

БІОЛОГІЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ

DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-07>

УДК (UDC): 556. 532 (477-924-52)

О. М. КРАЙНЮКОВ, д-р геогр. наук, проф.,
професор кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
e-mail: kraynukov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, 61022, Харків, Україна

І. А. КРИВИЦЬКА, канд. біол. наук,
доцент кафедри екологічної безпеки та екологічної освіти
e-mail: krivicka@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4727-794X>

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна
майдан Свободи, 4, 61022, Харків, Україна

О. Є. НАЙДЬОНОВА, канд. біол. наук, с.н.с.,
в.о. зав. сектору мікробіології ґрунтів
e-mail: oksana_naydyonova@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8568-5699>

Національний науковий центр «Інститут ґрунтознавства та агрохімії
імені О.Н. Соколовського»

вул. Чайковська, 4, 61024, Харків, Україна

ОЦІНКА ВПЛИВУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ НА ДИСБАЛАНС РОСТОВИХ ПРОЦЕСІВ

Мета. Визначення фітотоксичних властивостей модельних розчинів важких металів (Cd, Pb, Ni, Cu) на ріст коренів та паростків тест-рослин овес *Avena sativa* L. як представника однодольних злаків та редьки *Raphanus sativus* L. як представника дводольних рослин.

Методи. Статистичні, метод модельних розчинів, тест-рослини, біотестування.

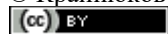
Результати. За проявом фітотоксичності на тест-рослинах *Avena sativa* L. модельних розчинів важких металів Cd, Pb, Ni, Cu встановлено, що дисбаланс ростових процесів відсутній при використанні розчинів з концентраціями 1 ГДК та 5 ГДК. При підвищенні концентрації модельних розчинів спостерігається поступове пригнічення росту паростків та особливо коренів тест-об'єктів. Найбільш токсичний вплив на тест-об'єкт чинив Cd - спостерігався фітотоксичний ефект від слабкого до сильного при впливі різних концентрацій модельних розчинів. Визначення фітотоксичних властивостей модельних розчинів важких металів Cd, Pb, Ni, Cu на тест-рослинах *Raphanus sativus* L. показало, що дисбаланс ростових процесів відсутній лише при використанні розчинів з концентраціями 1 ГДК та 5 ГДК Cu, тобто практично без перевищення нормативних вимог до якості ґрунтів. Модельні розчини Cd та Cu 40 ГДК мали найвищий ступінь дисбалансу ростових процесів тест-рослин *Raphanus sativus* L. – сильний.

Висновки. Біодіагностика за допомогою тест-рослин *Raphanus sativus* L. виявила ознаки токсичного впливу там, де тест-рослини *Avena sativa* L. не відчували пригнічення, або визначені фітотоксичні властивості модельних розчинів були меншими, що визначено у дисбалансі ростових процесів. Вищезначені розбіжності між результатами біодіагностики модельних розчинів за допомогою різних тест-культур дають змогу стверджувати, що потрібно вводити комплексний показник з визначення фітотоксичних властивостей досліджуваних зразків, за допомогою якого можливо нівелювати такі розбіжності.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: модельний, розчин, тест-об'єкт, важкі метали, фітотоксична властивість, біотестування

Як цитувати: Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є. Оцінка впливу важких металів на дисбаланс ростових процесів. *Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, серія «Екологія»*. 2023. Вип. 29. С. 66 - 76. DOI: <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-07>

© Крайнюков О. М., Кривицька І. А., Найдьонова О. Є., 2023



[This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0.](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

In cites: Krainiukov, O. M., Kryvytska, I.A., & Naidonova, O. E. (2023). Assessment of the effect of heavy metals on the imbalance of growth processes. *Visnyk of V. N. Karazin Kharkiv National University, Series «Ecology»*, (29), 66 -76. <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2023-29-01> (in_Ukrainian)

Вступ

Традиційним методом нормування забрудненості ґрунтів екзогенними та ендогенними речовинами є визначення гранично допустимої концентрації (ГДК) речовини у ґрунті. Однак унаслідок поліфункціональності та гетерогенності ґрунтів, різноманіття токсичних забруднюючих речовин, явищ синергізму і антагонізму між ними та інших об'єктивних та суб'єктивних причин використання показників концентрації окремих хімічних речовин для оцінки рівня забрудненості стикається з необхідністю введення такої кількості поправок до показників ГДК, що майже позбавляє їх сенсу. Через ці обставини хіміко-аналітичний метод є більш придатним для характеристики геохімічного середовища, ніж для визначення загальної токсичності для живих організмів [1, 2].

Сучасний підхід до оцінки якості компонентів навколишнього середовища, зокрема ґрунтів, базується на еколого-токсикологічному принципі «нормального функціонування» екосистем і ураховує взаємозв'язок компонентів біоценозу та взаємодію забруднювачів із ґрунтом [3].

У роботах [4, 5] запропоновано використовувати рослинні процеси для оцінки токсичності забруднюючих речовин при проростанні насіння та подовженні коренів салату (*Lactuca sativa* L.). Салат широко використовується для оцінки стану ґрунту через його здатність акумулювати забруднюючі речовини корінням і накопичувати їх у коренях і пагонах [6].

