

Національна академія аграрних наук України
Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»

КРИВИЦЬКА ІВЕТТА АНАТОЛІЇВНА

УДК 631.416.8

**ДІАГНОСТИКА ТА МОНІТОРИНГ
ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ
В УРБАНІЗОВАНИХ ЛАНДШАФТАХ ПРИАЗОВ'Я**

03.00.18 – ґрунтознавство

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня кандидата
біологічних наук

Харків – 2020

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в Харківському національному університеті імені В. Н. Каразіна
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор біологічних наук, старший науковий співробітник
Мірошниченко Микола Миколайович, Національний науковий центр
«Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», заступник
директора з наукової роботи

Офіційні опоненти:

доктор біологічних наук, професор

Дмитрук Юрій Михайлович, Чернівецький національний університет імені
Ю. Федьковича, завідувач кафедри агротехнологій та ґрунтознавства

кандидат біологічних наук, доцент

Горбань Вадим Анатолійович, Дніпровський національний університет імені
О. Гончара, завідувач кафедри геоботаніки, ґрунтознавства та екології

Захист відбудеться «22» квітня 2020 р. о 10 годині на засіданні спеціалізованої
вченої ради К 64.354.02 у Національному науковому центрі «Інститут
ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського» за адресою:
вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного наукового
центру «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського»
за адресою: вул. Чайковська, 4, м. Харків, 61024

Автореферат розісланий « 20 » березня 2020 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



А. О. Ачасова

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Обґрунтування вибору теми дослідження. Збільшення народонаселення світу неминуче супроводжується розширенням площі забудованих земель, що тягне за собою поглиблення екологічних проблем, пов'язаних з якістю міського середовища. Негативні зміни в урбоекосистемах багато в чому обумовлені тим, що ґрунт в них все більше втрачає функції середовища проживання та засобу виробництва продуктів харчування, натомість слугує переважно базисом об'єктів міської інфраструктури та депонентом різноманітних забруднюючих речовин. За оцінкою експертів FAO, запечатування ґрунтів (екранування дорожніми та іншими покриттями) стає найбільш загрозливим явищем у Європі, де щорічне відчуження земель під міську територію досягло 1000 км² в останнє десятиліття ХХ століття та має тенденцію до збільшення. Стан міських ґрунтів, що залишаються незапечатаними, ускладнений забрудненням, переущільненням, порушенням цілісності ґрунтового покриву, зміною водного і сольового режиму тощо.

Відповідно до проголошених резолюцією Генеральної Асамблеї ООН від 25 вересня 2015 року № 70/1 глобальних цілей сталого розвитку до 2030 року, Указом Президента України від 30 вересня 2019 року № 722/2019 однією з цілей сталого розвитку України визнано забезпечення відкритості, безпеки, життєстійкості й екологічної стійкості міст та інших населених пунктів (п. 11). Високий рівень урбанізації та техногенне навантаження, притаманні багатьом містам України, призводять до забруднення ґрунтового покриву, погіршення екологічного стану ґрунтів та умов життєдіяльності представників ґрунтової біоти аж до їх загибелі. У зв'язку з цим оцінка небезпеки забруднення ґрунту, як правило, є складовою частиною організації екологічного моніторингу та комплексної оцінки стану навколишнього середовища міст, що наголошується у працях А. В. Алексеєнко, Ю. М. Дмитрука, Г. В. Добровольського, Е. Я. Жовинського, І. В. Кураєвої, В. Б. Ільїна, М. Н. Строганової, Г. В. Тітенко, А. І. Фатеєва, Т. В. Chen, Р. J. Craul, W. R. Effland та інших провідних учених у цій сфері.

Розташований на території Приазов'я Маріуполь є одним з найбільш забруднених українських міст, у якому сумарний обсяг викидів забруднюючих речовин до атмосфери складає за останні роки від 360 до 425 тис. т за рік, а раніше перевищував 600 тис. т за рік. Унаслідок цього у ґрунтовому покриві цього міста накопичено високий фон забруднюючих речовин, які мають значний кумулятивний ефект і з часом можуть або втрачати свою токсичність, трансформуватися під впливом природних процесів, або зберігатися, мігрувати у ландшафті та передаватися за харчовими ланцюгами, що відмічено попередніми дослідниками (С. А. Балюк та ін. (2002), Т. П. Волкова та ін. (2005), С. П. Кармазиненко та ін. (2014), М. Н. Жуков та ін. (2015)). Це актуалізує необхідність налагодження систематичних спостережень за накопиченням поллютантів у міських ґрунтах, діагностику їхньої токсичності та доцільність диференційованого підходу до організації мережі моніторингу. Через специфіку ґрунтово-кліматичних умов і надзвичайно високий рівень техногенного навантаження Маріуполь є одним з найкращих об'єктів для опрацювання системи комплексного моніторингу міських ґрунтів, яка у тому чи іншому вигляді може впроваджуватися й у інших містах України.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дослідження за темою дисертації проводили згідно з планами науково-дослідної роботи екологічного факультету Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна в рамках ПНД НААН «Родючість, охорона і раціональне використання ґрунтів» 2011–2015 рр., завдання 01.00.05.01.Ф «Розробити теоретичні засади екологічного нормування вмісту важких металів у ґрунтах як науково-інноваційної основи управління елементним складом та якістю системи ґрунт-рослини» (№ ДР 0111U002962), завдання 01.00.05.02.П «Розробити нормативи оптимального вмісту мікроелементів у ґрунтах з урахуванням вимог основних сільськогосподарських культур» (№ ДР 0111U002963), 2011–2013 рр. та ПНД НААН «Ґрунтові ресурси: прогноз розвитку, збалансоване використання та управління» 2016–2020 рр., завдання 01.02.02.02.Ф «Встановити напрями мікроелементного статусу ґрунтів України та розробити прогноз забезпеченості їх доступними формами мікроелементів» (№ ДР 0116U000593), де автор був одним з безпосередніх виконавців досліджень.

Ряд положень сформульовано за участі автора в рамках таких держбюджетних тем: «Моделювання стану компонентів довкілля для створення системи екологічного менеджменту територій різного функціонального призначення» № ДР 0115U000505 (2015-2016 рр.) (співавтор звіту) та «Мінімізація екологічних ризиків при ліквідації наслідків природних та техногенних катастроф (аварій) в системі екологічної безпеки» № ДР 0117U004873 (співавтор звіту).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – науково обґрунтувати удосконалення моніторингу забруднення важкими металами ґрунтів урбанізованих територій Приазов'я з використанням комплексу хіміко-аналітичних та біодіагностичних методів.

Для реалізації поставленої мети вирішували такі задачі:

- 1) встановити закономірності накопичення важких металів у ґрунтах урбанізованих територій Приазов'я на прикладі ґрунтового покриття міст Маріуполь та Бердянськ;
- 2) оцінити урбанізований фон важких металів на території міст та його часову динаміку;
- 3) розробити методичні підходи до кількісного визначення інтегральної фітотоксичності ґрунтів та її застосування для діагностики техногенного забруднення урбанізованих територій;
- 4) виявити особливості проявів ґрунтової фітотоксичності в міських зонах різного функціонального призначення з урахуванням рухомості важких металів та буферних властивостей ґрунтів;
- 5) удосконалити методичні підходи до проведення діагностики та моніторингу забруднення ґрунтів урбанізованих територій.

Об'єкт дослідження – техногенне забруднення важкими металами ґрунтів урбанізованих територій.

Предмет дослідження – часова і просторова динаміка вмісту важких металів у ґрунтах урбанізованих територій Приазов'я та їхній вплив на ґрунтову фітотоксичність.

Методи дослідження. Методологічною основою досліджень є просторово-часовий аналіз показників техногенного забруднення ґрунтів у межах урбанізованих територій. Для вирішення поставлених задач застосовували такі методи: польових досліджень, хіміко-аналітичні, біотестування, математико-статистичні.

Наукова новизна отриманих результатів

У дисертаційному дослідженні вперше:

- встановлено особливості формування урбанізованого фону важких металів у ґрунтовому покриві двох найбільших міст Приазов'я України;
- виявлено динаміку просторового розподілу важких металів у міських ґрунтах зон різного функціонального призначення за різного рівня техногенного навантаження;
- розроблено інтегральний кількісний показник фітотоксичності ґрунту та доведено доцільність його застосування для моніторингу земель урбанізованих територій;
- удосконалено методичні підходи до організації моніторингу забруднення ґрунтів шляхом поєднання методів хіміко-аналітичного контролю та біотестування.

Набули подальшого розвитку методи дослідження екологічного стану ґрунтового покриву в умовах урбанізованих територій та їх прикладне застосування.

Практична значимість. Методичні підходи до проведення моніторингу забруднення ґрунтів населених пунктів упроваджено у роботі Міністерства екології та природних ресурсів України для забезпечення належного функціонування і вдосконалення системи моніторингу земель та ґрунтів у рамках Національного плану дій щодо боротьби з деградацією земель та опустелюванням, затвердженого розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30.03.2016 р. № 271-р (лист № 5/4.1-16/9645-19 від 29.08.2019 р.).

