобігання помилкових управлінських рішень у природно-охоронній діяльності техногенно навантажених територій.

5. Встановлено, що будівельна діяльність в урбоєкосистемах обумовлює дисбаланс сполук мінеральної частини, зменшення вмісту гумусу, та змінення рН ґрунту, порушує структуру, зменшує здатність ґрунтів зв'язувати катіони небезпечних металів з утворенням нерозчинних сполук, що призводить до підвищення екологічної небезпечності внаслідок їх мігрування в трофічних ланцюгах такої системи.

6. Розкрито взаємозв'язок між кількісним значення буферної здатності ґрунту до забруднення небезпечними сполуками металів (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn) та їх валовим вмістом. Запропоновано відповідну формулу для кількісного визначення буферної здатності ґрунту до забруднення небезпечними сполуками металів з урахуванням їх міграційної здатності, як різницю між ГДК та валовим вмістом катіонів металу, на відміну від бальної оцінки, запропонованої В.Б.Ільїним.

7. Науково обґрунтовано необхідність врахування нестачі і надлишку вмісту катіонів металів в ґрунті урбоєкосистем при здійсненні оцінювання екологічної небезпечності поліелементного забруднення для довкілля та здоров'я населення міста на підставі встановлених коефіцієнтів кореляції та рівнянь регресії між коефіцієнтом дисбалансу катіонів металів (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), фітотоксичністю ґрунтового середовища та показником смертності дітей до 1-го року. Обґрунтовано його екологічне прийнятне критеріальне значення < 7 для урбоєкосистеми м. Дніпро.

8. Науково обґрунтовано доцільність застосування методу біотестування в системі моніторингу мігрування небезпечних сполук металів,

сутністю якого є визначення інтегрального показника за декількома тест-реакціями рослин.

9. Науково обґрунтовано недоцільність визначення екологічного ризику за рівнянням Хакансона на підставі токсико-відповіді організмів, враховуючи невідповідність результатів оцінювання за цим методом реальному рівню екологічної небезпеки, обумовленому забрудненням.

10. Науково обґрунтовано та запропоновано удосконалену методологію прогнозування екологічної небезпечності забруднення урбоекосистем сполуками металів шляхом визначення екологічного ризику за допомогою розподілення Вейбулла для різних рівнів поелементного та поліелементного забруднення еквівалентно ГДК та природного геохімічного фону.

11. Науково обґрунтовано та розроблено захищені патентами технології фітореємедіації ґрунтів урбоекосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, сутність яких полягає у фітостабілізації ґрунтів запропонованою рослиною-деконцентратом (люцерна посівна (*Medicago sativa*)), або фітоекстракції катіонів металів запропонованою рослиною – гіперакумулятором (райграс пасовищний (*Lolium perenne*)).

12. Результати дисертаційної роботи увійшли до навчального посібника «Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоекосистем», використовуються під час викладання мультідисциплінарного навчального курсу для магістрів та докторів філософії інженерних спеціальностей «Environmental background of region development: impact of industry and agriculture on region ecological situation» в рамках Європейської програми TEMPUS «Regional sustainable development on the basis of eco-human synergetic interaction. Результати роботи також впроваджено в навчальному процесі Державного вищого навчального закладу «Придніпровська державна академія будівництва та архітектури» при викладанні курсу «Моніторинг довкілля»; у діяльності науково-виробничого підприємства ТОВ НВП «Центр екологічного аудиту та чистих технологій».

13. Запатентовані технології фітореємедіації ґрунтів забруднених небезпечними сполуками металів впроваджено в комунально-житловому господарстві ОСББ «пр. Героїв, 4, п. 18, 19, 20» та промислового підприємстві ТОВ ГНПО «Східпромсервіс».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Монографія:

1. Яковишина Т. Ф., Спільник Н. В. Екологічне обґрунтування використання шлаку, як техногенної сировини для виготовлення будівельних матеріалів. *Містобудування, територіальне і стратегічне планування: організаційно-екологічні, правові, суспільні та еколого-технологічні аспекти* : колективна монографія. Донецьк: Ноулідж, 2014. С. 457-467. *Особистий внесок*: розкрито особливості впливу шлакових відвалів на ґрунт, проаналізовано хімічний склад шлаку.