У роботі [7] різні концентрації розчинних елементів у ґрунтах використовували для визначення фітотоксичності за допомогою салату *Lactuca sativa* L. Розчини отримували з екстрактів ґрунт-вода (1:1), які мали нейтральний рН і наднормативні концентрації As, Pb, Zn, Mn, Co та Ni. Оцінювались наступні характеристики: проростання насіння (SG), подовження кореня (RE), швидкість проростання (GR) і некроз кореня (RN). Найбільш чутливими змінними в експерименті з цими розчинами були встановлені GR і RN, у цих змінних розчин викликав

зниження на 44% і 67%, відповідно, по відношенню до контролю (дистильована вода).

У дослідженні [8] оцінювалась токсичність розчинів різних концентрацій Cd, Pb, Ni, Cu на насінні салату, броколі, томатів і редьки з використанням матеріалу двох шарів: агару та фільтрувального паперу. За результатами експериментів було встановлено, що на відсоток схожості та подовження кореня суттєво не впливають різні концентрації досліджуваних металів. Радикальне пригнічення росту залежало від металу, досліджуваної концентрації та виду рослини, серед перевірених металів кадмій був таким, що виявив найвищий токсичний вплив на різні види рослин.

За допомогою насіння салату *Lactuca sativa* L. було проведено експериментальні дослідження фітотоксичного впливу важких металів у наступних концентраціях, мг/кг: Cd (0,33÷26), Cr (41÷400), Ni (32÷120), Pb (27÷170). Після попереднього проростання та дводенного впливу фільтратів не спостерігалось істотних відмінностей щодо подовження коренів у всіх досліджуваних концентраціях металів. Схожість, кількісно визначена через 3 і 7 днів, не виявила суттєвих відмінностей між обробленим насінням і контролем [9].

Проведений аналіз у дослідженні [10] показав, що проростання насіння ячменю *Hordeum* L. пригнічується наявністю осаду стічних вод. Лабораторні експерименти підтвердили цей ефект і показали, що проростання не пригнічується остаточно, а лише сповільнюється. Період затримки залежав від дози і збільшувався пропорційно кількості доданого мулу. Подібний ефект був викликаний важкими металами (Cu, Ni, Zn) у водному розчині, але лише в концентраціях, набагато вищих, ніж у мулі, враховуючи, що більшість загального вмісту металів у мулі знаходиться в нерозчинних або недоступних формах. Результати показали, що ефект був більш тісно пов'язаний із вмістом органічної речовини у суміші мулу та ґрунту, на якій інкубували насіння. Коли тестували набори

старих і нових сумішей, які відрізнялися лише вмістом органічної речовини, затримка проростання була найбільшою в нових сумішах, які містили більшу кількість органічної речовини.

Внаслідок великої специфічності реакцій різних видів рослин на штучне збільшення концентрації окремих хімічних речовин у ґрунті передбачити наслідки всіх можливих ефектів неможливо, тому дослідження впливу різноманітних забруднювачів на ріст рослин на ранніх стадіях їхнього розвитку часто показують дисбаланс ростових процесів. Співвідношення росту коренів

та паростків є хорошим діагностичним показником інших розладів, наприклад дефіциту живлення або надлишкового впливу хімічних речовин.

Таким чином, якщо на початковій стадії розвитку порівнювати дві рослини, одну із нормальним співвідношенням коренів та паростків, а іншу із диспропорціональним, то ймовірність того, що перша з них буде мати кращий розвиток у подальшому та більшу стійкість до абіотичних стресів, значно вища. На наш погляд, ці відмінності доцільно відобразити у кінцевій оцінці фітотоксичних властивостей ґрунту.

Методи дослідження

Серед можливих показників, що застосовуються для оцінювання фітотоксичності (схожість, енергія проростання, довжина коренів, довжина паростків, кореневий некроз тощо) в даному дослідженні використовували два: довжину коренів та довжину паростків. Необхідність вимірювати саме ці показники окремо зумовлена специфікою реакції рослин на присутність окремих хімічних речовин, що стимулюють ріст надземної або підземної частини. У цьому випадку може спостерігатися пригнічення кореневої системи на фоні інтенсивного апікального зростання, або навпаки. Взагалі фітотоксичний ефект може позначитися на усьому рослинному організмі, але у початковий період, коли проводиться тестування, цього можна не помітити [1].

В лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Ка-

разіна проведено серію експериментів по визначенню фітотоксичного впливу наднормативних концентрацій важких металів (Cd, Pb, Ni, Cu) на ріст коренів та паростків тест-рослин овес *Avena sativa* L. як представника однодольних злаків та редька *Raphanus sativus* L. як представника дводольних рослин. Експеримент проводився відповідно до [11]. Виготовлено наступні модельні розчини кожного з важких металів (Cd, Pb, Ni, Cu) – 1 ГДК, 5 ГДК, 10 ГДК, 20 ГДК, 30 ГДК, 40 ГДК відповідно до їх ГДК у ґрунтах.

Загальну оцінку фітотоксичності визначали шляхом введення відповідного коефіцієнту дисбалансу росту $K_{др}$ (табл. 1) [1].

Для визначення придатності насіння вищих рослин до біотестування встановлювали концентрацію розчину еталонної речовини, що викликає зменшення довжини коренів і (або) паростків на 20 % за 120 год біотестування (EK_{20-120}).