Результати досліджень з удосконалення методів біотестування впроваджено у практику роботи лабораторії біологічних досліджень та біотестування НДУ «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» та комунального підприємства «Регіональний центр природних ресурсів та екології» Харківської обласної Ради при визначенні фітотоксичності ґрунтів урбанізованих територій.

Одержані фактичні матеріали з оцінки техногенного забруднення ґрунтів та розроблені методи їх біотестування включено у навчальний процес з викладання дисциплін екологічного спрямування Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна та Харківського національного педагогічного університету імені Г. С. Сковороди.

Особистий внесок здобувача. Здобувачем особисто опрацьовано наукові публікації за темою дисертаційного дослідження та зроблено їх узагальнення, сформовано репрезентативну вибірку проб ґрунтів та підготовлено їх до хіміко-аналітичного визначення важких металів, проведено аналітичні дослідження з біотестування забруднення, узагальнено експериментальний матеріал та проведено статистичний аналіз отриманих даних, сформульовано висновки та рекомендації виробництву. Зі спільних наукових публікацій у дисертаційній роботі автором

використано тільки власні ідеї та первинні результати експериментальних та польових досліджень.

Апробація матеріалів дисертації. Результати досліджень та основні положення дисертаційної роботи доповідалися та обговорювалися на науково-практичній конференції з міжнародною участю «Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини» (м. Київ, 12 березня, 2019), XIV Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 16 квітня, 2018), Генеральній асамблеї Європейського Союзу геонаук (м. Відень, 23-28 квітня, 2017), XX Міжнародній науково-практичній конференції, присвяченій 10-річчю створення екологічного факультету ХНУ імені В. Н. Каразіна (м. Харків, 19-22 квітня, 2017), XIII Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 19-20 квітня, 2017), XI Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (м. Харків, 16-17 квітня, 2015), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми екологічної безпеки» (м. Кременчук, 8-9 жовтня, 2014), X Всеукраїнських наукових Таліївських читаннях (17-18 квітня, 2014), V Всеукраїнській науково-практичній конференції «Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України» (м. Запоріжжя, 10–11 грудня, 2009).

Публікації. Основні теоретичні положення та результати досліджень за темою дисертації опубліковано у 34 наукових працях, з них: у фахових виданнях всього – 7, з них у фахових виданнях України – 6, інших країн – 1; наукових праць, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації – 17; наукових праць, які додатково відображають результати дисертації, – 10, з них патентів – 1.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел зі 205 найменувань, з яких 48 латиницею, та додатків. Робота містить 31 рисунок, 29 таблиць. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 187 сторінок, із них основного тексту 121 сторінка.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДІАГНОСТИКИ ТА МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ (огляд літератури)

Ґрунтовий покрив міст знаходиться під сукупним впливом газопилових викидів промислових підприємств, автотранспорту, об'єктів теплоенергетики, житлово-комунальної сфери, ореоли яких перекриваються складним і подекуди непередбачуваним чином. Серед забруднюючих речовин одне з чільних місць належить важким металам, просторовий розподіл яких залежить від функціональної структури міста, рельєфу, рослинності, буферності ґрунтів (Ильин, 1997; Фатеев, Пащенко, 2001; Ситіна, 2010; Arora et al., 2015). Процеси акумуляції та розсіювання важких металів у ґрунтовому покриві відбуваються дуже повільно, тому в організації моніторингу забруднення ґрунтів виникла низка невирішених методичних проблем (Добровольський, 1999; Дмитрук, 2012; Тітенко, 2015).

Насамперед ефективний моніторинг важких металів у великих промислових містах унеможливлений через недостатність відомостей про фоновий вміст важких металів та поліелементний характер забруднення (Сердюк, 2007; Алексеенко,

Алексеенко, 2013). Окрім того, в дослідженнях забруднення урбанізованих територій необхідно враховувати природну та антропогенну неоднорідність ґрунтового покриву, розташування у геохімічному ландшафті, функціональне призначення території та стійкість ґрунтів до забруднення (Тютюнник, 1998; Galuškova et al., 2011; Скок, 2018). Для адекватної оцінки рівня забруднення ґрунтів недостатньо хіміко-діагностичних методів, якими не враховується сукупна дія полікомпонентних забруднюючих речовин. Водночас біодіагностичні методи дозволяють врахувати складні взаємовідносини між ґрунтом, забрудненням та живими організмами (Вальков та ін., 1986; Cheung, 1989; Бортнік, 1999; Гуральчук, 2006; Гришко та ін., 2012; Бардина та ін., 2013; Pusz, Wiśniewska, 2017).

Отже, діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах є складним науково-практичним завданням, розв'язання якого потребує комплексного підходу із залученням ґрунтознавчих, геохімічних, біодіагностичних та статистичних методів.

ОБ'ЄКТИ, МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Дослідження за темою дисертаційної роботи проводили в межах приморської (південної) частини Приазовської похилої розчленованої акумулятивно-денудованої рівнини та берегової смуги узбережжя Азовського моря, долин нижньої течії річок Берда і Кальміус. Ареал досліджень охоплював сучасну територію міст Бердянськ і Маріуполь та приміську зону віддаленістю до 15–20 км від меж цих міст.

Досліджувана територія охоплює ареал поширення чорноземів звичайних та, частково, чорноземів південних малогумусних на лесових породах. За гранулометричним складом ці ґрунти належать до пилюватих важких суглинків та легких глин (вміст фізичної глини 50–66 %, мулу – 28–41 %). Вміст гумусу у верхньому горизонті становить 3,8–4,7 %, актуальна кислотність (pH_{H_2O}) коливається від 7,2 до pH 8,0.

Окрім зональних автоморфних ґрунтів, в дослідженнях вивчали алювіальні лучні та лучно-болотні ґрунти легко- та середньосуглинкового гранулометричного складу, що сформувалися на алювіальних та делювіальних відкладах річкових заплав та прибережної смуги, а у приморській частині міст – дернові нерозвинені ґрунти піщаного, глинисто-піщаного та супіщаного гранулометричного складу на алювіальних відкладах, у комплексі з перевідкладеними пісками.

Дослідження ґрунтів міст проводилося за нерегулярною мережею, щільність якої визначалася необхідною деталізацією вивчення внутрішньої структури техногенних ареалів і функціональною значущістю території.

Для отримання репрезентативного ґрунтового матеріалу застосовували метод змішаних зразків, відібраних з пробних площадок, які мали площу не менше 2500 м². Конфігурація пробних площадок визначалася рельєфом і особливостями планування міської території. На землях рекреаційного призначення та поза межами міста змішана проба складалась з 10-12 індивідуальних проб, у селитебній і промисловій зоні – 18-20 проб. Глибина відбору проб ґрунту на пробних площадках складала 0-20 см. У ґрунтових розрізах, що закладалися на окремих площадках, проби ґрунту відбирали з глибин 0-20, 20-50(48), 50(48)-70(75) та 70(75)-100 см, що

відповідало грубизні гумусово-акумулятивного та перехідних горизонтів фонового чорнозему звичайного. Техніка відбирання проб ґрунту відповідала вимогам ГОСТ 17.4.3.01-83 та ГОСТ 17.4.4.02-84. За наявності на пробній площадці злакової трав'янистої рослинності відбирали проби її надземної частини, зрізаючи на висоті 3-5 см від поверхні.

Вміст рухомих форм важких металів у ґрунті визначали методом атомно-абсорбційної спектрометрії після екстрагування ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8, а міцнозв'язаних форм – після екстрагування 1 н НСІ. Вміст загального вуглецю у ґрунті визначали за ДСТУ 4289:2004, рН і катіонно-аніонний склад водної витяжки – за ГОСТ 26423-85 – ГОСТ 26428-85, рухомі форми фосфору та калію за Мачигінім – за ДСТУ 4114:2002. Визначення вмісту важких металів у рослинних зразках проводили шляхом озолення рослин та подальшого екстрагування 1 н НСІ. Вимірювання вмісту важких металів в одержаних витяжках проводили на атомно-абсорбційному спектрофотометрі Сатурн. Усі аналітичні роботи проведено в атестованій лабораторії інструментальних методів дослідження ННЦ «ІА імені О. Н. Соколовського».

Фітотоксичність визначали у водних витяжках (1:1) з ґрунту з використанням попередньо підготовленого ($t^0=27^{\circ}\text{C}$, 24-годинна експозиція) насіння тест-культур кукурудзи (*Zea mays*) та редьки посівної (*Raphanus sativus*). Після витримування насіння на зволоженому водною витяжкою фільтрувальному папері за температури 25°C протягом 72 годин визначали тест-реакцію. Критерієм токсичності було зниження довжини проростків і коренів рослин за наступні 96 годин порівняно із контролем (зволоження дистильованою водою).

