
••• КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ••• BRIEF COMMUNICATIONS •••

УДК: 574.64:504.064

Екотоксикологічна оцінка якості ґрунтів м. Маріуполь
I.A.Кривицька

Харківський національний університет імені В.Н.Каразіна (Харків, Україна)
ivkrivicka@gmail.com

У роботі наведено результати визначення фітотоксичності проб ґрунту селітебних та рекреаційних зон м. Маріуполь на тест-об'єктах *Zea mays* L. та *Raphanus sativus* L. Дослідження проводили у типових ландшафтах м. Маріуполь, що знаходяться під сумісним впливом таких потужних джерел емісії важких металів, як ПрАТ «Маріупольський металургійний комбінат імені Ілліча», комбінат «Азовсталь», ОАО «Маркохім», а також локальних стаціонарних та пересувних забруднювачів місцевої інфраструктури. Токсичні властивості ґрунту (фітотоксичність) визначено в усіх селітебних зонах м. Маріуполь; в паркових зонах не виявлено токсичних властивостей ґрунту, окрім рекреаційної зони парку імені Лепорського, який розташований у Лівобережному районі, де зосереджені металургійні комбінати. Статистичну значущість впливу джерела ґрунтової витяжки та різниці між дослідом та контролем визначали за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), де незалежними факторами виступали місце відбору проб ґрунту та тип серії (дослід або контроль), а залежною змінною – довжина кореня або проростка. Для підвищення вірогідності статистичної помилки I роду застосували метод Хольма. Усього розглядалося 40 порівнянь дослідів та контролю (12 місць було досліджено з впливу витяжок ґрунту на *Zea mays*, 8 – на *Raphanus sativus*; в усіх випадках оцінювали вплив на довжину коренів та проростків). Виявлено значущими, із врахуванням поправки за методом Хольма, 8 відмінностей між контролем та дослідом. Показана тенденція щодо залежності рівня токсичності ґрунту від його відстані від підприємств.

Ключові слова: біотестування, фітотоксичність, токсикант, забруднюючі речовини, рекреаційна зона, тест-об'єкт, ґрунт.

Ecotoxicological assessment of soil quality in Mariupol
I.A.Krivitskaya

The results of the determination of the phytotoxicity of soil samples of residential and recreational areas in Mariupol using the test objects *Zea mays* L. and *Raphanus sativus* L. are presented in the article. Researches were conducted in the typical landscapes of Mariupol, which are under the mutual influence of such powerful sources of heavy metal emissions as Mariupol Illich Metallurgical Plant, Metallurgical Combine Azovstal, Mariupol Coke and Chemical Plant, and also local stationary and mobile pollutants of local infrastructure. The toxic properties of the soil (phytotoxicity) were determined in all residential areas of Mariupol; in the park zones there were no toxic soil properties except the recreational zone of the Park Leporsky, which is located in the Left Bank district, where metallurgical plants are concentrated. The statistical significance of the influence of the source of soil extract and the difference between experiment and control were determined by using two-factor analysis of variance (ANOVA) where independent factors were the place of soil sampling and the type of the series (experiment or control), and the dependent variable was the length of the root or seedling. Holm's method was applied to increase the reliability of the statistical error of the first kind. In all, 40 comparisons of experiment and control were examined (12 sites were examined for the effects of soil extracts on *Zea mays*, 8 sites on *Raphanus sativus*, in all cases, the effect on the length of roots and shoots was evaluated). Eight significant differences between control and experiment were found, with considering of an amendment by Holm's method. The trend of dependence of the soil toxicity level on its distance from the enterprises was shown.

Key words: biotesting, phytotoxicity, toxicant, pollutants, recreational zone, test object, soil.