У наукових фахових виданнях:

2. Яковишина Т. Ф. Удосконалення технології фітоекстракції важких металів з ґрунту. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2013. Вип. 3(25). С. 72-76.
3. Яковишина Т. Ф. Фітоекстракція важких металів з ґрунту. *Збірник наукових праць Національного гірничого університету*. 2013. № 41. С. 182-187.
4. Яковишина Т. Ф. Екологічні наслідки трансформації ґрунту в результаті нанесення на його поверхню шлаку. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування*. 2013. Вип. 71, Т. 1. С. 266-269.
5. Яковишина Т. Ф., Спільник Н. В. Екологічна оцінка впливу відвалу шлаку силікомарганцю на розподіл важких металів в ґрунтовому профілі. *Екологія і природокористування*. 2013. Вип. 17. С. 201-206. *Особистий внесок*: участь у проведенні досліджень, побудові графіків, уточнені та інтерпретації результатів.
6. Яковишина Т. Ф. Система біотестування токсичності ґрунту, забрудненого важкими металами. *Вісник Сумського національного аграрного університету*. 2014. Вип. 3(27). С. 70-73.
7. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка порушення ґрунту внаслідок будівельної діяльності. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування*. 2015. Вип. 81. С. 268-272.
8. Яковишина Т. Ф. Екологічне оцінювання техногенезу важких металів. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. №. 3. С. 28-35.
9. Яковишина Т. Ф. Класифікація антропогенно перетворених ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпропетровська. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2015. №. 12. С. 65-70.
10. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка включення важких металів до продуктів техногенезу. *Вісник Харківського національного автомобільного університету*. 2015. № 70. С. 50-54.
11. Яковишина Т. Ф. Екологічна оцінка поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів м. Дніпропетровська. *Вісник Криворізького національного університету*. 2016. Вип. 41. С. 78-83.
12. Яковишина Т. Ф. Нормування поелементного та поліелементного забруднення за допомогою ГДК. *Будівництво. Матеріалознавство. Машинобудування*. 2016. Вип. 87. С. 152-158.
13. Яковишина Т. Ф. Порівняльний аналіз підходів до екологічної оцінки поліелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистеми важкими металами. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2016. №. 6. С. 24-31.
14. Яковишина Т. Ф. Порівняльний аналіз підходів до визначення екологічного ризику забруднення ґрунтів кадмієм. *Наукові праці. Техногенна безпека. Радіобіологія*. 2016. Вип. 268, Т. 280. С. 19-24.
15. Яковишина Т. Ф. Екологічне нормування поелементного забруднення ґрунту урбоєкосистеми важкими металами за фоновією концентрацією.

Вісник Криворізького національного університету. 2017. Вип. 44. С. 19-24.