Статистичну обробку даних проводили методами дисперсійного, регресійного та кластерного аналізу з використанням програмних засобів Statistica.

ДІАГНОСТИКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ ЗА МЕТОДАМИ ХІМІКО-АНАЛІТИЧНОГО КОНТРОЛЮ

Особливістю чорноземів звичайних у районі досліджень є високий загальний вміст важких металів, обумовлений як вихідним їх вмістом у ґрунтоутворюючих породах, так і їхньою низькою рухомістю, спричиненою карбонатністю ґрунтів і їх слабо лужною та лужною реакцією середовища. Узагальнення даних про вміст рухомих форм важких металів у ґрунтах приміської зони міст Бердянськ і Маріуполь, одержаних під час дисертаційного дослідження та раніше, показує, що ґрунти в районі Маріуполя збагачені рухомими формами нікелю, свинцю та міді, а в районі Бердянська – заліза та марганцю. Розраховано параметри фонового вмісту рухомих форм (мг/кг) Zn – $0,81\pm 0,11$, Cd – $0,19\pm 0,02$ мг/кг, Ni – $1,48\pm 0,59$ мг/кг, Co – $1,37\pm 0,23$, Fe – $2,53\pm 0,31$, Mn – $10,7\pm 3,8$, Pb – $1,87\pm 0,72$, Cu – $0,45\pm 0,13$. Згідно з даними агрогеохімічного районування, вміст Zn, Co і Fe є вищим, а Mn – нижчим, ніж у середньому у ґрунтах степу України.

На території міст середній вміст важких металів у ґрунтах є істотно вищим порівняно з приміською територією, а через наявність локальних осередків («гарячих плям») з аномально високим забрудненням статистичний розподіл даних здебільше має логнормальний характер. Зокрема розрив між мінімальним та

максимальним значеннями вмісту Pb, Mn, Cu, Cd, Ni, Fe, Co для ґрунтів території м. Маріуполь сягає двох математичних порядків, а Zn – трьох порядків.

Для характеристики ґрунтово-геохімічних умов урбанізованих територій нами запропоновано визначати їхній геохімічний фон, названий нами урбанізованим, як середнє геометричне значення вмісту важких металів. Це дозволяє порівнювати рівень забруднення різних міст між собою. За такого методичного підходу, урбанізований фон рухомих форм важких металів у міських ґрунтах Маріуполя складає (мг/кг): Zn – 5,2, Cd – 0,28, Ni – 2,50, Co – 2,08, Fe – 5,5, Mn – 23,1, Pb – 8,7, Cu – 0,77, Cr – 0,71. У міських ґрунтах Бердянська фон становить (мг/кг): Zn – 3,3, Cd – 0,12, Ni – 0,91, Co – 1,04, Fe – 2,2, Mn – 16,7, Pb – 4,5, Cu – 0,62, Cr – 0,85.

Формула урбанізованого фону ґрунтів Маріуполя за відносним перевищенням природного фону матиме вид $Zn_{6,3}Pb_{4,1}Mn_{2,6}Fe_{2,3}Cu_{2,0}Co_{1,6}Cd_{1,5}Ni_{1,4}$, а Бердянська – $Zn_{4,1}Pb_{2,8}Mn_{1,3}Cu_{1,2}Cd_{1,2}Ni_{1,2}Fe_{1,1}Co_1$, що демонструє значно нижчий вміст усіх важких металів. Це є прямим наслідком набагато вищого атмотехнохімічного навантаження на урболандшафти Маріуполя від промисловості та транспорту цього міста.

Ґрунтовий покрив міст Бердянськ і Маріуполь представлений ґрунтами, які істотно розрізняються за буферністю до забруднення важкими металами, основною причиною чого є різниця гранулометричного складу. За індексом насиченості (Дмитрук, 2006), дерновий ґрунт на давньоалювіальних морських відкладах є дуже мало насиченим важкими металами через схильність до «скидання» їх у підґрунтові води унаслідок малої вбирної здатності. Навпаки, чорнозем звичайний легкоглинистий добре акумулює важкі метали, але за невисокого рівня надходження класифікується як середньонасичений у верхньому шарі та слабконасичений – у нижньому. За значного рівня техногенного навантаження чорнозем звичайний стає дуже сильно насиченим в усьому профілі, що суттєво підвищує небезпеку низхідної міграції забруднюючих речовин до підґрунтових вод.

Для здійснення моніторингу забруднення ґрунтів Бердянська і Маріуполя було сформовано мережу моніторингових площадок (по 30 в кожному місті), розподілену між культурно-адміністративними, селітебними та рекреаційними функціональними зонами.

Порівняння даних вимірювань на площадках моніторингу ґрунтів у Бердянську в 2012 р. та 2007 р. показує, що вміст більшості важких металів у ґрунтах міста мав тенденцію до зростання, причому середньозважений вміст рухомих форм Cr, Cu, Fe збільшився на 20 %, а Zn – на 40 %. У промислових зонах відбувалося поступове зниження рівня забруднення ґрунтів, а в зонах житлової забудови, культурно-адміністративних місцях і, особливо, об'єктах рекреації – накопичення важких металів (рис. 1). Таку динаміку ми пов'язуємо із поступовим розсіюванням важких металів з міст їх техногенного накопичення у минулі роки. Ймовірно, така динаміка пояснюється усе більшою переорієнтацією міста з промислово-курортної на курортно-оздоровчу діяльність, що веде до зменшення техногенного навантаження. Внаслідок цього зменшується вміст у ґрунтах таких важких металів, як кадмій, хром і нікель; водночас спостерігається тенденція до накопичення біогенних елементів (цинк, мідь, марганець).

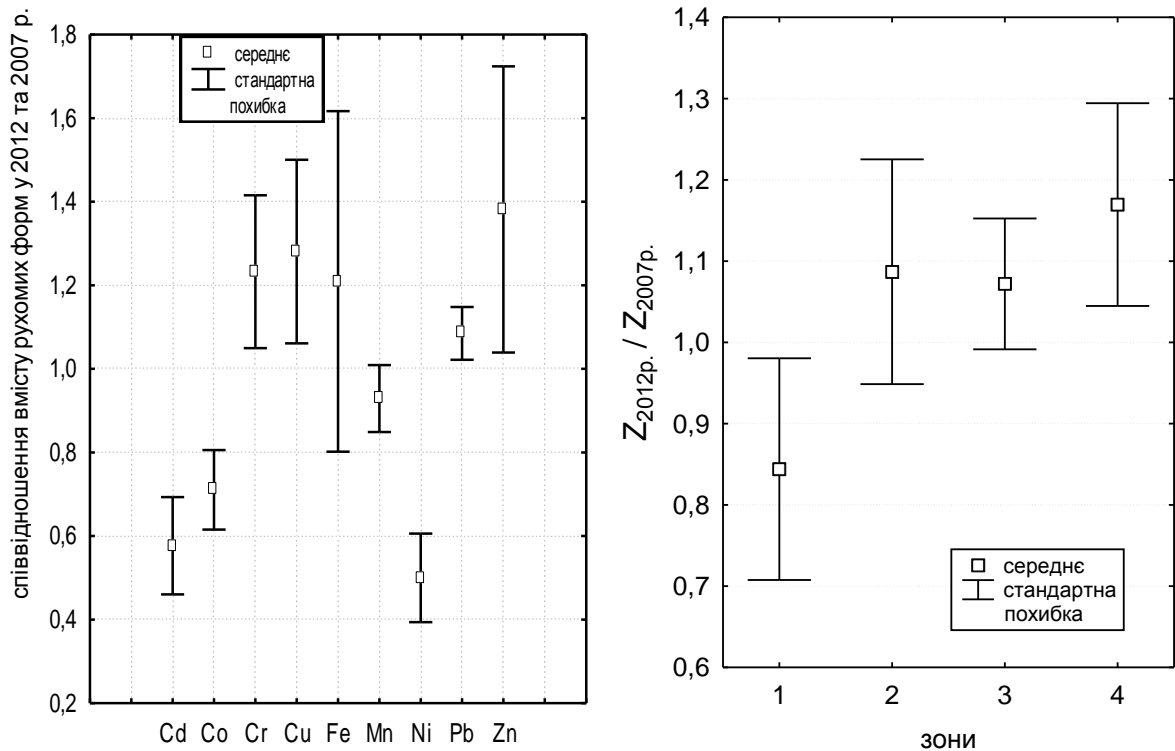


Рис. 1. Відношення вмісту рухомих форм важких металів у ґрунтах Бердянська у 2012 р. до 2007 р.: ліворуч – за окремими елементами, праворуч – за сумарним показником забруднення у зонах різного функціонального призначення (1 – промислова, 2 – селітебна, 3 – культурно-адміністративна, 4 – рекреаційна)

Порівняння даних вимірювань на площадках моніторингу ґрунтів у Маріуполі у 2013 р. та 2008 р. показує, що рівень вмісту рухомих форм більшості елементів у 2013 р. значно знизився, що ми пов'язуємо з підлуженням ґрунтів (рис. 2). Середній рівень рН водної витяжки збільшився з 7,9 (діапазон коливань 7,8-8,1) у 2008 році до 8,7 (діапазон коливань 8,4-9,3) у 2013 році, що збігається з даними інших дослідників (Глазовская, 1997; Тітенко, 2002; Шеховцева, 2016) про вплив аеротехногенного пилу на реакцію ґрунтів. Очевидно, що в такому лужному середовищі рухомість катіоногенних важких металів різко впала.