Экотоксикологическая оценка качества почв г. Мариуполь
И.А.Кривицкая

В работе приведены результаты определения фитотоксичности проб почвы селитебных и рекреационных зон г. Мариуполь на тест-объектах *Zea mays* L. и *Raphanus sativus* L. Исследования

проводились на типових ландшафтах г. Маріуполь, що знаходяться під спільним впливом таких потужних джерел емісії важких металів, як ЗАО «Маріупольський металургічний комбінат імені Ільича», комбінат «Азовсталь», ОАО «Маркохім», а також місцевих стаціонарних і переміжних забруднювачів місцевої інфраструктури. Токсичні властивості ґрунту (фітотоксичність) визначені у всіх сільськогосподарських зонах г. Маріуполь; в паркових зонах виявлено токсичні властивості ґрунту, крім рекреаційної зони парку імені Лепорського, який знаходиться в Левобережному районі, де концентруються металургічні комбінати. Статистичну значимість впливу джерела забруднення ґрунту та різниці між досвідом і контролем визначали за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), де незалежними факторами виступали місце збору проб ґрунту та тип серії (досвід або контроль), а залежної змінної – довжина кореня або проростка. Для підвищення достовірності статистичної помилки I роду застали метод Хольма. Усього розглядалось 40 порівнянь досвіду та контролю (12 місць було досліджено за впливом витяжок ґрунту на *Zea mays*, 8 – на *Raphanus sativus*; у всіх випадках оцінювали вплив на довжину кореня та побегов). Встановлено значимі, з урахуванням поправки за методом Хольма, 8 різниць між контролем і досвідом. Показано тенденцію залежності рівня токсичності ґрунту від її відстані від підприємств.

Ключові слова: біотестування, фітотоксичність, токсикант, забруднюючі речовини, рекреаційна зона, тест-об'єкт, ґрунт.

Вступ

Найбільш інформативним і стабільним компонентом ландшафту вважаються ґрунти. Л.О.Карпачевський підкреслював, що серед структурних елементів біосфери центральною ланкою є ґрунти, і як дзеркало ландшафту вони відіграють визначальну роль і суттєво впливають на перерозподіл речовини і енергії в інших компонентах природного середовища (Карпачевський, 1983).

Більшість методів, що використовуються для нормування забруднення ґрунтів забруднюючими речовинами, зводяться до визначення гранично допустимої концентрації речовини у ґрунті. Однак у силу об'єктивних причин, таких як поліфункціональність і гетерогенність ґрунту, різноманітність забруднюючих речовин, явища синергізму та антагонізму між ними, здатність ґрунту до самоочищення, використання ГДК поллютантів для оцінки рівня забруднення не є інформативним показником.

Доцільність використання біологічних методів оцінки якості компонентів ландшафту, зокрема ґрунтів, підкреслюється у численних роботах вітчизняних і зарубіжних авторів (Теоретическіе..., 1983; Manual for..., 1991; Biologische..., 1992; Клименко та ін., 2004). В роботі М.О.Клименка при визначенні переліку показників для оцінки якості компонентів довкілля в умовах антропогенного навантаження рекомендується використовувати, поряд з іншими, біологічні методи: «...біоіндикація і біотестування, на відміну від відомих аналітичних методів контролю за станом середовища, являються незамінними у визначенні токсичності і шкідливості факторів для живих організмів, бо ці характеристики є біологічними, а тому визначають біологічну повноцінність (або неякісність) середовища» (Клименко та ін., 2004).

Метою роботи було провести екотоксикологічні дослідження ґрунтів одного з найбільш екологічно забруднених міст країни – Маріуполя з оцінкою рівня і ступеня їх токсичності методом біотестування.

Методика досліджень

Фітотоксичність ґрунтів визначали шляхом біотестування водних витяжок з ґрунтів. Для визначення фітотоксичності ґрунтів попередньо було проведено вибір рослин, широким колом яких рекомендується міжнародним стандартом ISO 11269-2 (ISO...).

Фітотоксичні властивості ґрунтів визначали у водних витяжках з використанням попередньо підготовленого ($t=27^{\circ}\text{C}$, 24-годинна експозиція) насіння тест-культур кукурудзи (*Zea mays* L.) та редьки посівної (*Raphanus sativus* L.). Критерієм токсичності є зниження на 20 і більше відсотків довжини проростків і коренів рослин у досліді порівняно з контролем (зволоження питною водою) за 96 год. біотестування.

Основними показниками згідно з (ISO...), за якими проводили оцінку фітотоксичності ґрунтів, були: кількість пророслих рослин, довжина коренів та паростків, також враховувалась енергія проростання (кількість пророслого насіння, виражена у відсотках до проби, що аналізувалась). Дані

тест-параметри рекомендуються як найбільш чутливі багатьма авторами, в тому числі і закордонними (Baran et al., 2009; Michaud et al., 2008). Фітотоксичними вважались ґрунти, за результатами біотестування яких значення будь-якого з перелічених критеріїв значуще відрізнялось від контролю.