16. Яковишина Т. Ф. Застосування методів математичної статистики для характеристики поелементного забруднення ґрунтів урбоекосистеми важкими металами. *Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури*. 2017. №. 3. С. 79-85.
17. Шматков Г. Г., Яковишина Т. Ф. Система показників комплексної оцінки поліелементного забруднення важкими металами ґрунтів урбоекосистеми. *Екологічні науки*. – 2018. – Вип. 1(20), Т. 2. – С. 25-29. *Особистий внесок*: сформульовано мету і задачі дослідження, проведено оцінювання поліелементного забруднення ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро сполуками металів (Pb, Zn, Cd, Cu, Ni).
У закордонних виданнях:
18. Большаков В., Щербак С., Яковишина Т., Щербак О. Экологическая оценка влияния Mn, содержащегося в отвалах шлаков, на почву. *Theoretical foundations of civil engineering*. 2010. Vol. 18. P. 455-558. *Особистий внесок*: розкрито особливості формування екологічної небезпеки при надходженні сполук Mn у ґрунт.
19. Яковишина Т. Ф. Использование биологической активности для экологической оценки мероприятий по детоксикации тяжелых металлов в почве. *Новый университет. Сер. Технические науки*. 2013. №. 7. С. 41-44.
20. Яковишина Т. Ф. Экоотоксикологическая оценка городских почв методом биотестирования. *UNIVERSUM: Химия и биология*. 2015. №. 8 (16). URL: <http://7universum.com/ru/nature/arhive/item/2491> (дата звернення 21.10.2018)
21. Яковишина Т. Ф. Біотестування токсичності ґрунтів для оцінки ступеня небезпеки забруднення урбоекосистем. *Scientific heritage*. 2017. №. 17. P. 66-71.
22. Яковишина Т. Ф. Комплексна оцінка поелементного забруднення важкими металами ґрунтів урбоекосистем з урахуванням норм екобезпеки. *East european science journal*. 2017. №. 11 (27). P. 96-103.
23. Яковишина Т. Ф. Удосконалення методики визначення екологічного ризику за умов різних рівнів забруднення свинцем ґрунтів урбоекосистем. *Scientific heritage*. 2018. №. 24, Vol. 1. P. 66-71.
24. Яковишина Т. Ф. Вплив забруднення металами ґрунтів на рівень здоров'я населення урбоекосистем. *Znanstvena misel*. 2018. №. 22. P. 74-78.
Матеріали міжнародних та національних науково-практичних симпозіумів та конференцій:
25. Yakovyshyna T. F. Heavy metals phytoextraction from technogenous polluted soil. *Problems and tendencies of modern society development : Materials digest of the XIth International Scientific and Practical Conference, 14-18 October 2011 yr. Kiev (Ukraine) – London (UK), 2011*. P. 20-21.

26. Яковишина Т. Ф. Роль міських ґрунтів, як депо накопичення важких металів. *Науково-технічне та організаційно-екологічне сприяння реформам у будівництві і житлово-комунальному господарстві* : Збірник тез доповідей III Міжнародної конференції, 12-13 квітня 2012 р. Макіївка, 2012. Ч. 1. С. 219-222.
27. Яковишина Т. Ф. Форми важких металів в ґрунтах – проблема вибору при проведенні екомоніторингу. *Неделя еколога – 2012* : Тезиси докладов Международного научного симпозиума, 1-5 октября 2012 г. Днепродзержинск, 2012. С. 23-26.
28. Яковишина Т. Ф. Бородин Е. Г. Эколого-биологическая оценка техногенной миграции свинца. *Найновите постижения на европейката наука – 2014* : Материали за X Международна научна практична конференция, 17-25 юни 2014 г. София (България), 2014. Т. 18. Биология. Екология. Здание и архитектура. С. 66-68. *Особистий внесок*: сформульовано мету і завдання досліджень, проведено розрахунки технофільності свинцю.
29. Яковишина Т. Ф. Оценка полиэлементного загрязнения почв урбоэкосистемы тяжелыми металлами. *Scientific resources management of countries and regions* : Materials of International Scientific and Practical Congress, 18 July 2014 yr. Copenhagen (Denmark), 2014. P. 25-30.
30. Яковишина Т., Соболев Т., Тур А. Деструкційна активність важких металів. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства* : Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 19-20 березня 2015 р. Тернопіль, 2015. С. 163-165. *Особистий внесок*: поставлено мету, обґрунтовано використання показника деструкційної активності для визначення екологічної небезпеки при надходженні металів у навколишнє середовище.
31. Яковишина Т. Ф. Соболев Т. О., Тур А. І. Оцінка буферності міських ґрунтів щодо забруднення важкими металами в системі екологічного моніторингу. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : Збірник наукових праць за матеріалами VI Міжнародної наукової конференції, 20-22 травня 2015 р. Суми, 2015. Т. 2. С. 104-107. *Особистий внесок*: обґрунтовано залучення показників буферності до системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах, визначено буферну здатність ґрунтів урбоекосистеми м. Дніпро.
32. Яковишина Т. Ф., Малый А. Э. Технофильность тяжелых металлов. *Technical progress of mankind in the content of continuous extension of the society's material needs* : Peer-reviewed materials digest (collective monograph) published following the results of the CII International Research and Practice Conference and I stage of the Championship in Technical Sciences, Architecture and Construction, 18-24 June 2015 yr. London (UK), 2015. P. 34-36. *Особистий внесок*: проведено розрахунки технофільності Cd, Cu, Zn.
33. Яковишина Т. Ф. Біотестування фітотоксичності ґрунтів урбоекосистем на прикладі м. Дніпропетровська. *V-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з*

