

ОХОРОНА ТА ВІДНОВЛЕННЯ ҐРУНТІВ SOIL PROTECTION and RECLAMATION

УДК 911.9; 631.416.8

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ МІСЬКИХ ҐРУНТІВ В УРБОЛАНДШАФТАХ МІСТА МАРІУПОЛЬ

М. М. Мірошніченко¹, І. А. Кривицька²

¹ННЦ «Інститут ґрунтознавства та агрохімії імені О.Н. Соколовського», Харків,
Україна. E-mail: ecosoil@meta.ua

²Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, Харків, Україна

За допомогою тест-культур кукурудзи та редьки посівної досліджено ступінь фітотоксичності ґрунтів міста Маріуполь за різних рівнів їх забруднення важкими металами та мінеральними солями. Виділено три рівня забруднення, за яких токсичний ефект не проявляється зовсім, збільшується до 20-30 % або сягає 40-50 %. Визначення фітотоксичності ґрунтів істотно доповнює результати хіміко-аналітичного контролю та підвищує рівень надійності моніторингу ґрунтів в урболандшафтах.

Ключові слова: міські ґрунти, фітотоксичність, забруднення, важкі метали, діагностика, моніторинг.

1. Вступ

Процеси техногенного забруднення є неодмінним супутником індустріальних міст, ґрунтовий покрив яких знаходиться під сукупним впливом газопилових викидів промислових підприємств, автотранспорту, об'єктів теплоенергетики, житлово-комунальної сфери тощо. Ці викиди формують так званий урбанізований фон, на який накладаються локальні осередки забруднення навколо окремих джерел емісії забруднювачів [1-2]. У передмісті та робочих селищах навколо виробництв, заснованих у першій половині ХХ сторіччя або ще раніше, ґрунти зберігають наслідки техногенного забруднення ще дуже довго після ліквідації самих підприємств. Середній термін формування сталої техногенної аномалії визначають у 20-50 років, а мінімальний – 5-10 років [1, 3]. Характерною ознакою ґрунтів зони техногенного забруднення є техногенно-аккумулятивний тип профільного розпо-ділу важких металів, який відрізняється від природного розподілу їх накопиченням у верхньому шарі [2].

Оцінка небезпеки забруднення ґрунту, як правило, є складовою частиною організації екологічного моніторингу та комплексної оцінки стану довкілля. Систематичний моніторинг дозволяє робити прогнозу оцінку динаміки розвитку процесів техногенного забруднення в урболандшафтах та своєчасно вживати необхідних заходів для їх призупинення. За думкою В.В. Добровольського [4], збільшення середньої концентрації важких металів до 10 % від фонові кількості у ґрунті, або 0,5 % від площі території за рік є стабільним станом масообміну забруднювачів.

Сучасний підхід до оцінки якості навколишнього середовища, і зокрема ґрунтів, базується на еколого-токсикологічному принципі "нормального функціонування" екосистем і враховує взаємозв'язок компонентів біоценозу й взаємодію забруднювачів з ґрунтом. За основні, найбільш чутливі до забруднення показники "нормального функціонування" правлять кількість і якість створюваної біологічної продукції, біорізноманіття, стан надземної фауни, здоров'я людини [5-7]. Поряд із цим, методика реалізації цього принципу залишає бажати кращого і до цього часу моніторинг ґрунтів міст в Україні зводиться до періодичного визначення вмісту декількох важких металів, якщо взагалі проводиться. Цього явно недостатньо, особливо, якщо враховувати прогресуючу кількість нових забруднюючих речовин та слабкість приладної бази органів екологічного контролю. До того ж, контролювати надходження усіх потенційно небезпечних речовин у ґрунти індустріальних міст просто неможливо. Методи біотестування дозволяють одержувати інтегровану токсикологічну характеристику ґрунтів незалежно від складу забруднюючих речовин, унаслідок чого мають перспективу широкого застосування [13].

Метою роботи було інтегрування методу фітодіагностики в алгоритм усталеного

підходу до моніторингу ґрунтів урбанізованих територій [8], на прикладі одного з найбільш напружених в екологічному розумінні міста України – Маріуполя.