На підставі підрахунку довжини коренів у контролі і досліді розраховувались середні арифметичні, котрі використовують для розрахунку відхилення довжин коренів у досліді щодо контролю:

$$A = (X_k - X_d) / X_k \times 100\%, \quad (1)$$

де A – довжина коренів (паростків) у досліді відносно контролю, %;
 X_k – середнє арифметичне довжини коренів (паростків) у контролі, см;
 X_d – середнє арифметичне довжини коренів (паростків) у досліді, см.

Статистичну значущість впливу джерела ґрунтової витяжки та різниці між дослідом та контролем визначали за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), де незалежними факторами виступали місце відбору проб ґрунту та тип серії (дослід або контроль), а залежною змінною – довжина кореня або проростка.

Статистична значущість впливу досліджуваних факторів визначалася в цілому для усього досліджуваного комплексу проб. Для кожного місця відбору проб ґрунту статистична значущість різниці між дослідом та контролем (окремо для кореня і паростку, а також для кожного тест-об'єкта) визначалася за Стьюдентом. Множинні порівняння підвищують вірогідність статистичної помилки I роду (прийняття альтернативної гіпотези у той час, коли є вірною нульова). Щоб виправити це, ми застосували метод Хольма (Holm, 1979). Усього розглядалося 40 порівнянь досліду та контролю (12 місць було досліджено з впливу витяжок ґрунту на *Zea mays*, 8 – на *Raphanus sativus*; в усіх випадках оцінювали вплив на довжину коренів та паростків). З них виявилось значущими, із врахуванням поправки за методом Хольма, 8 відмінностей між контролем та дослідом.

Результати та обговорення

Дослідження проводили у типових ландшафтах міста Маріуполь, що знаходяться під сумісним впливом таких потужних джерел емісії важких металів, як комбінат ім. Ілліча, комбінат «Азовсталь», ОАО «Маркохім», а також локальних стаціонарних та пересувних забруднювачів місцевої інфраструктури (табл. 1, 2; рис. 1).

Таблиця 1.

Токсикологічна оцінка ґрунтів селітебної зони м. Маріуполь на *Zea mays* L.

Місце відбору проб ґрунту	Довжина, мм				Відхилення довжини відносно контролю, %	
	Корені, середнє арифметичне		Паростки, середнє арифметичне		Корені	Паростки
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід		
вул. 9-ї Авіадивізії	77,70	52,60	42,00	29,15	32,30	30,60
вул. Бахчиванджі	72,45	56,70	31,55	15,00	21,74	52,46
пр. Гурова	72,45	57,15	31,55	21,05	21,12	33,28
вул. Лавицького	72,45	55,35	31,55	16,10	23,60	48,97
вул. Нахімова	63,75	39,35	19,05	10,65	38,27	44,09
вул. Азовстальська	44,15	13,25	21,00	7,00	69,99	66,67
вул. Київська	44,15	6,05	21,00	1,60	86,30	92,38
вул. Олімпійська	44,15	31,75	21,00	12,50	28,09	40,48