Накопичення та розсіювання важких металів, в цілому, за зонами різного функціонального призначення в Маріуполі має іншу тенденцію, ніж у Бердянську. У зв'язку з інтенсивною діяльністю підприємств чорної металургії та інших джерел емісії важких металів на землях промисловості, в житлових кварталах і парках міста рівень сумарного забруднення збільшився на 8–18 %. У першу чергу це спричинено накопиченням цинку, марганцю і свинцю, вміст рухомих форм яких у ґрунтах окремих майданчиків перевищує гранично-допустимий рівень.

Як встановлено нашими дослідженнями, наслідки техногенезу для ґрунтового покриву простежуються вже за п'ятирічний період, причому може спостерігатися як концентрація важких металів, так і їх розсіювання.

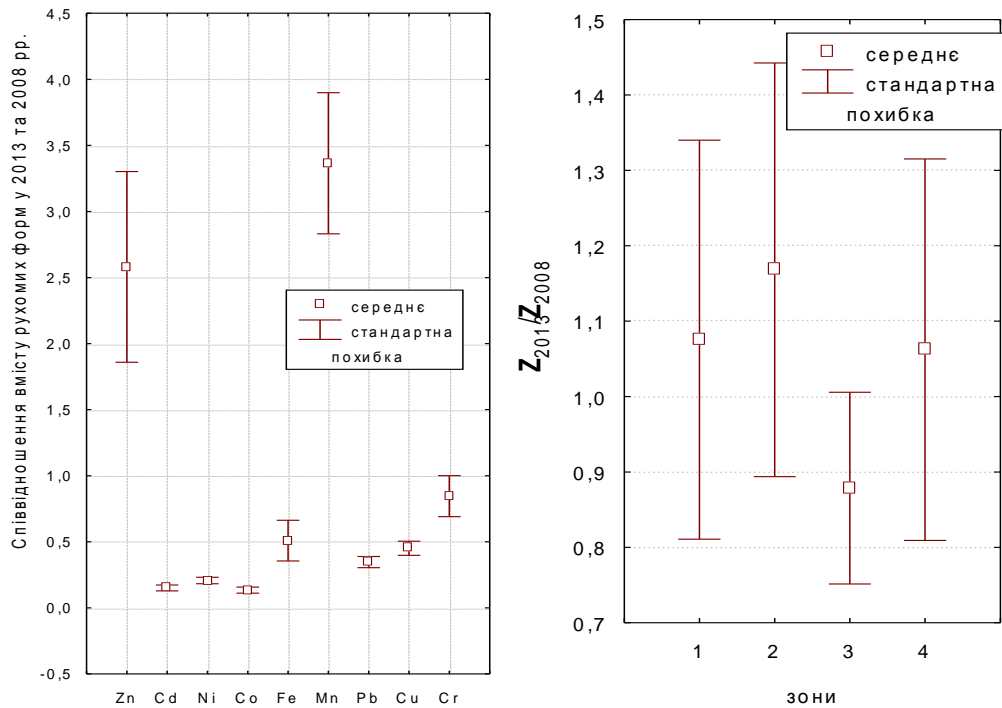


Рис. 2. Відношення вмісту рухомих форм важких металів у ґрунтах Маріуполя у 2013 р. до 2008 р.: ліворуч – за окремими елементами, праворуч – за сумарним показником забруднення в зонах різного функціонального призначення (1 – промислова, 2 – селітебна, 3 – культурно-адміністративна, 4 – рекреаційна)

ДІАГНОСТИКА ЗАБРУДНЕННЯ ҐРУНТІВ ВАЖКИМИ МЕТАЛАМИ МЕТОДОМ БІОТЕСТУВАННЯ

Незважаючи на великі перспективи у застосуванні біотестування, далеко не всі його методи мають належну методичну базу. Зокрема оцінювання забруднення ґрунтів за допомогою тест-рослин (біотестування) опрацьоване недостатньо і потребує методичного удосконалення як у частині вимірювань, так і щодо оцінки результатів. Нами пропонується наукове обґрунтування нового методичного підходу до біотестування ґрунтів.

У зв'язку із некоректністю визначення фітотоксичності ґрунту за однією культурою, але дотримання принципу мінімально необхідної їх кількості, пропонується використовувати не менше двох тест-культур одночасно. Зокрема у наших дослідженнях ми використали кукурудзу *Zea mays L.* як представника однодольних злаків та редьку *Raphanus sativus L.* як представника дводольних широколистяних рослин. Обидва види чутливі до забруднення важкими металами, тому їх поєднання у тестуванні забезпечує надійнішу оцінку фітотоксичності, ніж тільки одного з них. Вимірювання доцільно проводити за довжиною і коренів, і паростків, а фітотоксичність визначати за найбільшою негативною дією, тобто за принципом обмежувального чинника.

На основі 150 вимірювальних експериментів з кількісного оцінювання фітотоксичності міських ґрунтів упродовж 2015–2016 рр. визначено градації ранжування ступенів забрудненості ґрунтів відповідно до рівнів пригнічення

ростових процесів та запропоновано кількісну характеристику ступеня забрудненості — коефіцієнт забрудненості ґрунтів $K_{зг}$ (табл. 1).

Таблиця 1

Градації ступенів забрудненості ґрунтів за рівнем пригнічення ростових процесів у тест-культурах

Ступінь забруднення	Фітотоксичний ефект, %	Коефіцієнт забрудненості $K_{зг}$
Незабруднені	0-20,0	1,1
Слабко забруднені	20,1-40,0	1,2
Помірно забруднені	40,1-60,0	1,3
Сильно забруднені	60,1-80,0	1,4
Дуже сильно забруднені	80,1-100,0	1,5

Враховуючи специфічність реакції рослин на присутність окремих речовин, що може призводити до дисбалансу ростових процесів та порушення варіаційної кривої, пропонується визначати ступінь дисбалансу росту шляхом введення відповідного коефіцієнта дисбалансу росту $K^{др}$ (табл. 2). Параметри цих коефіцієнтів визначено на підставі статистичного аналізу усієї вибірки даних вищезазначених експериментів, узявши до уваги, що за слабого ступеня дисбалансу росту враховувати його мало сенсу, а за дуже високого ступеня було б логічним наблизити загальну оцінку фітотоксичності до наступної градації $K_{зг}$.

Таблиця 2

Градації ступенів дисбалансу ростових процесів

Ступінь дисбалансу росту	Коефіцієнт варіації пригнічення росту коренів та паростків, %	Коефіцієнт дисбалансу росту $K_{др}$
Відсутній	0-50,0	0
Слабкий	50,1-100,0	0,02
Помірний	100,1-300,0	0,04
Сильний	300,1-1000,0	0,06
Дуже сильний	понад 1000,1	0,08

Підсумкове узагальнення пропонуємо здійснювати шляхом розрахунку сумарного показника фітотоксичності Z_f згідно з формулою (1), а саме:

$$Z_f = \sqrt[n]{(K_1^{зг} + K_1^{др}) \times (K_2^{зг} + K_2^{др}) \times \dots \times (K_n^{зг} + K_n^{др})}, \quad n \geq 2; \quad (1)$$

де $K^{зг}$ – коефіцієнт забрудненості згідно з табл. 1,

$K^{др}$ – коефіцієнт дисбалансу росту згідно з табл. 2,

n – кількість тест-культур для біодіагностики.

Запропонований алгоритм розрахунку Z_f є дуже близьким до відомого сумарного показника забруднення Z_c , що широко використовується для оцінки забруднення за даними хіміко-аналітичних досліджень. Поряд з цим, сумарний показник фітотоксичності позбавлений таких вад Z_c , як необхідність визначення дуже широкого переліку хімічних речовин, встановлення їх фонових концентрацій, врахування буферної дії ґрунтів тощо. Запропоновані градації Z_f наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Ступені загальної фітотоксичності ґрунтів за сумарним показником Z_f

Ступінь фітотоксичності ґрунту	Сумарний показник фітотоксичності Z_f
Дуже слабкий	1,11-1,15
Слабкий	1,16-1,25
Помірний	1,26-1,35
Сильний	1,36-1,45
Дуже сильний	понад 1,46

Перевірку розробленого методичного підходу дослідження фітотоксичності ґрунтів проводили у селітебних та рекреаційних зонах міста Маріуполь, які мали вищий рівень техногенного навантаження порівняно із Бердянськом. Виявилось, що у ряді випадків результати біотестування ґрунтів за допомогою *Zea mays* L. та *Raphanus sativus* L. є розбіжними, а на трьох об'єктах спостерігався дисбаланс росту, що підтверджує правильність обрання нами комплексного підходу. Загалом з 16 площадок у селітебних зонах міста (вулиці Азовстальська, Київська, Нижні Аджахи, Бахчиванджи та Новотрубна) було встановлено помірний ступінь забрудненості ґрунтів, а решта площадок класифіковані як слабо та дуже слабо забруднені (табл. 4).