- міжнародною участю* : Збірник наукових праць, 23-26 вересня 2015 р. Вінниця, 2015. С. 205.
34. Яковишина Т. Ф. Антропогенне перетворення ґрунтів урбоєкосистем. *Еколого-правові та економічні аспекти екологічної безпеки регіонів* : Збірник матеріалів Х Міжнародної науково-практичної конференції, 20-21 жовтня 2015 р. Харків, 2015. С. 64-66.
35. Яковишина Т., Толошний Р. Нормування забруднення металами ґрунту за сумарним цинковим еквівалентом токсичності. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства* : Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції, 24-25 березня 2016 р. Тернопіль, 2016. С. 221-223. *Особистий внесок*: проаналізовано підходи визначення інтегральних показників поліелементного забруднення сполуками металів, проведено розрахунки сумарного цинкового еквіваленту токсичності ґрунтів м. Дніпро.
36. Яковишина Т. Ф., Толошний Р.І. Оцінка екологічного ризику забруднення Cd ґрунтів м. Дніпро. *Радіаційна і техногенно-екологічна безпека людини та довкілля: стан, шляхи і заходи покращення* : Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції, 9-11 червня 2016 р. Миколаїв – Коблеве, 2016. С. 54-56. *Особистий внесок*: проведено розрахунки екологічного ризику забруднення Cd ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро на підставі токсико-відповіді живих організмів.
37. Яковишина Т. Ф. Індекс антропогенного навантаження на ґрунт урбоєкосистем внаслідок забруднення важкими металами. *Форум гірників – 2016* : Матеріали Міжнародної науково-технічної конференції, 5-8 жовтня 2016 р. Дніпро, 2016. Т. 2. С. 224-229.
38. Яковишина Т., Матягіна О. Забруднення Pb ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро. *Національне виробництво й економіка в умовах реформування: стан і перспективи інноваційного розвитку та міжрегіональної інтеграції* : Збірник наукових праць II Міжнародної науково-практичної конференції, 28 жовтня 2016 р. Кам'янець-Подільський, 2016. С. 113-114. *Особистий внесок*: розроблено методологію оцінювання поелементного забруднення ґрунтів урбоєкосистем сполуками металів.
39. Яковишина Т., Дрогальцева Л. Екологічна оцінка накопичення Cu в ґрунтах урбоєкосистем м. Дніпро. *Аграрна освіта та наука Поділля* : Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції, 14-16 березня 2017 р. – Кам'янець-Подільський, 2017. – Ч. 1. – С. 212-214. *Особистий внесок*: проведено експериментальні дослідження визначення катіонів Cu^{2+} у різних витягах, здійснено оцінювання здатності сполук міді до мігрування.
40. Яковишина Т., Абдуліна Л., Богрєєва А. Техногенність Cu в ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро. *Екологія і природокористування в системі оптимізації відносин природи і суспільства* : Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції, 27-28 квітня 2017 р.