Градації ступенів дисбалансу ростових процесів

Таблиця 1

Gradations of degrees of imbalance of growth processes

Table 1

Ступінь дисбалансу росту	Коефіцієнт варіації пригнічення росту коренів та паростків, %	Коефіцієнт дисбалансу росту
Немає дисбалансу	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

Як еталонну речовину використовували калій двохромовоокислий ($K_2Cr_2O_7$) кваліфікації «чда». Вихідний розчин готували з концентрацією $1 \text{ г/дм}^3 K_2Cr_2O_7$. Для цього використовували дистильовану воду. З вихідного розчину готували серію розчинів від 100 до 200 $\text{мг/дм}^3 K_2Cr_2O_7$ з інтервалом 25 мг/дм^3 , використовуючи дехлоровану питну воду. Біотестування розчинів проводили впродовж 120 год. За результатами розраховували EK_{20-120} . Якщо одержана величина EK_{20-120} знаходилась в експериментально встановленому діапазоні реагування тест-об'єкта, який дорівнює 89,5-194,5 $\text{мг/дм}^3 K_2Cr_2O_7$, партія насіння була придатна до біотестування.

Критерієм токсичності було зниження довжини паростків і коренів рослин за наступні 120 годин порівняно із контролем (зволоження відстояною водопровідною водою).

На підставі підрахунку довжини коренів (паростків) у контролі та досліді розра-

ховувались середні арифметичні, які використовують для розрахунку відхилення довжин коренів (паростків) 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 модельних розчинів на тест-об'єкти визначали за різниці між дослідом та контролем за допомогою двохфакторного дисперсійного аналізу (ANOVA), де незалежними факторами виступали концентрації важких металів різних модельних розчинів, а залежною змінною – довжина кореня або паростка.

Фітотоксичними вважались розчини, за результатами біотестування яких значення будь-якого з перелічених критеріїв значуще відрізнялось від контролю.

Результати та обговорення

В результаті проведених експериментальних досліджень прояву фітотоксичності на тест-рослинах *Avena sativa* L. модельних розчинів важких металів Cd, Pb, Ni, Cu встановлено, що дисбаланс ростових процесів відсутній при використанні розчинів з концентраціями 1 ГДК та 5 ГДК. При підвищенні концентрації модельних розчинів спостерігається поступове пригнічення росту паростків та особливо коренів тест-об'єктів.

При дослідженні модельних розчинів Cu, Pb та Ni з концентраціями 10 та 20 ГДК було встановлено слабкий ступінь дисбалансу ростових процесів як і розчину Cd у 10 ГДК.

Концентрації розчинів Cu, Pb та Ni у 30 та 40 ГДК та Cd у 20 та 30 ГДК мали помірний ступінь дисбалансу, а модельний розчин Cd 40 ГДК мав найвищий ступінь дисбалансу ростових процесів тест-рослин *Avena sativa* L. – сильний (табл. 2, рис. 1a, 1b).

Найбільш токсичний вплив на тест-об'єкт *Avena sativa* L., за результатами досліджень чинив саме Cd – спостерігався фітотоксичний ефект від слабого до сильного при впливі різних концентрацій модельних розчинів.

Наступним кроком досліджень було визначення фітотоксичних властивостей модельних розчинів на тест-рослинах *Raphanus sativus* L.

Аналіз отриманих результатів (табл. 3, рис. 2) показав наступне: біодіагностика за допомогою тест-рослин *Raphanus sativus* L. виявила ознаки токсичного впливу там, де тест-рослини *Avena sativa* L. не відчували візуально виявленого пригнічення ростових процесів і відповідно дисбалансу ростових процесів.

Експериментальне визначення фітотоксичних властивостей модельних розчинів важких металів Cd, Pb, Ni, Cu на тест-рослинах *Raphanus sativus* L. показало, що дисбаланс ростових процесів відсутній лише при використанні розчинів з концентраціями 1 ГДК та 5 ГДК Cu, тобто практично без незначних перевищень нормативних вимог до якості ґрунтів.

Слабкий ступінь дисбалансу ростових процесів було визначено при дослідженні модельних розчинів Cd, Cu, Pb та Ni з концентраціями 10 ГДК; Cd, Pb та Ni з концентраціями 5 ГДК та Cu, Pb та Ni з концентраціями 20 ГДК.

Концентрації розчинів Cd у 20 ГДК; Cd, Cu, Pb та Ni у 30 ГДК; Pb та Ni у 40 ГДК мали помірний ступінь дисбалансу, а модельні розчини Cd та Cu 40 ГДК мали для проведеного нами експериментального дослідження найвищий ступінь дисбалансу ростових процесів тест-рослин *Raphanus sativus* L. – сильний.

Найбільш токсичний вплив на тест-об'єкт *Raphanus sativus* L, за результатами досліджень чинили Cd та Cu - фітотоксичні властивості модельних розчинів були визначені від слабкого до сильного при впливі різних концентрацій досліджуваних важких металів.

Біодіагностика за допомогою тест-рослин *Raphanus sativus* L. виявила ознаки токсичного впливу там, де тест-рослини *Avena sativa* L. не відчували пригнічення, або визначені фітотоксичні властивості модельних розчинів були меншими, що визначено у дисбалансі ростових процесів.

Вищезазначені розбіжності між результатами біодіагностики модельних розчинів за допомогою різних тест-культур дають змогу стверджувати, що потрібно вводити комплексний показник з визначення фітотоксичних властивостей досліджуваних зразків, за допомогою якого можливо нівелювати такі розбіжності.

Таблиця 2

Оцінка фітотоксичності модельних розчинів Cd, Pb, Ni, Cu на тест-рослинах *Avena sativa* L.