Таблиця 4

Загальна оцінка забруднення ґрунтів селітебних зон міста Маріуполь за даними біотестування

Райони міста	Місця відбирання проб ґрунту	$K^{ЗГ} + K^{ДР}$		Сумарний показник Z_f	Ступінь загальної фітотоксичності
		<i>Zea mays</i>	<i>Raphanus sativus</i>		
Лівобережний	Вул. Азовстальська	1,40	1,20	1,30	помірний
	Пр. Ленінградський	1,16	1,10	1,13	дуже слабкий
	Вул. Київська	1,50	1,20	1,34	помірний
	Вул. Олімпійська	1,40	1,10	1,24	слабкий
Центральний	Вул. 9-ї Авіадивізії	1,10	1,20	1,15	дуже слабкий
	Вул. Грушевського	1,20	1,20	1,20	слабкий
	Вул. Нижні Аджахи	1,30	1,30	1,30	помірний
	ул. Нахімова	1,14	1,20	1,17	слабкий
Приморський	Вул. Бахчиванджи	1,32	1,20	1,26	помірний
	Вул. Лавицького	1,30	1,20	1,25	слабкий
	Вул. Маріупольська	1,20	1,24	1,22	слабкий
	Сел. Іллічівське	1,14	1,30	1,22	слабкий
	Приморський бульв.	1,30	1,20	1,25	слабкий
Кальміуський	Пр. Гурова	1,20	1,30	1,25	слабкий
	Вул. Новотрубна	1,30	1,30	1,30	помірний
	Вул. Шишова	1,12	1,24	1,18	слабкий

З 15 площадок, розміщених у рекреаційних зонах міста, на 6 об'єктах більше пригнічувалася редька, а на 3 – кукурудза (табл. 5). На ділянках, розташованих у

парку «Азовсталь», дитячому парку «Веселка», міському парку, Приморському парку, санаторії «Чайка» та Лугопарку, оцінка фітотоксичності за обома тест-культурами збіглася повністю. Загалом за результатами біотестування лише на території дитячого парку «Веселка» можна впевнено стверджувати про відсутність забруднення ґрунтів у концентраціях, що позначаються на розвитку вищих рослин. Найгірша ситуація із загальною фітотоксичністю виявлена у зеленій зоні центральної площі, скверу «Приморський» та парку ім. Гурова. Саме на цих об'єктах у першу чергу необхідно впроваджувати заходи з детоксикації ґрунтів для збереження належного стану зелених насаджень.

Таблиця 5

**Загальна оцінка забруднення ґрунтів рекреаційних зон міста Маріуполь
за даними біотестування**

Райони міста	Місця відбирання проб ґрунту	K ^{зг} + K ^{дп}		Сумарний показник Z _f	Ступінь загальної фітотоксичності
		<i>Zea mays</i>	<i>Raphanus sativus</i>		
Лівобережний	парк Лепорського	1,12	1,28	1,20	слабкий
	парк «Азовсталь»	1,20	1,20	1,20	слабкий
	парк «Веселка»	1,10	1,10	1,10	немає
Центральний	парк Петровського	1,12	1,16	1,14	дуже слабкий
	міський сад	1,14	1,14	1,14	дуже слабкий
	центральна площа	1,22	1,30	1,26	помірний
	бульвар Шевченка	1,10	1,20	1,15	дуже слабкий
	проспект Миру	1,14	1,30	1,22	слабкий
	сквер «Лукомор'я»	1,22	1,10	1,16	слабкий
	театральний сквер	1,14	1,10	1,12	дуже слабкий
Приморський	скв. Приморський	1,32	1,22	1,27	помірний
	приморський парк	1,12	1,12	1,12	дуже слабкий
	санаторій «Чайка»	1,14	1,14	1,14	дуже слабкий
Кальміуський	парк культури ім. Гурова	1,22	1,32	1,27	помірний
	лугопарк	1,20	1,20	1,20	слабкий

**ОРГАНІЗАЦІЯ КОМПЛЕКСНОГО МОНІТОРИНГУ ЗАБРУДНЕННЯ
ҐРУНТІВ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ**

Для перевірки гіпотези про перевагу комплексного підходу до організації моніторингу шляхом суміщення хіміко-аналітичних методів і методів біодіагностики було сформовано вибірку з 13 моніторингових площадок на території міста Маріуполь, яка характеризується значною варіабельністю основних властивостей ґрунтів та рівнем їх забруднення.

Кореляційний аналіз результатів вимірювань фітотоксичного ефекту на обраних тест-культурах показав найбільш тісний зв'язок (статистично значущий з $\alpha=0,05$) із рухомими формами Mn ($r=0,52-0,76$), Ni ($r=0,52-0,65$), Pb ($r=0,52-0,72$), Zn ($r=0,52-0,64$). За сукупністю результатів хіміко-аналітичної діагностики та

біотестування, негативний вплив техногенного забруднення найбільше проявляється навколо комбінату «Азовсталь», де внаслідок високого вмісту, в першу чергу, рухомих сполук цинку та марганцю в ґрунті майже вдвічі (на 40-50 %) уповільнюються ростові процеси вищих рослин. Найменше ознаки техногенного забруднення виявлено на штучних газонах у центральній частині міста (Приморський бульвар, міський сад, парк ім. Петровського), де ґрунт завозили зовні для забезпечення належної щільності трав'яного покриву. На інших площадках як поблизу промислових підприємств, так і на території міської забудови спостерігався фітотоксичний ефект на рівні 30 % пригнічення ростових процесів.

Проведений порівняльний аналіз свідчить, що запропонований показник фітотоксичності об'єктивно відображає рівень техногенного забруднення на моніторингових площадках. Порівняно з ним, розраховані сумарні показники забруднення хоча і є досить близькими ($r=0,55-0,69$), але не дозволяють надійно прогнозувати реакцію вищих рослин. Наприклад, у районі житлової забудови фітотоксичність присутня за $Z=1,0$, а у парку Петровського, навпаки, за більше ніж триразового перевищення фонового вмісту важких металів ($Z_{\text{фон}} = 3,9$) спостерігалася стимуляція росту рослини (табл. 6). Окрім того, на окремих площадках виявлено накопичення водорозчинних солей хлористого калію (комбінат ім. Ілліча) або аномальне підвищення рН до 9,25-9,3 (поблизу комбінату «Азовсталь» та заводу «Азовмаш»), що також впливає на ріст та розвиток рослин, проте не враховується сумарними геохімічними показниками.

Таблиця 6

Оцінка рівня забруднення ґрунтів м. Маріуполь за результатами фітотестування та сумарними геохімічними показниками

Місцезнаходження площадок спостережень	Сумарний показник фітотоксичності Z_f	Сумарний показник забруднення Z	
		відносно фону	відносно ГДК
Вул. 9-ї авіадивізії	1,15	3,1	1,7
Комбінат Азовсталь	1,30	8,1	2,4
Комбінат ім. Ілліча	1,22	3,6	1,7
Завод «Азовмаш»	1,30	6,9	2,3
Вул. Лавицького	1,25	6,5	2,2
Вул. Бахчиванджи	1,26	6,8	2,9
Проспект Гурова	1,25	2,1	1,3
Житлова забудова	1,20	1,0	1,0
Парк Лепорського	1,20	6,6	2,3
Парк Петровського	1,14	3,9	1,0
Приморський парк	1,12	1,0	1,0
Міський сад	1,14	1,6	1,6
Вул. Маріупольська	1,22	3,0	1,9

Очевидно, що для ґрунтів міських урболандшафтів, які знаходяться під сукупною дією різних полютантів, недостатньо оцінювати рівень забруднення

тільки за перевищенням вмісту важких металів, а необхідно або значно розширювати перелік хімічних речовин, які контролюються, або долучати для моніторингу методи біодіагностики. На нашу думку, останнє є реалістичнішим та економічно обґрунтованішим.