2. Об'єкти та методи досліджень

Дослідження проводили у 2013-2014 рр. у типових ландшафтах міста Маріуполь, що знаходяться під сукупним впливом таких потужних джерел емісії важких металів – комбінат ім. Ілліча, комбінат "Азовсталь", ОАО "Маркохім", а також локальних забруднювачів місцевої інфраструктури. Для отримання репрезентативних проб застосовували метод ключів-аналогів, а місця розташування ключових майданчиків прив'язували до об'єктів моніторингу забруднення ґрунтового покриву міста, проведеного у 2008 р (рис. 1).



Рис. 1. Схема розташування контрольних (ключових) майданчиків у місті Маріуполь

Змішані проби ґрунту відбирали згідно з вимогами ДСТУ 7243:2011. Фітотоксичність визначали у водних витяжках (1:1) із ґрунту з використанням попередньо підготовленого ($t^{\circ}=27^{\circ}\text{C}$, 24 годинна експозиція) насіння тест-культур кукурудзи (*Zea mays L.*) та редьки посівної (*Raphanus sativus L.*) як представників однодольних та дводольних рослин. Після витримування насіння на зволоженому водною витяжкою фільтрувальному папері за температури 25°C протягом 72 годин визначали тест-реакцію. Критерієм токсичності була частка зниження довжини проростків і коренів рослин за наступні 96 годин порівняно із контролем (зволоження питною водою), що рекомендується у багатьох дослідженнях [11-12, 14].

Вміст рухомих форм важких металів визначали методом атомно-абсорбційної спектроскопії після екстрагування 1 н ацетатно-амонійним буферним розчином з рН 4,8. Загальний вміст вуглецю визначали за ДСТУ 4289:2004, рН і катіонно-аніонний склад водної витяжки з ґрунту – за ГОСТ 26423-85 - ГОСТ 26428-85, вміст рухомих форм фосфору та калію методом Мачигіна – за ДСТУ 4114:2002. Розрахунки сумарного показника забруднення Z відносно фону та відносно ГДК проводили за формулами 1 та 2 відповідно:

$$Z_c = \sum_1^n \frac{C_i}{C_{\phi}} - (n-1) \quad (1)$$

$$Z_c = \sum_1^n \frac{C_i}{C_{ГДК}} - (n-1) \quad (2)$$

де C_i - фактичний вміст i -того елемента;

C_{ϕ} - фоновий вміст i -того елемента;

$C_{ГДК}$ – гранично-допустимий вміст i -того елемента;

n - кількість хімічних елементів, які відповідають умові $C_i > C_{\phi}$ або $C_i > C_{ГДК}$ й утворюють асоціацію.

Статистичну обробку даних виконали з використанням програмних засобів *Statistica*.

3. Результати досліджень

Організація моніторингу ґрунтів у межах урболандшафтів є набагато складнішою, ніж у природних або агрогенно перетворених екосистемах. Вкрай високий рівень латеральної та радіальної неоднорідності ґрунтового покриву, часта зміна меж земельних ділянок та постійні порушення будови та морфології ґрунтових тіл внаслідок будівельних, ремонтних та інших робіт, велика щільність пересувних джерел забруднення – все це у сукупності робить практично неможливим застосування традиційних методів моніторингу для об'єктивної характеристики змін якості ґрунтів у часі. Не є виключенням і спостереження в м. Маріуполі, які проводяться за участі авторів, починаючи з 2008 року. Незважаючи на достатньо детальний опис та прив'язку моніторингових майданчиків, через 5 років майже в половині випадків виявилось неможливим повторити їхнє місце розташування та контури. Не можна відкидати й вплив суб'єктивного фактору, адже якщо навіть за агрохімічної паспортизації похибку пробовідбирання оцінюють в 30 % [9], то в антропогенно перетвореному ландшафті вона ще збільшуватиметься. Через це, на нових моніторингових майданчиках ґрунти мали не тільки дещо відмінні, але й діаметрально протилежні параметри основних властивостей. З цієї причини більш коректно проводити моніторингові спостереження одразу на сукупності декількох об'єктів з належною статистичною оцінкою достовірності відхилень.

Саме такий підхід застосовано у цьому дослідженні, адже сформована вибірка з 13 моніторингових майданчиків характеризується значною варіабельністю параметрів показників основних властивостей ґрунтів (рис. 2).