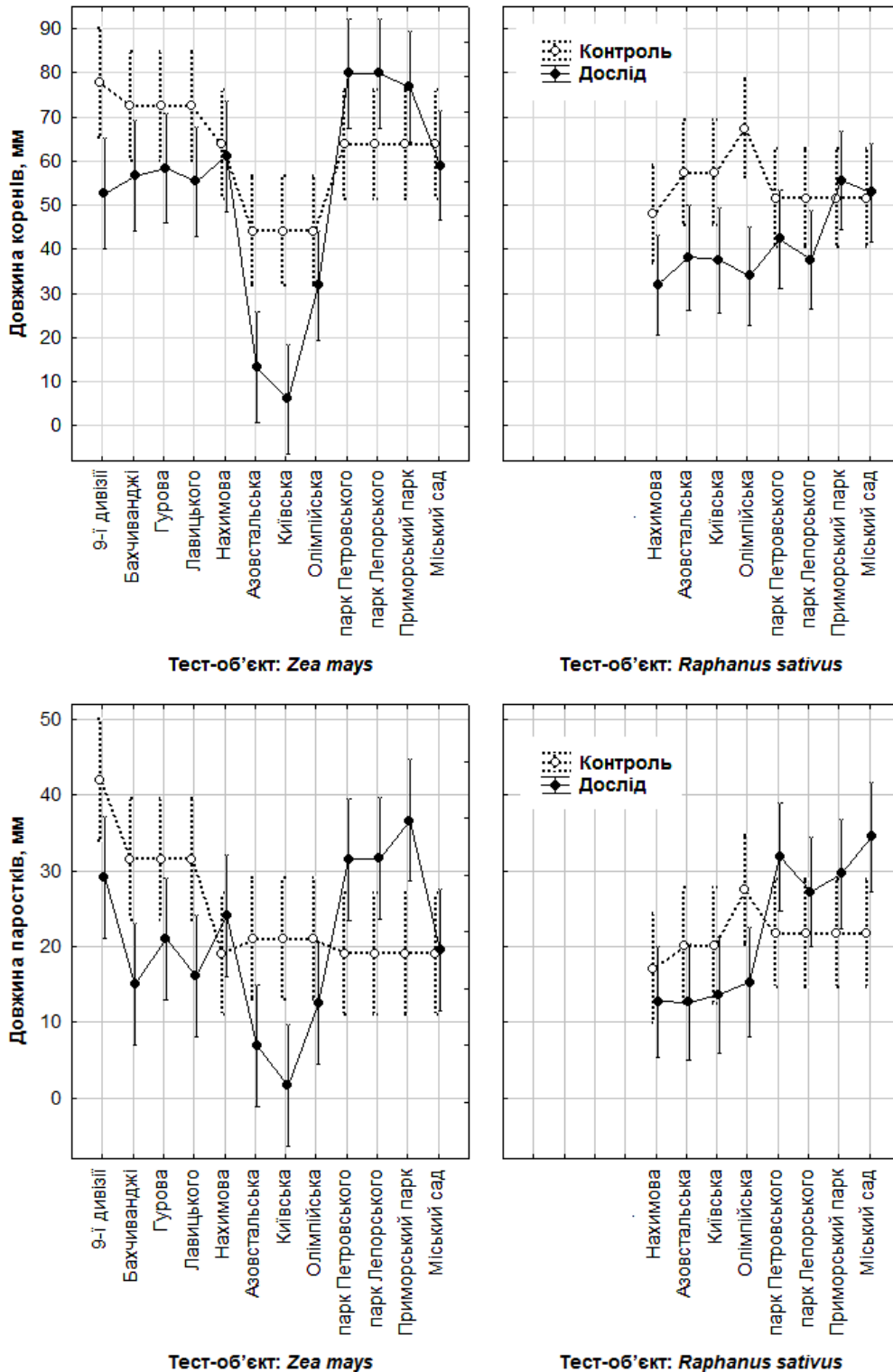


Рис. 1. Результати досліджень. Вгорі – вплив витяжки ґрунту на корені, внизу – на паростки; ліворуч тест-об'єктом була *Zea mays* L., праворуч – *Raphanus sativus* L.

В цілому місце відбору проб ґрунту та тип серії (дослід або контроль) значуще впливали на досліджувані ознаки ($p < 0,001$). Значущий вплив (із врахуванням поправки за методом Хольма) зареєстрований на *Zea mays* L. на пробах з вул. Київської (корені та паростки), Азовстальської і 9-ї Авіадивізії (корені), Бахчиванджі та Лавицького (паростки), а також на *Raphanus sativus* L. (паростки) на пробі з вул. Олімпійської.

Таблиця 2.
Токсикологічна оцінка ґрунтів селітебної зони м. Маріуполь на *Raphanus sativus* L.

Місце відбору проб ґрунту	Довжина, мм				Відхилення довжини відносно контролю, %	
	Корені, середнє арифметичне		Паростки, середнє арифметичне		Корені	Паростки
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід		
вул. Нахімова	39,90	25,53	14,27	10,17	36,01	28,74
вул. Азовстальська	57,27	38,09	20,05	12,64	33,49	36,96
вул. Київська	57,27	37,50	20,05	13,68	34,52	31,75
вул. Олімпійська	56,17	28,30	22,87	12,77	49,61	44,17

Для отримання комплексної оцінки тестування визначали індекс інтегральної фітотоксичності (табл. 3):

$$I\Phi = \lg \left[\frac{(D_p + D_k + E_p)_{\text{дослід}}}{(D_p + D_k + E_p)_{\text{контроль}}} \right], \quad (2)$$

де D_p – довжина паростків;
 D_k – довжина коренів;
 E_p – енергія проростання.