- Тернопіль, 2017. С. 138-140. *Особистий внесок*: обґрунтовано використання показника частки техногенності металу для визначення характеру забруднення в системі моніторингу ґрунтів урбоєкосистем, проведено розрахунки з визначення техногенності Cu для ґрунтів м. Дніпро.
41. Яковишина Т. Ф. Вміст Ni в ґрунтах урбоєкосистеми м. Дніпро. *VI-ий Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю* : Збірник наукових праць, 20-22 вересня 2017 р. Вінниця, 2017. С. 223.
42. Яковишина Т. Ф. Характеристика ступеня екологічної небезпеки забруднення ґрунтів урбоєкосистеми м. Дніпро свинцем. *Актуальні проблеми дослідження довкілля* : Матеріали VII Міжнародної наукової конференції, 12-14 жовтня 2017 р. Суми, 2017. С. 241-245.
- Посібники:*
43. Яковишина Т. Ф. Екологічний моніторинг: контроль і детоксикація важких металів в ґрунтах урбоєкосистем : навчальний посібник. Дніпропетровськ : Нова ідеологія, 2013. 101 с.
44. Shmatkov G., Yakovyshyna T., Franz G. Environmental background of region development: impact of industry and agriculture on region ecological situation : European project within TEMPUS program "Regional sustainable development on the basis of eco-human synergetic interaction (multidisciplinary training course for MSc, PhD and LLL student in engineering)". Dnipro : SP Blyzniuk, 2016. 2016 р. *Особистий внесок*: впроваджено авторську методологію моніторингу мігрування небезпечних сполук металів у ґрунтах урбоєкосистем.
- Патенти:*
45. Спосіб вилучення важких металів з техногенно забрудненого ґрунту : пат. 60784 Україна / Т.Ф. Яковишина, Г.Г. Шматков, К.М. Столярова, О.О.Вергун. – № у 2010153156; заявл. 20.12.2010; опубл. 25.06.2011, Бюл. № 12. *Особистий внесок*: сформульовано наукову гіпотезу, обґрунтовано результати досліджень.
46. Спосіб фітореємедіації ґрунтів урбоєкосистем, забруднених важкими металами : пат. на корисну модель 125583 UA / Т.Ф. Яковишина. – № у 201712916; заявл. 02.01.2018; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.
47. Спосіб відновлення ґрунтів урбоєкосистем, забруднених свинцем : пат. на корисну модель 1215555 UA / Т.Ф. Яковишина. – № у 201800061; заявл. 26.12.2018; опубл. 10.05.2018, Бюл. № 9.
- Інші видання:*
48. Яковишина Т. Ф. Использование цикла Деминга при подготовке магистров-экологов. *Теорія та методика навчання фундаментальних дисциплін у вищій школі*. 2012. Вип. VII. С. 237-242.

АНОТАЦІЯ

Яковишина Т.Ф. Розвиток наукових основ удосконалення системи моніторингу мігрування небезпечних сполук металів в ґрунтах урбоєкосистем. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління Міністерства екології та природних ресурсів України, Київ, 2019.

Розкрито особливості та закономірності впливу чинників антропогенної діяльності на процеси формування екологічної небезпечності в техногенно навантажених урбоекосистемах внаслідок наявності та мігрування небезпечних сполук металів у порушених міських ґрунтах як квінтесенція наукових основ удосконалення системи їх моніторингу.

Встановлено, що коефіцієнти концентрації та безпеки, визначені за валовим вмістом катіонів металів (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) у ґрунті, на відміну від визначених за вмістом здатних до мігрування їх сполук, мають значення на 2 порядки нижче, що обов'язково повинно враховуватись в системі моніторингу ґрунтів урбоекосистем для запобігання помилкових управлінських рішень у природно-охоронній діяльності техногенно навантажених територій.

Запропоновано формулу для кількісного визначення буферної здатності ґрунту до забруднення небезпечними сполуками металів, як різницю між ГДК та їх валовим вмістом при низькій міграційній здатності, на відміну від бальної оцінки, запропонованої В.Б.Ільїним.

Доведено необхідність врахування нестачі і надлишку вмісту катіонів металів в ґрунті урбоекосистем при здійсненні оцінювання екологічної небезпечності поліелементного забруднення для довкілля та здоров'я населення міста на підставі встановлених коефіцієнтів кореляції та рівнянь регресії між коефіцієнтом дисбалансу катіонів металів (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), фітотоксичністю ґрунтового середовища та показником смертності дітей до 1-го року. Обґрунтовано його екологічне прийнятне критеріальне значення < 7 для урбоекосистеми м. Дніпро.