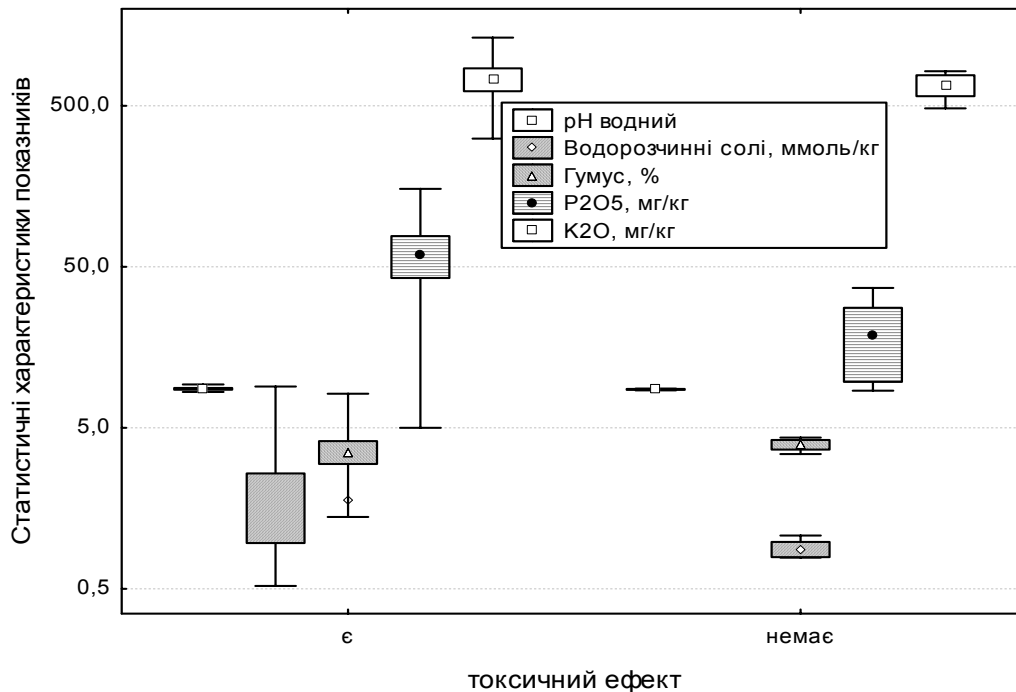


Рис. 2. Статистична характеристика варіабельності показників властивостей ґрунту на моніторингових майданчиках (позначено середнє арифметичне, стандартну похибку та розмах коливань значень)

Як свідчать наведені дані, прояви фітотоксичності на моніторингових майданчиках (3 із 13) не пов'язані з меншою буферністю ґрунту, оскільки величини вмісту гумусу та рН майже однакові. Поряд із цим, у ґрунтах з відсутністю фітотоксичного ефекту

спостерігався явно менший вміст водорозчинних солей, які також, нарівні з важкими металами та іншими ксенобіотиками, можуть пригнічувати ріст та розвиток вищих рослин.

Кореляційний аналіз результатів вимірювань фітотоксичного ефекту на обраних тест-культурах показує найбільш тісний зв'язок із рухомими формами Mn ($r=0,52-0,76$), Ni ($r=0,52-0,65$), Pb ($r=0,52-0,72$), Zn ($r=0,52-0,64$). Із кислоторозчинними формами важких металів зв'язок виявився менш тісним, що очевидно пов'язано із підвищеною лужністю ґрунтів, для яких нові стандарти (ДСТУ 7831:2015 - ДСТУ 7833:2015, ДСТУ 7851:2015 - ДСТУ 7853:2015) не рекомендують застосовувати витяжку 1 н HCl. Статистично значущим на рівні $p=0,005$ виявився зв'язок фітотоксичного ефекту з кислоторозчинними сполуками Pb ($r=0,45-0,60$), Zn ($r=0,37-0,61$) і Cr ($r=0,44-0,67$).

Достатньо високий рівень взаємозв'язку між прямим визначенням фітотоксичності та її предикторами (визначальними показниками) дозволяє провести більш об'єктивне ранжування ґрунтів на моніторингових майданчиках за рівнем забруднення. Оскільки у більшості випадків забруднення важкими металами є поліелементним, а ступінь прояву токсичної дії кожного з них залежить від буферності ґрунту до нього, передбачити результуючу фітотоксичність вкрай складно. Тому виділення кластерів за сукупністю параметрів фітотоксичного ефекту та аналітичного визначення вмісту рухомих форм важких металів і водорозчинних солей, на наш погляд, є найбільш об'єктивним способом розподілу території за рівнями забруднення (рис. 3).