Table 2

Assessment of phytotoxicity of model solutions of Cd, Pb, Ni, Cu on the test plants *Avena sativa* L.

№	Зменшення довжини відносно контролю, %			Коефіцієнт варіації пригнічення росту (Кв), %	Коефіцієнт дисбалансу росту	Ступінь дисбалансу росту
	концентрація	корені	паростки			
1	1 ГДК, Cu	11	10	7	0	немає
	5 ГДК, Cu	19	10	12	0	немає
	10 ГДК, Cu	25	11	52	0,02	слабкий
	20 ГДК, Cu	35	13	63	0,02	слабкий
	30 ГДК, Cu	96	15	110	0,04	помірний
	40 ГДК, Cu	101	16	112	0,04	помірний
2	1 ГДК, Cd	9	8	6	0	немає
	5 ГДК, Cd	22	11	35	0	немає
	10 ГДК, Cd	29	14	51	0,02	слабкий
	20 ГДК, Cd	71	16	101	0,04	помірний
	30 ГДК, Cd	115	18	125	0,04	помірний
40 ГДК, Cd	180	24	305	0,06	сильний	
3	1 ГДК, Pb	12	9	10	0	немає
	5 ГДК, Pb	20	13	13	0	немає
	10 ГДК, Pb	22	14	50	0,02	слабкий
	20 ГДК, Pb	38	15	66	0,02	слабкий
	30 ГДК, Pb	88	17	115	0,04	помірний
	40 ГДК, Pb	115	21	118	0,04	помірний
4	1 ГДК, Ni	10	8	6	0	немає
	5 ГДК, Ni	17	12	11	0	немає
	10 ГДК, Ni	28	13	51	0,02	слабкий
	20 ГДК, Ni	41	17	67	0,02	слабкий
	30 ГДК, Ni	92	17	115	0,04	помірний
	40 ГДК, Ni	98	18	120	0,04	помірний

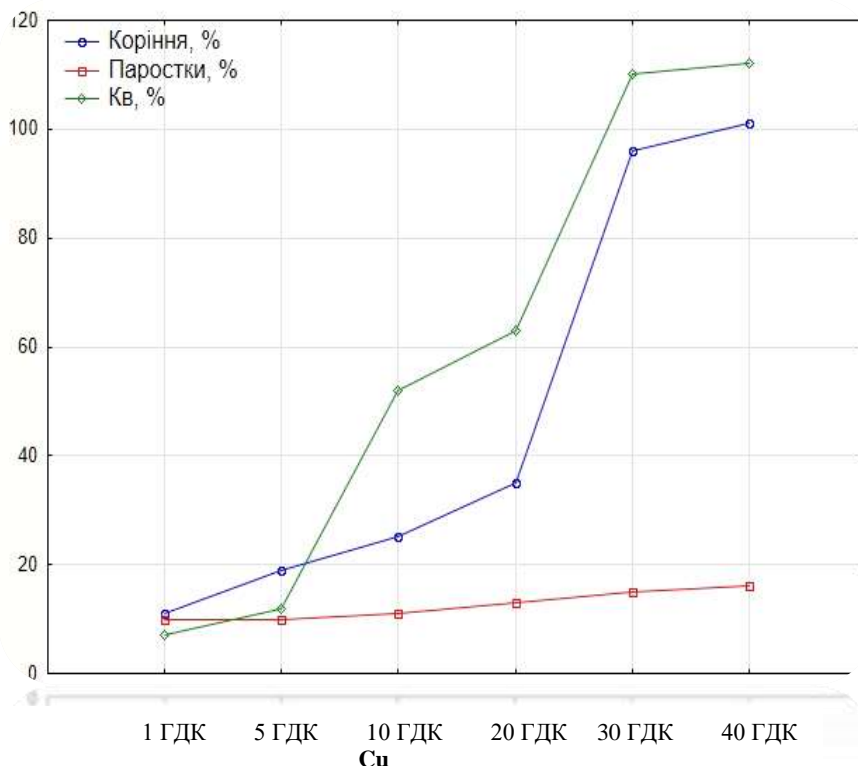
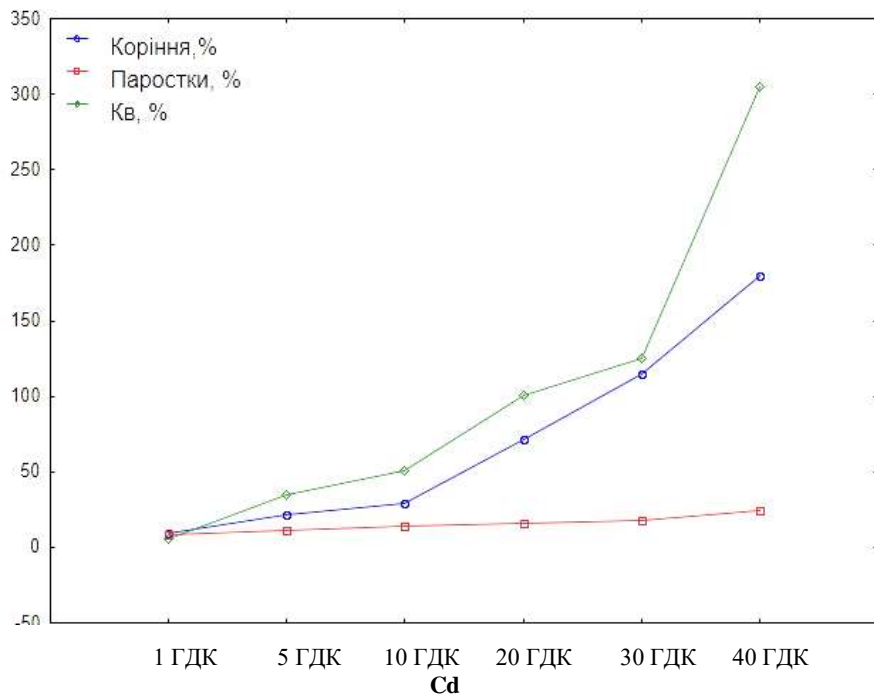