Спостереження під час виконання дисертаційного дослідження показують, що через численні чинники впливу, кількість яких у межах урбанізованих територій вища, ніж на прилеглих до них землях, краще зрідка проводити моніторинг ґрунтів за розширеною мережею, ніж щорічні вимірювання декількох індикаторів на обмеженій кількості ділянок. Періодичність моніторингу має бути диференційованою: спостереження за найбільш динамічними показниками (фітотоксичність, рН, вміст водорозчинних солей та рухомих форм пріоритетних забруднюючих речовин, визначених під час базового обстеження) доцільно проводити раз на п'ять років, а за усім переліком показників моніторингу – раз на десять років. Поєднання ґрунтової та рослинної діагностики забруднення сприятиме більшій об'єктивності моніторингу ґрунтів урбанізованих територій та провадженню своєчасних запобіжних заходів.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі представлено теоретичне обґрунтування нового вирішення наукової задачі діагностики забруднення ґрунтів важкими металами та удосконалення моніторингу ґрунтів урбанізованих територій Приазов'я України на прикладі міст Маріуполь та Бердянськ, що дозволило сформулювати такі висновки:

1. Регіональна специфіка мікроелементного складу ґрунтів на території Приазовської рівнини обумовлена карбонатністю профілю і слабо лужною реакцією середовища, з одного боку, та природною збагаченістю приморських геохімічних ландшафтів і впливом техногенної емісії важких металів – з іншого. Для автоморфних ґрунтів на лесових відкладах Приазов'я встановлено фоновий вміст рухомих форм важких металів (мг/кг): Zn – $0,81 \pm 0,11$, Cd – $0,19 \pm 0,02$, Ni – $1,48 \pm 0,59$, Co – $1,37 \pm 0,23$, Fe – $2,53 \pm 0,31$, Mn – $10,7 \pm 3,8$, Pb – $1,87 \pm 0,72$, Cu – $0,45 \pm 0,13$. Максимум рухомих і потенційно доступних (міцнозв'язаних) форм важких металів спостерігається у верхній частині профілю, а також в горизонтах акумуляції карбонатів.

2. У структурі ґрунтового покриву підвищеної частини Бердянська та Маріуполя переважають чорноземи звичайні малогумусні в комплексі зі слабо солончакуватими різновидами, які здатні акумулювати значну кількість важких металів у профілі. У низинній частині переважають дернові малорозвинені ґрунти піщаного, глинисто-піщаного і супіщаного складу в комплексі зі слабогумусованими пісками, в яких вміст важких металів низький через схильність до «скидання» їх у підґрунті води вже за слабого забруднення. Через це першочергового захисту від техногенного забруднення потребують малобуферні ґрунти низинної частини міст.

3. Виявлено, що статистичний розподіл вмісту важких металів у ґрунтах території досліджень відрізняється від нормального та має здебільше логнормальний характер, що спричинено техногенними аномаліями.

Для характеристики рівня техногенного забруднення на території міст запропоновано розраховувати урбанізований фон як середнє геометричне значення вмісту рухомих форм важких металів у верхньому шарі ґрунтів. Для ґрунтів Маріуполя урбанізований фон рухомих форм важких металів складає (мг/кг): Zn – 5,2, Cd – 0,28, Ni – 2,50, Co – 2,08, Fe – 5,5, Mn – 23,1, Pb – 8,7, Cu – 0,77, Cr – 0,71. Для ґрунтів Бердянська урбанізований фон рухомих форм важких металів дорівнює (мг/кг): Zn – 3,3, Cd – 0,12, Ni – 0,91, Co – 1,04, Fe – 2,2, Mn – 16,7, Pb – 4,5, Cu – 0,62, Cr – 0,85.

4. Запропоновано репрезентативну мережу моніторингових ділянок на території Бердянська та Маріуполя, яка представлена землями різного функціонального призначення, ґрунтами різної буферності та ступеня техногенного забруднення. Встановлено, що наслідки господарської діяльності виявляються у стані ґрунтів цих міст за п'ятирічний період, причому може спостерігатися як концентрація важких металів, так і їх розсіювання. У зв'язку з інтенсивною діяльністю підприємств чорної металургії та інших джерел емісії важких металів у Маріуполі на землях промисловості, в житлових кварталах і парках міста рівень сумарного забруднення збільшився на 8–18 %, причому інтенсивніше акумулюються рухомі форми цинку, марганцю і свинцю, вміст яких на окремих майданчиках перевищує гранично-допустимий рівень. У промислових зонах Бердянська відбувається поступове зниження рівня забруднення ґрунтів, а в зонах житлової забудови, культурно-адміністративних місцях і, особливо, об'єктах рекреації – їх накопичення.

5. Підвищена фітотоксичність ґрунтів урболандшафтів Маріуполя може пояснюватися як накопиченням окремих важких металів (Mn, Zn, Ni, Pb, Cr), так і впливом мінеральних солей та інших речовин при підвищенні рН ґрунту до 9,2-9,3. Тому для ґрунтів урбанізованих територій, що знаходяться під сукупною дією різних забруднювачів, недостатньо оцінювати рівень забруднення тільки за значеннями перевищення вмісту важких металів, але необхідно поєднувати методи хіміко-аналітичних досліджень із методами біодіагностики, зокрема біотестування. Це збільшує об'єктивність діагностування забруднення, забезпечує інтегральну оцінку його впливу на рослини та підвищує рівень надійності моніторингу ґрунтів урбанізованих територій.

6. На більшості моніторингових площадок поблизу промислових підприємств та на території міської забудови спостерігається фітотоксичний ефект щодо тестових культур кукурудзи *Zea mays L.* та редьки посівної *Raphanus sativus L.* на рівні 30 % пригнічення ростових процесів. Найбільше негативний вплив техногенного забруднення на тест-культури проявився навколо комбінату «Азовсталь», де внаслідок накопичення рухомих сполук цинку та марганцю у ґрунті ростові процеси досліджуваних рослин уповільнюються майже вдвічі (на 40-50 %).

7. Використання для біотестування двох тест-культур забезпечує надійнішу оцінку фітотоксичності, ніж тільки однієї з них. У зв'язку із можливим дисбалансом ростових процесів на ранніх стадіях розвитку рослин під впливом забруднення, що виражається у порушенні співвідношення коренів та паростків, у загальній оцінці фітотоксичності ґрунту необхідно враховувати ступінь дисбалансу росту.

Для оцінки небезпеки забруднення ґрунтів важкими металами доцільно використовувати показник «ступінь забрудненості ґрунтів» у відповідності до визначених рівнів пригнічення ростових процесів, кількісна характеристика якого виражається коефіцієнтом забрудненості ґрунтів ($K_{3г}$).

РЕКОМЕНДАЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

1. Територіальним органам Держгеокадастру України, Міністерства енергетики та захисту довкілля України, ДУ «Інститут охорони ґрунтів України», іншим установам та організаціям у сфері моніторингу земель та ґрунтів рекомендовано:

- при проектуванні моніторингової мережі на території міст передбачати наявність пунктів спостережень на землях різного функціонального призначення на ґрунтах з різною буферністю до забруднення, з урахуванням ймовірності вилучення цих ділянок під забудову, нові транспортні шляхи та інші об'єкти інфраструктури;
- проводити моніторингові спостереження з періодичністю раз на п'ять років для найбільш динамічних показників (рН, вміст водорозчинних солей та рухомих форм пріоритетних забруднюючих речовин) та раз на десять років для усього переліку показників моніторингу;
- визначення фітотоксичності ґрунту проводити за сумарним показником фітотоксичності ґрунту з урахуванням реакції не менше ніж двох тест-культур та оцінки дисбалансу росту рослин.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Наукові праці, в яких опубліковані основні результати дисертації

1. Мірошниченко М. М., Кривицька І. А. Фітотоксичність міських ґрунтів в урболандшафтах міста Маріуполь. *Агрохімія і ґрунтознавство*. 2016. Вип. 87. С. 6 – 11 (*проведення натурних та аналітичних досліджень, їх узагальнення, підготовка статті до друку*).

2. Кривицька І. А. Екотоксикологічна оцінка якості ґрунтів м. Маріуполь. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Біологія»*. 2017. Вип. 29. С. 175 – 181.

3. Мірошниченко Н. Н., Кривицкая И. А., Гладких Е. Ю. Мониторинг тяжелых металлов в городских почвах в условиях различной техногенной нагрузки. *Экологический вестник*. 2017. № 2 (40). С. 87 – 93 (*проведення натурних та аналітичних досліджень, їх статистичний аналіз, підготовка статті до друку*).

4. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Удосконалення способу визначення ступеня забрудненості ґрунтів методом біотестування. *Вісник ЗГУ. Біологічні науки*. 2018. №. 1. С. 83 – 90 (*проведення натурних та аналітичних досліджень, підготовка статті до друку*).

5. Кривицька І. А. Біологічний моніторинг ґрунтів рекреаційних зон м. Маріуполь. *Екологічні науки*. 2019. № 1(24). С. 66 – 70. Doi:10.32846/2306-9716-2019-1-24-1-11.

6. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Еколого-токсикологічна оцінка впливу хімічного підприємства на ґрунтовий покрив. *Екологія та ноосферологія*. 2019. № 30 (1). С. 39 – 43. Doi:10.15421/031907 (проведення натурних та аналітичних досліджень, підготовка статті до друку).