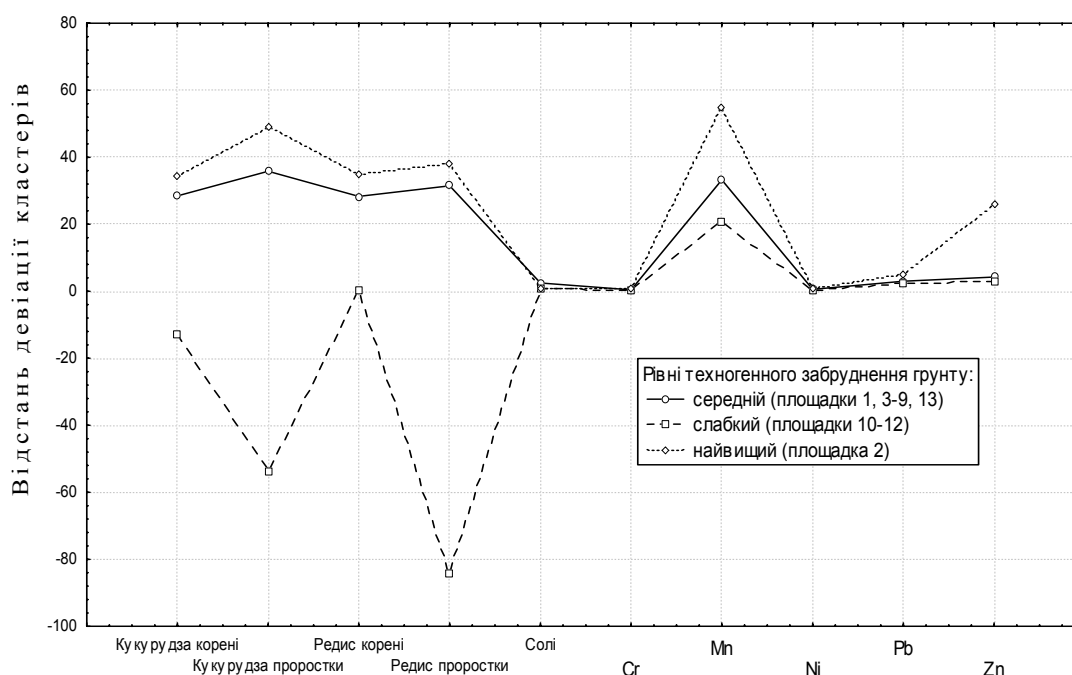


Рис. 3. Кластеризація моніторингових майданчиків за результатами прямих вимірювань фітотоксичності та вмісту рухомих форм важких металів

За вище переліченими ознаками, негативний вплив техногенного забруднення у найбільшій мірі проявляється навколо комбінату «Азовсталь» (майданчик 2), де внаслідок накопичення, перш за все, рухомих сполук цинку та марганцю в ґрунті майже вдвічі (на 40-50 %) уповільнюються ростові процеси вищих рослин. У найменшій мірі ознаки техногенного забруднення проявляються на штучних газонах у центральній частині міста (Приморський бульвар, міський сад, парк ім. Петровського), де відбувалося завезення ґрунту ззовні для забезпечення належної щільності трав'яного покриття. На відміну від цього, на більшості моніторингових майданчиків, як поблизу промислових підприємств, так і на території міської забудови) спостерігається фітотоксичний ефект – пригнічення ростових процесів на рівні 30 %.