Рис. 1а – Вплив різних концентрацій модельного розчину Cd, Cu на коефіцієнт варіації пригнічення ростових процесів *Avena sativa* L.

Fig. 1a – The influence of different concentrations of the model solution of Cd, Cu on the coefficient of variation of inhibition of growth processes of *Avena sativa* L.

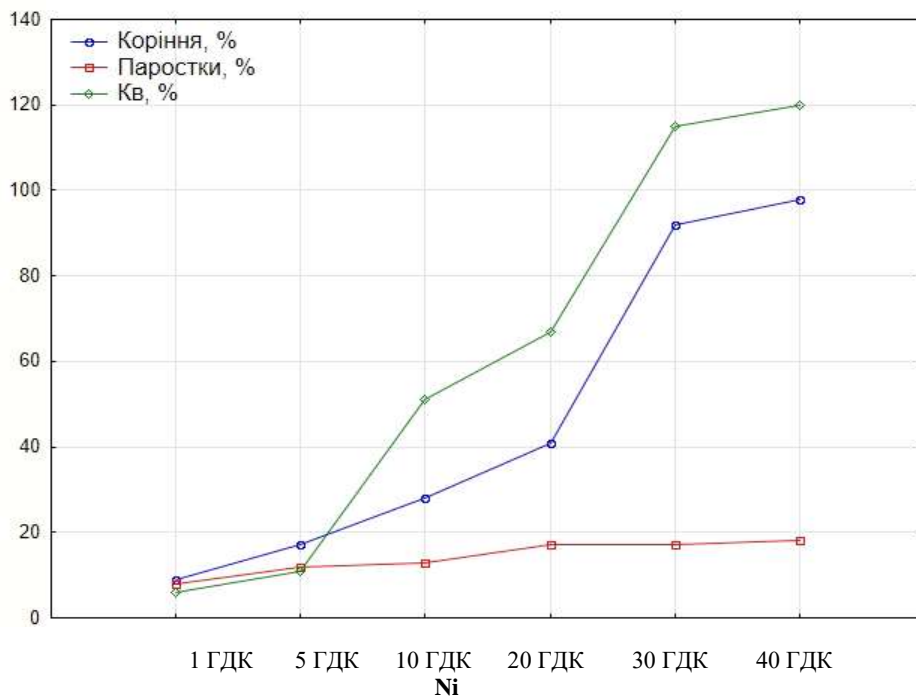
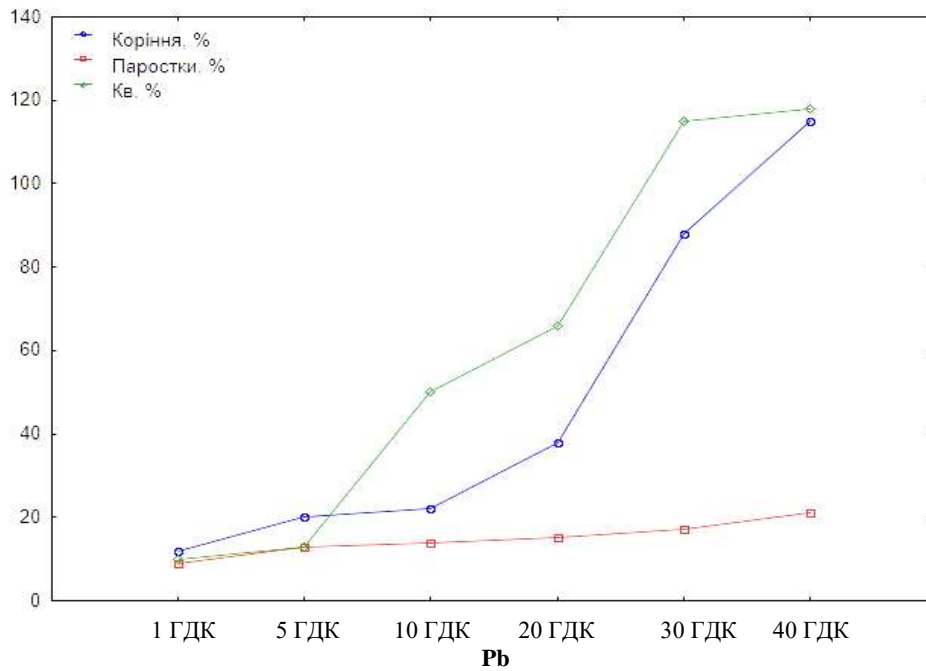


Рис. 1б – Вплив різних концентрацій модельного розчину Pb, Ni, на коефіцієнт варіації пригнічення ростових процесів *Avena sativa* L.