7. Кривицька І. А. Вплив підприємства машинобудівельного профілю на екологічний стан ґрунтового покриву суміжних територій. *Екологічні науки*. 2019. № 2(25). С. 89 – 93. Doi: 10.32846/2306-9716-2019-2-25-13.

Наукові праці, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

8. Miroshnychenko M., Krivitska I., Hladkikh Ye. Monitoring of Urban Soil Contamination under Various Technogenic Impact: Comparison of Two Seaside Cities / EGU General Assambly 2017. Geophysical Research Abstracts. Vol. 19. EGU2017-323 (проведення натурних та аналітичних досліджень, підготовка абстракту).

9. Мірошніченко М. М., Круглов О. В., Кривицька І. А. Комплексний моніторинг забруднення ґрунтового покриву урбанізованої території (на прикладі міста Маріуполь). *Екологічні та гігієнічні проблеми сфери життєдіяльності людини*: матеріали науково-практичної конференції з міжнародною участю (12 березня 2019 р., м. Київ). 2019. С. 110 - 111 (отримання даних про вміст забруднювачів та фітотоксичність ґрунту, узагальнення матеріалів).

10. Kryvytska I. A., Sayarina I. A., Cherkashyna N. I. The impact of «Azovstal» ironworks on the soil in Mariupol city. *Охорона довкілля*: зб. наукових статей XIV Всеукраїнських наукових Таліївських читань (16 – 17 квітня 2018 р.). Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2018. С. 178 – 179 (формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, підготовка статті до друку).

11. Кривицька І. А., Тонкошкур Н. О. Фітотоксичні властивості ґрунтового покриву міста Вовчанськ. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XIV Всеукраїнських наукових Таліївських читань (17–18 квітня 2018 р.). Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2018. С. 94 – 97 (формулювання задач дослідження, постановка експерименту з визначення фітотоксичності ґрунту, інтерпретація результатів).

12. Кривицька І. А., Чижик Н. В. Визначення фітотоксичних властивостей ґрунтів придорожніх територій Шевченківського району м. Харків. *Охорона довкілля*: зб. наук. статей XIV Всеукраїнських наукових Таліївських читань (17–18 квітня 2018 р.). Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2018. С. 99 – 102 (формулювання задач дослідження, постановка експерименту з визначення фітотоксичності ґрунту, інтерпретація результатів).

13. Кривицька І. А., Якушева А. В. Оцінка забруднення важкими металами ґрунтів придорожніх ділянок саду імені Т. Г. Шевченка. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво*: зб. тез доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-річчю створення екологічного факультету. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2017. С. 235-237. (формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, формулювання висновків).

14. Кривицька І. А., Черкашина Ю. Ю., Чижик Н. В. Екологічна оцінка забруднення ґрунтів м. Дергачі Харківської області важкими металами. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань (19–22 квітня 2017 р.)*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2017. С. 63 – 64 (*проведення натурних та аналітичних досліджень, інтерпретація результатів, формулювання висновків*).

15. Кривицька І. А., Пантюх О. В. Екотоксикологічна оцінка ґрунтів різних функціональних зон м. Зіньків Полтавської області. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань (19–22 квітня 2017 р.)*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2017. С. 55 – 57 (*формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, формулювання висновків*).

16. Кривицька І. А., Пшенічна А. А. Оцінка рівня забруднення ґрунтів та рослинності у зоні Аульської хлорпереливної станції. *Охорона довкілля: зб. наук. статей XIII Всеукраїнських наукових Таліївських читань (19–22 квітня 2017 р.)*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2017. С. 58 – 59 (*формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, підготовка до друку*).

17. Кривицька І. А., Тирінова М. Р. Визначення токсичності ґрунтів промислових територій м. Маріуполь. *Охорона довкілля: зб. наукових статей XI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2015. С. 169 – 172 (*формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, формулювання висновків*).

18. Кривицька І. А., Бехтер А. А. Екотоксикологічна оцінка лугопарку ім. Гурова (м. Маріуполь Донецької області). *Охорона довкілля: зб. наукових статей XI Всеукраїнських наукових Таліївських читань*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2015. С. 163 – 165 (*формулювання задач дослідження, постановка експерименту з визначення фітотоксичності ґрунту, інтерпретація результатів*).

19. Кривицька І. А., Бехтер А. А. До питання організації рекреаційних зон на урбанізованих територіях задля збереження біорізноманіття / Матеріали X Всеукраїнських наукових Таліївських читань (17–18 квітня 2014 р.). Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, 2014. С. 18–23 (*формулювання задач дослідження, постановка експерименту з визначення фітотоксичності ґрунту, інтерпретація результатів*).

20. Кривицька І. А., Бехтер А. А. Оцінка екологічної цінності та оптимальності форми рекреаційних зон міста Маріуполь Донецької області. *Проблеми екологічної безпеки: матеріали конференції*. Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського. К., 2014. С. 38 (*формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів*).

21. Кривицька І. А., Тирінова М. Р. Визначення індексу інтегральної фітотоксичності антропогенно перетворених ґрунтів (на прикладі м. Маріуполь). *Охорона довкілля: матеріали X Всеукраїнських наукових Таліївських читань (17–18 квітня 2014 р.)*. Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна.

С. 235–239 (формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, підготовка до друку).

22. Кривицька І. А., Якушева А. В. Флуктуюча асиметрія як один із методів біоіндикації для виявлення рівня забруднення ландшафтно-рекреаційних територій міста Харкова. *Охорона довкілля: матеріали X Всеукраїнських наукових Таліївських читань* (17–18 квітня 2014 р.). Харків: Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. С. 295–298 (формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, формулювання висновків).

23. Кривицька І. А., Гартнер В. Ю. Порівняння особливостей накопичення хімічних елементів у овочевій продукції, що вирощена в умовах урбоекосистем та сільськогосподарських систем Закарпатської області / Матеріали XIII з'їзду Українського ботанічного товариства (19-23 вересня 2011 р). Львів, 2011. С. 156–162 (формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, підготовка до друку).

24. Кривицька І. А., Самойленко М. О. Особливості хімічного складу рослинної продукції, що вирощується на різних геоморфологічних рівнях великого міста. *Охорона навколишнього середовища промислових регіонів як умова сталого розвитку України: зб. ст. IV науково-практичної конференції*. Запоріжжя, 2008. С. 198-200 (проведення натурних та аналітичних досліджень, їх узагальнення, підготовка статті до друку).

Наукові праці, які додатково відображають результати дисертації

25. Miroshnychenko M., Krivitska I., Hladkikh Ye., Zakharova M. Dynamic of soil contamination in the cities with different technogenic impact. *Journal of Soil Science and Plant Health*. 2018. Vol. 2. Iss. 3. P. 1-5. DOI: 10.4172/JSPH.1000117 (проведення натурних та аналітичних досліджень, обговорення результатів, підготовка статті до друку).

26. Кривицька І. А., Іванов О. В., Стріян К. О. Екологічна оцінка антропогенно перетворених ґрунтів м. Харкова. *Young Scientist*. 2018. 4 (56). С. 395 – 399 (розробка методології досліджень, узагальнення результатів).

27. Спосіб визначення ступеня забрудненості ґрунтів / О. М. Крайнюков, І. А. Кривицька: пат. 113560 України: МПК G01KN933/24. № u 2016 05283; заявл. 16.05.16 ; опубл. 10.02.17, Бюл. № 3 (проведення натурних та аналітичних досліджень, їх узагальнення, аналіз патентної бази по тематиці дослідження).

28. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Стан нормативно-правового забезпечення оцінки екологічної небезпеки вуглеводневого забруднення компонентів екосистеми. *Молодий вчений*. 2017. №1. С. 29–32 (проведення аналізу сучасної правової документації з екологічної безпеки, підготовка статті до друку).

29. Природный и антропогенный фон микроэлементов в черноземах обыкновенных Приазовья и Нижнего Дона / Т. М. Минкина, Н. Н. Мирошниченко, А. И. Фатеев, Г. В. Мотузова, И. А. Кривицкая. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології*. 2012. № 3–4 С. 96 – 102 (статистичний аналіз даних, підготовка статті до друку).

30. Кривицька І. А., Крайнюков А. О. Моделювання взаємозв'язку даних біотестування і аналітичного контролю в технологіях системного екологічного аналізу. *Євроінтеграція екологічної політики України: зб. наук. праць*. Одеса, 2019. С. 64–65 (*узагальнення експериментальних даних, оформлення висновків*).

31. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Оцінка екологічного стану антропогенно перетворених ґрунтів. *Сучасні тенденції розвитку освіти й науки : проблеми та перспективи: зб. наук. праць / [упорядник Ю. І. Колісник-Гуменюк]*. Київ–Львів–Бережани–Гомель, 2019. Вип. 4: в 2-х томах. Т. 1. С. 248–253 (*формулювання задач дослідження, інтерпретація результатів, формулювання висновків*).