Результати тестування показують відсутність принципової різниці між обраними видами рослин та їх органами за реакцією на токсичність водної витяжки з ґрунту. Більш чутливими виявилися проростки обох видів, а виявлений токсичний ефект в усіх випадках підтверджувався обома фітотестами. Тому можна вважати, що усереднений показник

фітотоксичності, наведений у таблиці 1, об'єктивно відображує рівень техногенного забруднення на моніторингових майданчиках. Порівняно з ним, розраховані сумарні показники забруднення, хоча й є достатньо близькими ($r=0,55-0,69$), не дозволяють надійно прогнозувати реакцію вищих рослин. Наприклад, у районі житлової забудови фітотоксичність присутня, коли сумарний показник забруднення $Z = 1,0$, а у парку Петровського, навпаки, за більше ніж триразового перевищення фонового вмісту важких металів ($Z_{\text{фон}} = 3,9$) спостерігалася стимуляція росту рослини. Очевидно, що для ґрунтів міських урболандшафтів, що знаходяться під сукупною дією різних забруднювачів, недостатньо оцінювати рівень забруднення тільки за перевищенням вмісту важких металів. Дійсно, у ґрунті моніторингових майданчиків на проспекті Будівників, просп. Гурова та парку Лепорського спостерігається аномальне підвищення вмісту рухомого фосфору (до 100-150 мг/кг) та калію (до 1100-1325 мг/кг) за Мачигіним, біля комбінату «Азовсталь» та заводу «Азовмаш» – підвищення рН до 9,25-9,30, а на території комбінату Ілліча – накопичення водорозчинних солей хлористого кальцію.

Таблиця 1

Оцінка рівня забруднення ґрунтів за результатами біотестування та сумарними геохімічними показниками

№ і місцезнаходження майданчиків спостережень	Зменшення довжини відносно контролю, %					Сумарний показник забруднення Z	
	Кукурудза		Редька		Середнє значення	відносно фону ¹	відносно ГДК
	корені	паростки	корені	паростки			
1. Вул. 60 р. СРСР	34	31	28	29	30	3,1	1,7
2. Комбінат Азовсталь	54	57	50	58	55	8,1	2,4
3. Комбінат ім. Ілліча	31	41	36	40	37	3,6	1,7
4. Завод «Азовмаш»	42	45	41	43	43	6,9	2,3
5. Пер. Вахтангова	25	50	30	30	34	6,5	2,2
6. Просп. Будівників	25	54	26	30	34	6,8	2,9
7. Проспект Гурова	21	34	23	28	27	2,1	1,3
8. Вул.Павленко	24	28	26	29	27	1,0	1,0
9. Парк Лепорського	26	39	27	30	30	6,6	2,3
10. Парк Петровського	-25	-66	16	-83	-39	3,9	1,0
11. Приморський парк	-21	-92	-10	-70	-48	1,0	1,0
12. Міський сад	7	-3	-5	-9	-3	1,6	1,6
13. Вул. Калініна	32	45	29	30	34	3,0	1,9

¹ Використовували фоновий вміст рухомих форм важких металів для ґрунтів Маріуполя, розрахований у [10], а саме: Zn – 0,83 мг/кг, Cd – 0,19 мг/кг, Ni – 1,9 мг/кг, Co – 1,3 мг/кг, Fe – 2,4 мг/кг, Mn – 8,7 мг/кг, Pb – 2,1 мг/кг, Cu – 0,38 мг/кг.

На жаль, ці впливові чинники не враховуються сумарними геохімічними показниками. У зв'язку з вищевикладеним, прямі вимірювання фітотоксичності мають бути обов'язковою складовою ґрунтово-екологічних обстежень міських територій, оскільки це суттєво уточнює оцінку реальної небезпеки та допоможе уникнути помилок під час проектування об'єктів озеленення, сприятиме раціональному використанню ґрунтового покриву міста загалом.

4. Висновки

1. Вимірювання фітотоксичності на тест-культурах кукурудзи (*Zea mays L.*) та редьки посівної (*Raphanus sativum L.*) об'єктивно відображують рівень техногенного забруднення ґрунтів та істотно доповнюють результати хіміко-аналітичного контролю, що підвищує рівень надійності моніторингу ґрунтів в урболандшафтах.

2. За винятком штучно створених газонів у центральній частині міста, досліджені

ґрунти в урболандшафтах Маріуполя мають підвищену фітотоксичність, пов'язану із накопиченням окремих важких металів (Mn, Zn, Ni, Pb, Cr), мінеральних сполук, підвищеним рН.