Науково обґрунтовано та розроблено технології фіторе mediaції ґрунтів урбоекосистем, забруднених небезпечними сполуками металів, сутність яких полягає у фітостабілізації ґрунтів запропонованою рослиною-деконцентратором (люцерна посівна (*Medicago sativa*)), або фітоекстракції катіонів металів запропонованою рослиною – гіперакумулятором (райграс пасовищний (*Lolium perenne*)).

Ключові слова: мігрування, моніторинг, метали, урбоекосистема, небезпечні сполуки, ґрунт, екологічна безпека, забруднення, екологічний ризик, токсичність, фіторе mediaція.

АННОТАЦІЯ

Яковишина Т.Ф. Развитие научных основ усовершенствования системы мониторинга за миграцией опасных соединений металлов в почвах урбоекосистем. – Квалификационная научная работа на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Государственная

экологическая академия последипломного образования и управления Министерства экологии и природных ресурсов Украины, Киев, 2019.

В результате выполнения диссертационной работы решено актуальную проблему развития научных основ усовершенствования системы мониторинга опасных соединений металлов в почвах урбоэкосистем, которые учитывают особенности и закономерности процессов их миграции, как предпосылки повышения эффективности обеспечения экологической безопасности техногенно нагруженных территорий.

В качестве объекта исследования выступал процесс формирования экологической опасности в техногенно нагруженных урбоэкосистемах вследствие наличия и миграции опасных соединений металлов в нарушенных городских почвах. Предметом исследования являлось влияние факторов антропогенной деятельности на процессы формирования экологической опасности в техногенно нагруженных урбоэкосистемах вследствие наличия и миграции опасных соединений металлов в нарушенных городских почвах.

В результате анализа современных систем мониторинга наличия и содержания опасных соединений металлов в почвах обнаружено, что в них не учитываются способность к миграции соединений металлов, искусственно занижается оценочный уровень экологического состояния техногенно нагруженных урбоэкосистем, на основании которого принимаются ошибочные управленческие решения по вопросам обеспечения их экологической безопасности.

Предложена идея, что одним из путей повышения эффективности обеспечения экологической безопасности техногенно нагруженных территорий является совершенствование системы мониторинга опасных соединений металлов в почвах, которая учитывает особенности процессов их миграции при функционировании урбоэкосистемы.

Обоснована методология проведения исследований, которая предусматривала, как теоретические, так и экспериментальные исследования, в частности, применение методов физико-химического анализа (атомно-абсорбционный; спектрофотометрический; пикнометрический; гравиметрический; и потенциометрический), метод биотестирования с использованием в качестве тест-культуры овса посевного (*Avena sativa L.*) и вегетационные опыты с использованием растений – деконцентраатора (люцерна посевная (*Medicago sativa*)), гипераккумулятора (райграс пастбищный (*Lolium perenne*)), геохимическое картографирование загрязненных территорий урбоэкосистемы на примере г. Днепр.

Установлено, что коэффициенты концентрации и опасности, определенные по валовому содержанию катионов металлов (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) в почве, в отличие от определенных по содержанию соединений, способных к миграции, имеют значение на 2 порядка ниже, что предложено учитывать в системе мониторинга почв урбоэкосистем для предотвращения ошибочных управленческих решений в природоохранной деятельности техногенно нагруженных территорий;

Установлено, что строительная деятельность в урбоэкосистеме обуславливает дисбаланс соединений минеральной части, уменьшение

содержания гумуса и изменение рН почвы, нарушает структуру, уменьшает способность почв связывать катионы опасных металлов с образованием нерастворимых соединений, что приводит к повышению экологической опасности вследствие их миграции в трофических цепях такой системы.