Таблиця 3.
Індекс інтегральної фітотоксичності при біотесуванні антропогенно перетворених ґрунтів селітебних зон м. Маріуполь

№	Місце відбору проб	Індекс фітотоксичності (IΦ)		IΦ _{ср}
		<i>Zea mays</i> L.	<i>Raphanus sativus</i> L.	
1.	вул. 9-ї Авіадивізії	0,11		0,11
2.	вул. Бахчиванджі	0,16		0,16
3.	пр. Гурова	0,12		0,12
4.	вул. Лавицького	0,17		0,17
5.	вул. Нахімова	0,0099	0,44	0,22
6.	вул. Азовстальська	0,46	0,23	0,34
7.	вул. Київська	0,82	0,28	0,55
8.	вул. Олімпійська	0,13	0,18	0,15

Таким чином, ми бачимо, що найвищий індекс фітотоксичності зареєстровано на вул. Київській, а найменший – на вул. 9-ї Авіадивізії.

Мешканці міста однозначно мають потребу у місцях, де можливо відпочити без шкоди для здоров'я. Рекреаційні зони набувають особливого значення в межах урбосистеми. Адже вони мінімізують загальне навантаження на систему та створюють оптимальні умови існування для біотичних організмів. Найбільш репрезентативною, для встановлення екологічного благополуччя, є ґрунтова система. Саме в ній накопичується інформація щодо надходження поллютантів, їх взаємодія та вплив на живі організми. У даному контексті розглядаються паркові зони міста Маріуполь, які розташовані у різних районах.

Міський сад – найстаріший парк м. Маріуполь, який було закладено понад 150 років тому. У цьому парку поєднані різноманітні багаторічні рослини – акація, клен та горіх, іноді зустрічаються голкові рослини. Площа Міського саду – 60100 м².

У парку імені Петровського поєднані багаторічні рослини – клен, туї, піхти, каштани. Площа цієї території складає 101200 м².

Парк імені Лепорського розміщено у районі, де зосереджені металургійні комбінати «Азовсталь» та «Ілліча». На території парку висаджені широколистяні рослини – горіх, клен та каштан. Площа парку складає 155700 м².

Приморський парк є найбільшим за площею – 721000 м². На території парку переважають верби, тополі, акації.

За допомогою біотестування на вищих рослинах (табл. 4, 5) визначено, що токсичні властивості виявив тільки ґрунт з парку імені Лепорського. Це пов'язано з тим, що ця рекреаційна зона розташована поблизу з потужними джерелами забруднення, також у цьому парку була проведена реконструкція і тим самим було порушено багато природних ділянок, які і забезпечують процеси розкладання забруднюючих речовин.

Таблиця 4.

Токсикологічна оцінка ґрунтів рекреаційних зон м. Маріуполь на *Zea mays* L.

Місце відбору проб ґрунту	Довжина, мм				Відхилення довжини відносно контролю, %	
	Корені, середнє арифметичне		Паростки, середнє арифметичне		Корені	Паростки
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід		
Приморський парк	63,75	76,85	19,05	36,65	-20,55	-92,39
Парк ім. Лепорського	63,75	79,90	19,05	31,60	-25,33	-65,88
Парк ім. Петровського	63,75	79,85	19,05	31,55	-25,25	-65,62
Міський парк	63,75	59,05	19,05	19,55	7,37	-2,62

Таблиця 5.

Токсикологічна оцінка ґрунтів рекреаційних зон м. Маріуполь на *Raphanus sativus* L.