Fig. 1b – The influence of different concentrations of the model solution of Pb, Ni, on the coefficient of variation of inhibition of growth processes of *Avena sativa* L.

Таблиця 3
Оцінка фітотоксичності модельних розчинів Cd, Pb, Ni, Cu на тест-рослинах *Raphanus sativus* L.
Table 3
Assessment of phytotoxicity of model solutions of Cd, Pb, Ni, Cu on the test plants *Raphanus sativus* L.

№	Зменшення довжини відносно контролю, %			Коефіцієнт варіації пригнічення росту (Кв), %	Коефіцієнт дисбалансу росту	Ступінь дисбалансу росту
	концентрація	корені	паростки			
1	1 ГДК, Cu	17	14	11	0	немає
	5 ГДК, Cu	29	15	44	0	немає
	10 ГДК, Cu	41	20	62	0,02	слабкий
	20 ГДК, Cu	64	25	95	0,02	слабкий
	30 ГДК, Cu	120	40	195	0,04	помірний
	40 ГДК, Cu	190	45	309	0,06	сильний
2	1 ГДК, Cd	20	19	3	0	немає
	5 ГДК, Cd	41	20	51	0,02	слабкий
	10 ГДК, Cd	53	22	86	0,02	слабкий
	20 ГДК, Cd	94	25	135	0,04	помірний
	30 ГДК, Cd	155	27	230	0,04	помірний
	40 ГДК, Cd	210	29	390	0,06	сильний
й	1 ГДК, Pb	13	11	9	0	немає
	5 ГДК, Pb	31	13	50	0,02	слабкий
	10 ГДК, Pb	44	15	59	0,02	слабкий
	20 ГДК, Pb	63	17	78	0,02	слабкий
	30 ГДК, Pb	92	20	120	0,04	помірний
	40 ГДК, Pb	138	23	145	0,04	помірний
4	1 ГДК, Ni	11	9	6	0	немає
	5 ГДК, Ni	40	14	59	0,02	слабкий
	10 ГДК, Ni	69	16	83	0,02	слабкий
	20 ГДК, Ni	105	18	135	0,02	слабкий
	30 ГДК, Ni	140	20	186	0,04	помірний
	40 ГДК, Ni	194	22	280	0,04	помірний

Висновки

В лабораторії еколого-токсикологічних досліджень ННІ екології Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна проведено серію експериментів по визначенню фітотоксичних властивостей модельних розчинів важких металів (Cd, Pb, Ni, Cu) на ріст коренів та паростків тест-рослин овес *Avena sativa* L. як представника однодольних злаків та редька *Raphanus sativus* L. як представника дводольних рослин. Виготовлено модельні розчини кожного з важких металів (Cd, Pb, Ni, Cu) – 1 ГДК, 5 ГДК, 10 ГДК, 20 ГДК, 30 ГДК, 40 ГДК відповідно до їх ГДК у ґрунтах.

Найбільш токсичний вплив на тест-об'єкт *Avena sativa* L. за результатами досліджень чинив Cd - спостерігався фітотоксичний ефект від слабкого до сильного при впливі різних концентрацій модельних розчинів.

При використанні в експериментах в якості тест-об'єкта *Raphanus sativus* L. визначено, що Cd та Cu чинили весь спектр фітотоксичних властивостей у різних концентраціях модельних розчинів - від слабкого до сильного.

За результатами проведеного експерименту можна зробити висновок, що тест-рослини *Raphanus sativus* L. є більш чутливими до токсичної дії обраних нами важких металів.