Список використаної літератури

1. *Геохимия окружающей среды* / Ю.Е. Саев, Б.А. Ревич, Е.П. Янин и др. - М.: Недра, 1990. – 335 с.
2. *Гармаш Г.А.* Распределение тяжелых металлов в почвах в зоне воздействия металлургических предприятий // Почвоведение. – 1985. - № 2. – С. 27-32.
3. *Методические указания по оценке загрязнения городских почв и снежного покрова тяжелыми металлами* / В.А. Большаков, Ю.Н. Водяницкий, Т.И. Борисочкина, З.Н. Кахнович, В.В. Мясников. – М.: Почвенный ин-т им. В.В.Докучаева, 1999. – 32 с.
4. *Добровольский В.В.* Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами // Почвоведение. - 1999. - №5. - С. 639-645.
5. *Шибеева И.Н.* Критерии качества почв как инструмент расчета критических нагрузок / И.Н. Шибеева, Ян Япенга // Вестник Моск. ун-та. Сер. 17. Почвоведение. - 2001. - № 1. - с. 7-13.
6. *Колесников С.И.* Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ф. Вальков // Почвоведение. –2002. -№ 12. –С.1509-1514.
7. *Ильин В.Б.* Тяжелые металлы в системе почва-растение. - Новосибирск: Наука, 1991. - 133 с.
8. *Ґрунтово-ґеохімічне обстеження урбанізованих територій. Методичні рекомендації.* – Харків, ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2004. – 56 с.
9. *Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення* / за ред. Яцука І.П., Балюка С.А. – Київ, 2013. – 104 с.
10. *Минкина Т.М.* 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. Кривичкая // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. - № 3-4. – с. 96-102.
11. *Varan A., Jasiewicz C., Antonkiewicz J.* Testing Toxicity of Oily Grounds Using Phytotoxic Tests // The First Joint PSE-SETAC Conference on Ecotoxicology. Book of Abstracts, Poland; 2009, poster.
12. *Gorsuch J., Merrilee R., Anderson E.* Comparative toxicities of six heavy metals using root elongation and shoot growth in three plant species // Environmental toxicology and risk assessment, 1995, Vol. 3, p. 377-391.
13. *Kristen U.* Use of higher plants as screens for toxicity assessment. Toxicology in Vitro, February-April 1997, Vol. 11, Iss. 1-2, p. 181-191.
14. *Michaud A, Chappelaz C., Hinsinger P.* Copper phytotoxicity affects root elongation and iron nutrition in durum wheat (*Triticum turgidum durum L.*) // Plant and soil, 2008, vol. 310, № 1-2, p. 151-165.

Стаття надійшла до редакції 20.03.2016

THE PHYTOTOXICITY OF SOILS IN URBAN LANDSCAPES OF MARIUPOL CITY

M. Miroshnichenko^{1,*}, I. Krivitska²

¹ **National Scientific Center “Institute for Soil Science and geochemistry research named after O.N. Sokolovsky”, Kharkiv, Ukraine**

² **Kharkiv National University named after V.N. Karazin, Kharkiv, Ukraine**

* Corresponding author. *E-mail: ecosoil@meta.ua*

The research is based on a comparison of chemical analysis of soils at monitoring sites in Mariupol in 2008 and 2013. Due to the high lateral and radial heterogeneity of soil cover in the city, the using of traditional monitoring methods is not enough objectively reflecting change of the ecological status of soils. The accumulation of some chemical elements, such as manganese, nickel, lead, zinc and compounds of phosphorus, potassium, chlorine detected in the soil near industrial enterprises and in residential areas. The phytotoxicity of soils under various levels of contamination has been investigated using test crops of corn and radish. Both test culture and their diagnostic organs show similar results. In turn, the calculated aggregate contamination index Z is not enough closely correlate with phytotoxicity, because not all of pollutants are taken into account.

Three levels of soil contamination by heavy metals and mineral salts were identified by using cluster analysis: where toxic effect does not appear at all (1), it increases up to 20-30 % (2) or reaches 40-50 % (3). The impact of contamination on the growth of higher plants is most evident near metallurgical combine "Azovstal". Cleanest areas are related to grassy lawns in the central part of the city where the soil material from the outside was used. Thus, determination of phytotoxicity significantly complements results of chemical-analytical control and improves reliability of soil monitoring in urban landscapes.

Keywords: *urban soils, phytotoxicity, pollution, heavy metals, diagnosis, monitoring.*