Раскрыта взаимосвязь между количественным значением буферной способности почвы к загрязнению опасными соединениями металлов (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn) и их валовым содержанием. Предложено соответствующую формулу для количественного определения буферной способности почвы к загрязнению опасными соединениями металлов с учетом их миграционной способности, как разницу между ПДК и валовым содержанием катионов металла, в отличие от балльной оценки, предложенной В.Б. Ильиным.

Научно обоснована необходимость учета недостатка и избытка содержания катионов металлов в почве урбоэкосистемы при осуществлении оценки экологической опасности полиэлементного загрязнения для окружающей среды и здоровья населения города на основании установленных коэффициентов корреляции и уравнений регрессии между коэффициентом дисбаланса катионов металлов (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), фитотоксичностью почвенной среды и показателем смертности детей до 1-го года. Обоснованно его экологическое приемлемое критериальное значение < 7 для урбоэкосистемы г. Днепр.

Научно обоснована целесообразность применения метода биотестирования в системе мониторинга миграции опасных соединений металлов, сущностью которого является определение интегрального показателя по нескольким тест-реакциям растений.

Научно обосновано и предложено усовершенствованную методологию прогнозирования экологической опасности загрязнения урбоэкосистем соединениями металлов путем определения экологического риска с помощью распределения Вейбулла для различных уровней поэлементного и полиэлементного загрязнения.

Научно обоснованы и разработаны технологии фиторемедиации почв урбоэкосистем, загрязненных опасными соединениями металлов, сущность которых заключается в фитостабилизации почв растением-деконцентратом (люцерна посевная (*Medicago sativa*)) или фитоэкстракции катионов металлов растением-гипераккумулятором (райграс посевной (*Lolium perenne*)).

Ключевые слова: миграция, металлы, мониторинг, урбоэкосистема, опасные соединения, почва, экологическая безопасность, загрязнение, экологический риск, токсичность, фиторемедиация.

ABSTRACT

Yakovyshyna T.F. Development of scientific bases for monitoring system improvement of hazardous compounds migration in soil of urban ecosystem. – Qualifying scientific work on the right of manuscripts.

Dissertation for obtaining a scientific degree of Doctor of Technical Sciences in specialty 21.06.01 – ecological safety. – State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine, Kyiv, 2019.

The peculiarities and regularities of the factors influence of the anthropogenic activity to the processes of the ecological danger formation in technogenically loaded urban ecosystems has been revealed due to the presence and migration of the dangerous metal compounds in contaminated urban soils as the quintessence of the scientific bases for the improving monitoring system.

It has been established that the concentration and hazard coefficients determined by the total content of the metal cations (Pb, Cd, Zn, Cu, Ni) in the soil are 2 orders of magnitude lower in contrast to the coefficients determined by the content of their migrating compounds. It should be taken into account in the monitoring system of urban ecosystem soils to prevent false management decisions in the natural and protective activities of technogenically loaded territories.

The formula for the quantifying of the soil buffering ability to the contamination of the hazardous metal compounds has been proposed as the difference between the MPC and their total content at low migration capacity in contrast to the ball assessment by V.B.II'yn.

The necessity of the taking into account the shortage and excess of the content of the metals cations in the urban ecosystems soil has been proved during the evaluation of the environmental hazard of the polyelemental contamination for the environment and health of the city population based on the established correlation coefficients and regression equations between the coefficient of the metals cations imbalance (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni), phytotoxicity of the soil and the mortality rate of children up to the 1-st year. The ecologically acceptable criterial value is substantiated < 7 for the urban ecosystem of Dnipro.

The phytoremediation technologies has been scientifically substantiated and developed to the soils of the urban ecosystems contaminated by the hazardous metal compounds, the essence of which has been the phytostabilization of soils by the proposed plant dekoncentrator (alfalfa sowing (*Medicago sativa*)), or phytoextraction of metal cations by the proposed plant – hyper accumulator (perennial ryegrass (*Lolium perenne*)).

Key words: migration, metals, monitoring, urban ecosystem, hazardous compounds, soil, ecological safety, contamination, ecological risk, toxicity, phytoremediation.