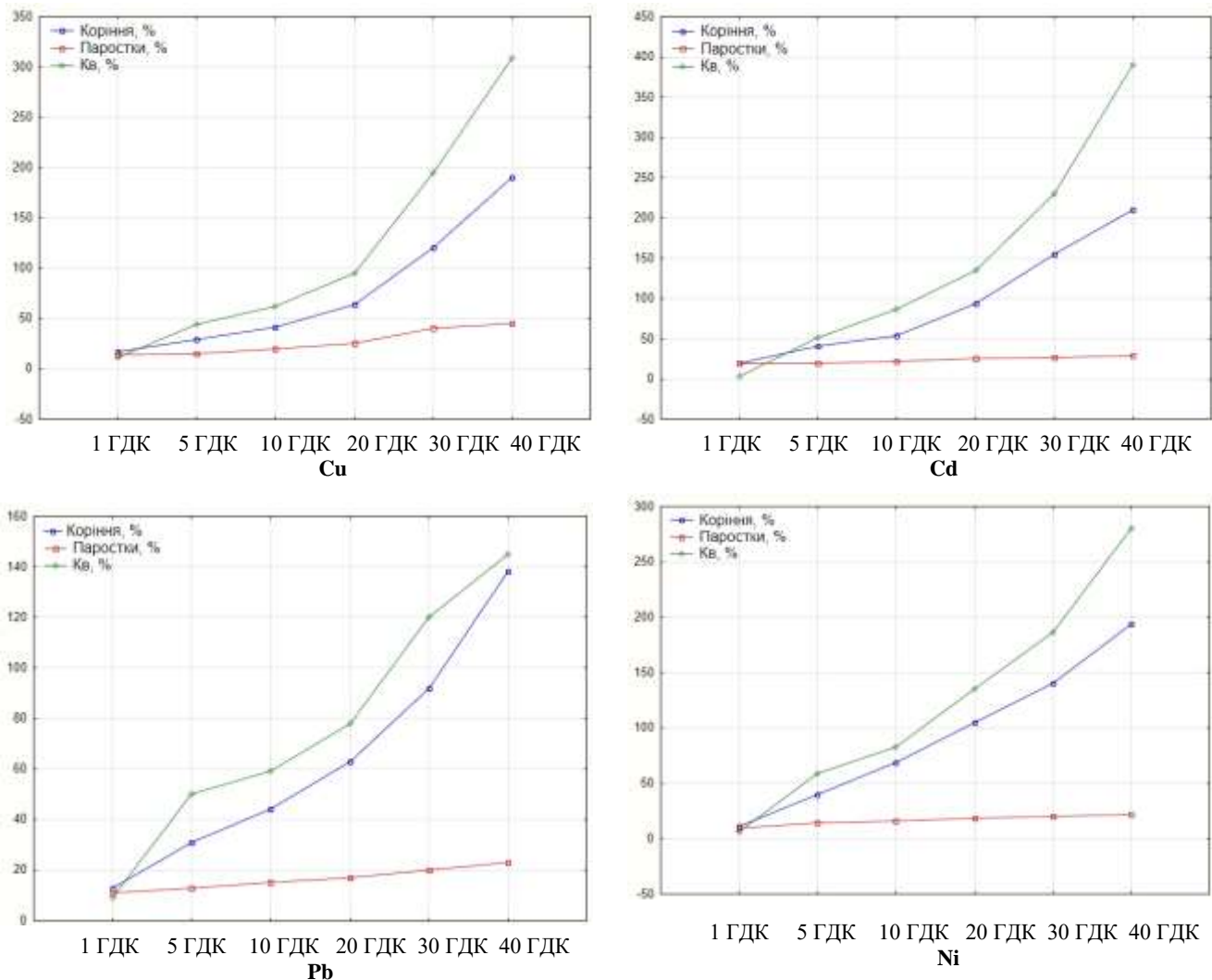


Рис. 2 - Вплив різних концентрацій модельного розчину Cd, Pb, Ni, Cu на коефіцієнт варіації пригнічення ростових процесів *Raphanus sativus L.*

Fig. 2 – The influence of different concentrations of the model solution of Cd, Pb, Ni, Cu on the coefficient of variation of inhibition of growth processes of *Raphanus sativus L.*

Конфлікт інтересів

Автори повідомляють про відсутність конфлікту інтересів. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію

Список використаної літератури

1. Кривицька І. А. Діагностика та моніторинг забруднення ґрунтів важкими металами в урбанізованих ландшафтах Приазов'я : дис. ... канд. біол. наук : 03.00.18. Харків, 2020. 187с.
2. Кривицька І., Крайнюков О. Принципи та методи діагностики та моніторингу важких металів у ґрунті урбанізованих територій. *Міжнародний науковий журнал "Інтернаука"*. 2023. No 12 (146). С. 9-12. DOI: <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-12>
3. Visioli G., Menta C., Gardi C., Conti F. Metal toxicity and biodiversity in serpentine soils: Application of bioassay tests and microarthropod index. *Chemosphere*. 2013. Vol. 90. No 3. P. 1267-1273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.081>.

4. Bagur-González M., Estepa-Molina C., Martín-Peinado F., Morales-Ruano S. Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal (loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *J.SoilsSediments*. 2010. No 11. P. 281-289. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>
5. Adamo P., Lavazzo P., Albanese S., Agrelli D., De Vivo B., Lima A. Bioavailability and soil-to-plant transfer factors as indicators of potentially toxic element contamination in agricultural soils. *Sci. Total Environ.*, 2014. No 500–501. P. 11-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.085>
6. Mtisi M., Gwenzi W. Evaluation of the phytotoxicity of coal ash on lettuce (*Lactuca sativa* L.) germination, growth and metal uptake. *Ecotoxicology and environmental safety*. 2019. Vol. 170. P. 750-762. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.047>
7. Sparks D. L. Environmental Soil Chemistry. 2th ed. 2003. *University of Delaware*. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-656446-4.X5000-2>
8. Salvatore M., Carafa A., Carratù, G. Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates, *Chemosphere*, 2008. Vol. 73. No 9. P. 1461-1464. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.061>.
9. Urionabarrenetxea E., Garcia-Velasco N., Zaldibar B., Soto, M. Impacts of sewage sludges deposition on agricultural soils: Effects upon model soil organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*. 2022. Vol.255. 109276. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109276>.
10. Wollan E., Davis R.D., Jenner S. Effects of sewage sludge on seed germination, *Environmental Pollution*, 1970. Vol.17. No 3. P. 195-205. DOI: [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(78\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0013-9327(78)90037-X).
11. US EPA (United States Environmental Protection Agency). Ecological effects test guidelines. OPPTS 850.4200, *Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test*. EPA, No 712 C, 1996. P.96-154.