Місце відбору проб ґрунту	Довжина, мм				Відхилення довжини відносно контролю, %	
	Корені, середнє арифметичне		Паростки, середнє арифметичне		Корені	Паростки
	Контроль	Дослід	Контроль	Дослід		
Приморський парк	51,48	55,52	21,72	29,64	-7,85	-36,46
Парк ім. Лепорського	51,48	37,64	21,72	27,24	26,88	-25,41
Парк ім. Петровського	51,48	42,32	21,72	31,88	17,79	-46,78
Міський парк	51,48	52,96	21,72	34,52	-2,87	-58,93

При розрахунках ми неодноразово отримували результати з від'ємним знаком. Це говорить про те, що тест-об'єкти у досліджуваних зразках витяжки ґрунту показали кращі значення тест-реакцій, ніж у контролі. Звертає на себе увагу, що витяжка ґрунтів з парків м. Маріуполь у більшості випадків стимулювала зростання коренів та пагонів; особливо цей ефект помітний на *Zea mays* L. Можна зробити висновок, що дані території є екологічно стабільними, тобто на них ще збереглися процеси самовідновлення.

Використавши два тест-об'єкти: кукурудза (*Zea mays* L.) та редька (*Raphanus sativus* L.) на однакових ділянках, можливо стверджувати, що редька виявилась більш чутливою до полютантів.

Висновки

Біотестування дає можливість швидкого отримання інтегральної оцінки токсичності, що робить дуже привабливим його застосування при скринінгових дослідженнях.

На всіх селітебних ділянках, що досліджувалися з використанням вищих рослин в якості тест-об'єктів, встановлено зниження довжини коренів та паростків, тобто усі проби ґрунту виявили токсичні властивості.

Ґрунт у паркових зонах не виявив токсичних властивостей, окрім парку ім. Лепорського, що розташований у Лівобережному районі, де зосереджені металургійні комбінати м. Маріуполь. Це свідчить про збереження процесів самовідновлення в більшості великих рекреаційних зон міста.

Незважаючи на те, що Маріуполь є промисловим містом, де зосереджені підприємства, які негативно впливають на стан навколишнього середовища та на стан здоров'я людей, парки, які були проаналізовані, виявилися стійкими до забруднень.

Список літератури

Карпачевский Л.О. Зеркало ландшафта. – М.: Мысль, 1983. – 156с. /Karpachev's'kyu L.O. Zerkalo landshafta. – M.: Mysl', 1983. – 156s./

Клименко М.О., Трушева С.С., Гроховська Ю.Р. Відновна гідроекологія порушених річкових та озерних систем (гідрохімія, гідробіологія, гідрологія, екологія, управління). – Рівне, 2004. – Т.III. – 211с. /Klimenko M.O., Trusheva S.S., Grokhov's'ka Yu.R. Vidnovna gidroekologiya porushenykh richkovykh ta ozernykh system (gidrokhimiya, gidrobiologiya, gidrologiya, ekologiya, upravlinnya). – Rivne, 2004. – T.III. – 211s./

Теоретические вопросы биотестирования / Под ред. В.И.Лукьяненко. – Волгоград: Волгоградская правда, 1983. – 200с. /Teoreticheskiye voprosy biotestirovaniya / Pod red. V.I.Luk'yanenko. – Volgograd: Volgogradskaya pravda, 1983. – 200s./

Baran A., Jasiewicz C., Antonkiewicz J. Testing toxicity of oily grounds using phytotoxkit tests // The First Joint PSE-SETAC Conference on Ecotoxicology. Book of Abstracts. – Poland, 2009, poster.

Biologische Testverfahren / Eds. K.G.Steinhauser, P.D.Hansen. – Stuttgart: Gustav-Fisher Verlag, 1992. – 884p.

Holm S. A simple sequentially rejective multiple test procedure // Scandinavian Journal of Statistics. – 1979. – Vol.6, no. 2. – P. 65–70.

ISO 11269-1995 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 1. Method for the measurement of inhibition of root growth.

ISO 11269-1995 Soil quality – Determination of the effects of pollutants on soil flora – Part 2. Effects of chemicals on the emergence and growth of higher plants.

Manual for the evaluation of laboratories performing aquatic toxicity tests // U.S. Environmental Protection Agency, Office of Research and Development. EPA/600/4-90/031. – Cincinnati, 1991. – 108p.

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, no. 1–2. – P. 151–165.

Представлено: А.А.Лісняк / Presented by: A.A.Lisnyak

Рецензент: Д.А.Шабанов / Reviewer: D.A.Shabanov

Подано до редакції / Received: 10.11.2017