32. Крайнюков О. М., Кривицька І. А. Апробація методик біотестування задля встановлення максимально допустимих концентрацій. *Біологічні дослідження: зб. наукових праць*. Житомир, 2019. С. 329–330 (*отримання експериментальних даних та їх узагальнення*).

33. Некос А. Н., Пелихатый Н. М., Крайнюков А. Н., Буц Ю. В., Уткина К. Б., Кривицкая И. А. Современные экологические исследования на территории Украины: состояние и перспективы. *Экологические проблемы. Евразийское пространство: монография / под ред. В. А. Садовниченко и др. (серия: «Евразийские университеты XXI века»)*. М., 2014. С. 364–379 (*частина розділу з досліджень стану ґрунтового покриву за допомогою біотестування*).

34. Яковенко М. Г., Зазимко О. І., Россіхін В. В., Кривицька І. А. Людина та забруднення навколишнього середовища. *Наукові праці Чорноморського державного університету імені Петра Могили. Сер. Техногенна безпека*. 2013. Т. 210, вип. 198. С. 66–69 (*аналіз сучасних наукових досліджень, формулювання висновків*).

АНОТАЦІЯ

Кривицька І. А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.18 «Ґрунтознавство» (біологічні науки). – Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О. Н. Соколовського», Харків, 2020.

Мета досліджень – наукове обґрунтування удосконалення моніторингу забруднення ґрунтів важкими металами урбанізованих територій Приазов'я з використанням комплексу хіміко-аналітичних та біодіагностичних методів. Дослідження проводили у 2012–2018 рр. на території міст Бердянськ і Маріуполь.

Встановлено, що регіональною особливістю ґрунтів Приазов'я є високий вміст рухомих форм важких металів, обумовлений як природними, так і техногенними чинниками. На підставі статистичної обробки інформації про вміст рухомих форм важких металів розраховано їхній фоновий вміст для автоморфних ґрунтів на лесових відкладах. Для загальної характеристики рівня техногенного забруднення на території міст запропоновано визначати урбанізований фон рухомих форм важких металів.

Сформовано репрезентативну мережу моніторингових ділянок, представлену землями різного функціонального призначення, ґрунтами різної буферності та ступеня техногенного забруднення. Встановлено, що наслідки господарської діяльності простежуються у стані ґрунтів за п'ятирічний період, причому може спостерігатися як концентрація важких металів, так і їх розсіювання. За такий термін унаслідок інтенсивної діяльності підприємств чорної металургії та інших джерел емісії важких металів у Маріуполі на землях промисловості, в житлових кварталах і парках міста рівень сумарного забруднення збільшився на 8-18 %. У промислових зонах Бердянська відбувається поступове зниження рівня забруднення ґрунтів, а в зонах житлової забудови, культурно-адміністративних місцях і, особливо, об'єктах рекреації – накопичення важких металів у ґрунті.

Для покращення оцінки ступеня небезпеки техногенного забруднення розроблено методичний підхід до визначення фітотоксичності ґрунту з використанням двох тест-культур (*Zea mays L.* та *Raphanus sativus L.*) і врахуванням ступеня дисбалансу їхнього росту. На більшості моніторингових площадок поблизу промислових підприємств та на території міської забудови спостерігається фітотоксичний ефект на рівні 30 % пригнічення ростових процесів.

Доведено, що для ґрунтів урболандшафтів недостатньо оцінювати рівень забруднення тільки за перевищенням вмісту важких металів, а необхідно доповнювати методи хіміко-аналітичних досліджень методами біотестування, зокрема даними фітотоксичності. На підставі досліджень сформульовано основні методичні підходи до організації моніторингу ґрунтів урбанізованих територій.

Ключові слова: ґрунти, урбанізовані території, забруднення, важкі метали, фоновий вміст, моніторинг, біотестування.

SUMMARY

Krivitska I. A. Diagnostics and monitoring of soil contamination by heavy metals in the urbanized landscapes of the Azov Sea. - Qualifying scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for a candidate degree in biological sciences, specialty 03.00.18 "Soil Science" (Biological Sciences). National Scientific Center "Institute for soil science and agrochemistry research named after O. N. Sokolovsky", Kharkiv, 2020.

The purpose of the research is the scientific justification for improving monitoring of soil pollution by heavy metals in the urban landscapes of the Sea of Azov using chemical analytical and biodiagnostic methods. The studies were conducted in 2012–2018. in the cities of Berdyansk and Mariupol.

It has been established that the regional feature of soils in the study area is the high total content of trace elements, due to both natural and technogenic factors. Based on the statistical processing of information, the background content of mobile forms of heavy metals was calculated for automorphic soils which was formed on loess. For a general description of the level of technogenic pollution in cities, it is proposed to determine the urbanized background of mobile forms of heavy metals.

A representative network of monitoring sites has been formed, representing lands of various functional purposes, soils of various buffering and degree of technogenic pollution. It has been established that the consequences of economic activity can be traced in the state of soils over a five-year period, and both the concentration of heavy metals and their dispersion can be observed. In connection with the intense activity of ferrous metallurgy enterprises and other sources of heavy metal emissions in Mariupol on industrial lands, in residential quarters and parks, the level of total pollution increased by 8-18%. In the industrial zones of Berdyansk, a gradual decrease in the level of soil pollution occurs, and in the residential areas, cultural and administrative places and, especially, recreation facilities, their accumulation.

To objectify the assessment of the degree of danger of technogenic pollution, a methodological approach to determining the phytotoxicity of the soil was developed using two test cultures (*Zea mays* L. and *Raphanus sativus* L.) and taking into account the degree of imbalance in growth. At most monitoring sites near industrial enterprises and in urban areas, a phytotoxic effect is observed at the level of 30% inhibition of growth processes.

It has been proved that for soils of urban landscapes it is not enough to assess the level of pollution only by exceeding the content of heavy metals, and it is necessary to supplement the methods of chemical-analytical studies with bio-diagnostic methods, in particular, phytotoxicity data. The main methodological approaches to the organization of soil monitoring in urban areas are formulated.

Key words: soils, urbanized territories, pollution, heavy metals, background content, monitoring, biodiagnostics.

АННОТАЦИЯ

Кривицкая И. А. Диагностика и мониторинг загрязнения почв тяжелыми металлами в урбанизированных ландшафтах Приазовья. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.18 «Почвоведение» (Биологические науки). – Национальный научный центр «Институт почвоведения и агрохимии имени А.Н. Соколовского», Харьков, 2020.

Цель исследований – научное обоснование усовершенствования мониторинга загрязнения почв тяжелыми металлами в урболандшафтах Приазовья с использованием химико-аналитических и биодиагностических методов. Исследования проводились в 2012–2018 гг. на территории городов Бердянск и Мариуполь.

Установлено, что региональной особенностью почв в районе исследований является высокое общее содержание тяжелых металлов, обусловленное как природными, так и техногенными факторами. На основании статистической обработки полученной информации рассчитано фоновое содержание подвижных форм тяжелых металлов для автоморфных почв на лессовых отложениях. Для общей характеристики уровня техногенного загрязнения на территории городов предложено определять урбанизированный фон подвижных форм тяжелых металлов.

Сформировано репрезентативную сеть мониторинговых участков, представляющих земли различного функционального назначения, почвы различной буферности и степени техногенного загрязнения. Установлено, что последствия хозяйственной деятельности прослеживаются в состоянии почв уже за пятилетний период, причем может наблюдаться как концентрация тяжелых металлов, так и их рассеяние.

В связи с интенсивной деятельностью предприятий черной металлургии и других источников эмиссии тяжелых металлов в Мариуполе на землях промышленности, в жилых кварталах и парках уровень суммарного загрязнения увеличился на 8-18 %. В промышленных зонах Бердянска происходит постепенное снижение уровня загрязнения почв, а в зонах жилой застройки, культурно-административных местах и, особенно, объектах рекреации – их накопление.

Для объективизации оценки степени опасности техногенного загрязнения разработан методический подход к определению фитотоксичности почвы с использованием двух тест-культур (*Zea mays* L. и *Raphanus sativus* L.) и учетом степени дисбаланса роста. На большинстве мониторинговых площадок вблизи промышленных предприятий и на территории городской застройки наблюдается фитотоксичный эффект на уровне 30 % подавления ростовых процессов.

Доказано, что для почв урболандшафтов недостаточно оценивать уровень загрязнения только по превышению содержания тяжелых металлов, а необходимо дополнять методы химико-аналитических исследований методами биотестирования, в частности данными фитотоксичности. Сформулированы основные методические подходы к организации мониторинга почв урбанизированных территорий.

Ключевые слова: почвы, урбанизированные территории, загрязнение, тяжелые металлы, фоновое содержание, мониторинг, биотестирование.