Стаття надійшла до редакції 30.10.2023

Стаття рекомендована до друку 27.11.2023

O. M. KRAINIUKOV, DSc (Geography), Professor,

Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education
e-mail: kraynukov@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-5264-3118>

V. N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022

I.A. KRYVYTSKA, PhD (Biology),

Associate Professor of the Department of Environmental Safety and Environmental Education

e-mail: krivicka@karazin.ua ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-4727-794X>

V. N. Karazin Kharkiv National University

4 Svobody Sq., Kharkiv, 61022

O. E. NAIDONOVA, PhD (Biology), Senior Researcher

Acting Head of Soil Microbiology Sector

e-mail: oksana_naydyonova@ukr.net ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8568-5699>

*National Scientific Center "Institute for Soil Science and Agrochemistry Research
named after O.N. Sokolovsky"*

4, Chaykovska str., Kharkiv, 61024, Ukraine

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF HEAVY METALS ON THE IMBALANCE OF GROWTH PROCESSES

Purpose. To determine the phytotoxic properties of model solutions of heavy metals (Cd, Pb, Ni, Cu) on the growth of roots and sprouts of the test plants of oats *Avena sativa* L. as a representative of monocotyledonous cereals and radish *Raphanus sativus* L. as a representative of dicotyledonous broad-leaved plants.

Methods. Statistical, model solutions, test plants, biotesting.

Results. As a result of phytotoxicity of model solutions of heavy metals Cd, Pb, Ni, Cu on *Avena sativa* L. test plants, it was established that there is no imbalance of growth processes when using solutions with concentrations of 1 MPC and 5 MPC. With an increase in the concentration of model solutions, there is a gradual inhibition of the growth of sprouts and especially the roots of the test objects. The most toxic effect on the test object, according to the research results, was caused by Cd - a phytotoxic effect from weak to strong was observed under the influence of different concentrations of model solutions. Experimental determination of the phytotoxic properties of model solutions of heavy metals Cd, Pb, Ni, Cu on test plants *Raphanus sativus* L. showed that the imbalance of growth processes is absent only when using solutions with concentrations of 1 MPC and 5 MPC Cu, i.e. practically without exceeding the regulatory requirements for soil quality. Model solutions of Cd and Cu 40 MPC had the highest degree of imbalance in the growth processes of the test plants *Raphanus sativus* L. – strong for the experimental study we conducted.

Conclusions. Biodiagnostics using *Raphanus sativus* L. test plants revealed signs of toxic effects where *Avena sativa* L. test plants did not experience inhibition, or the determined phytotoxic properties of the model solutions were lower, which is determined by the imbalance of growth processes. The above-mentioned discrepancies between the results of biodiagnostics of model solutions with the help of different test cultures make it possible to assert that it is necessary to introduce a comprehensive indicator for determining the phytotoxic properties of the studied samples, with the help of which it is possible to level such discrepancies.

KEY WORDS: *model solutions, test objects, heavy metals, phytotoxic properties, biotesting*

References

1. Kryvytska I. A. (2020). Diagnostics and monitoring of soil pollution by heavy metals in urbanized landscapes of the Azov region. PhD thesis. Kharkiv, National Scientific Center “Institute for Soil Science and Agrochemistry Research named after O.N. Sokolovsky”.
2. Kryvytska, I., Krainyukov, O. (2023). Principles and methods of diagnosis and monitoring of heavy metals in the soil of urbanized areas. *Internauka*, 12 (146). 9-12. <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2023-12>
3. Visioli, G., Menta, C., Gardi, C., Conti, F. (2013). Metal toxicity and biodiversity in serpentine soils: Application of bioassay tests and microarthropod index. *Chemosphere*, 90 (3), 1267-1273. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.09.081>
4. Bagur-González, M., Estepa-Molina, C., Martín-Peinado, F., Morales-Ruano, S. (2010). Toxicity assessment using *Lactuca sativa* L. bioassay of the metal (loid)s As, Cu, Mn, Pb and Zn in soluble-in-water saturated soil extracts from an abandoned mining site. *J.SoilsSediments*, 11, 281-289. <https://doi.org/10.1007/s11368-010-0285-4>
5. Adamo, P., Lavazzo, P., Albanese, S., Agrelli, D., De Vivo, B., Lima, A. (2014). Bioavailability and soil-to-plant transfer factors as indicators of potentially toxic element contamination in agricultural soils. *Sci. Total Environ.*, 500–501, 11-22. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.08.085>
6. Mtisi, M., & Gwenzi, W. (2019). Evaluation of the phytotoxicity of coal ash on lettuce (*Lactuca sativa* L.) germination, growth and metal uptake. *Ecotoxicology and environmental safety*, 170, 750-762. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.12.047>
7. Sparks, Donald L. (2003). Environmental Soil Chemistry. 2th ed. *University of Delaware*, 352. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-656446-4.X5000-2>
8. Salvatore, M., Carafa, A., Carratù, G. (2008). Assessment of heavy metals phytotoxicity using seed germination and root elongation tests: A comparison of two growth substrates, *Chemosphere*, 73 (9), 1461-1464. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2008.07.061>
9. Urionabarrenetxea, E., Garcia-Velasco, N., Zaldibar, B., Soto, M. (2022). Impacts of sewage sludges deposition on agricultural soils: Effects upon model soil organisms. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 255, 109276. <https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2022.109276>
10. Wollan, E., Davis, R.D., Jenner, S. (1970). Effects of sewage sludge on seed germination, *Environmental Pollution*, 17(3), 195-205. [https://doi.org/10.1016/0013-9327\(78\)90037-X](https://doi.org/10.1016/0013-9327(78)90037-X)
11. US EPA (United States Environmental Protection Agency). (1996). Ecological effects test guidelines. OPPTS 850.4200, *Seed Germination/Root Elongation Toxicity Test*. EPA, (712 C), 96-154.

The article was received by the editors 30.10.2023

The article is recommended for printing 27.11.2023