

БІОІНДИКАЦІЯ ЯК МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ГРУНТУ ТА ВПЛИВУ ЗАБРУДНЮВАЧІВ НА ФЛОРУ: АНАЛІЗ ІНГІБІТОРНОЇ ДІЇ НА РІСТ КОРЕНІВ ТА ВПЛИВ ХІМІЧНИХ РЕЧОВИН НА ПРОРОСТАННЯ ТА РІСТ РОСЛИН

Босюк А.С., Шестопапов О.В., Разно М.Р.

Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»

вул. Кирпичова, 2, 61002, м. Харків

bosuyk0614@ukr.net, pheonixalex@gmail.com

Аналіз інгібиторної дії на ріст коренів та вплив хімічних речовин на проростання та ріст рослин – це комплексний підхід до вивчення впливу різних хімічних сполук на розвиток рослинності. Цей аналіз включає в себе вимірювання довжини коренів під впливом різних концентрацій речовин, що можуть бути як стимулюючими, так і токсичними для рослин. Дослідження інгібиторної дії дозволяє встановити міру пригнічення або стимулювання росту коренів, що важливо для оцінки токсичності та екологічної безпеки різних хімічних речовин в агроекосистемах. У статті було досліджено вплив забруднення ґрунту змащувально-охолоджуючими рідинами (ЗОР) на розвиток крес-салату. Експеримент включав аналіз токсичності різних концентрацій ЗОР (1%, 5%, 10%, 25% та 50%) на основі вимірювання довжини коріння рослин, та оцінку впливу на фітотоксичність за шкалою середньої довжини коріння. Результати показали виражений негативний вплив забруднення ґрунту на ріст крес-салату, особливо при концентраціях 25% та 50% ЗОР, що відображається на вищому рівні токсичності (на основі візуального спостереження). Для оцінки токсичності використовувалася шкала, де 0–20% відповідає слабкому рівню пригнічення, а 80,1–100% – максимальному рівню токсичності. Отримані результати вказують на необхідність уважного моніторингу якості ґрунту та регулювання рівня забруднення для збереження рослинності та екосистем. Отримані результати вказують на необхідність проведення комплексних заходів з контролю та моніторингу якості ґрунту в антропогенно забруднених районах, особливо щодо концентрацій змащувально-охолоджуючих рідин. Негативний вплив цих речовин на розвиток рослин вказує на потенційні загрози для екосистем та біорізноманіття. Дослідження також підкреслює важливість розробки та впровадження ефективних стратегій охорони довкілля, включаючи регулювання використання та видалення забруднюючих речовин. Враховуючи високий рівень токсичності при великих концентраціях ЗОР, слід звертати особливу увагу на контроль та зменшення викидів цих речовин у навколишнє середовище для збереження стабільності та здоров'я екосистем. *Ключові слова:* біоіндикація, змащувально-охолоджувальна рідина, крес-салат.

Bioindication as a method of determining soil quality and the impact of pollutants on flora: analysis of inhibitory effect on root growth and influence of chemicals on plant germination and growth. Bosiuk A., Shestopalov O., Razno M.

Root growth inhibition assay and the effect of chemicals on plant germination and growth is a comprehensive approach to studying the impact of various chemical compounds on plant development. This analysis includes measuring the length of roots under the influence of various concentrations of substances that can be both stimulating and toxic to plants. The study of inhibitory action allows to establish the degree of inhibition or stimulation of root growth, which is important for assessing the toxicity and environmental safety of various chemicals in agroecosystems. The article investigated the effect of soil contamination with cutting fluids on the development of watercress. The experiment included the analysis of the toxicity of different concentrations of coolants (1%, 5%, 10%, 25% and 50%) based on the measurement of plant root length, and the assessment of the impact on phytotoxicity on the scale of average root length. The results showed a pronounced negative effect of soil pollution on watercress growth, especially at concentrations of 25% and 50% of POPs, which is reflected in a higher level of toxicity (based on visual observation). To assess the toxicity, a scale was used, where 0–20% corresponds to a weak level of inhibition, and 80.1–100% – to the maximum level of toxicity. The results indicate the need for close monitoring of soil quality and regulation of pollution levels to preserve vegetation and ecosystems. The results indicate the need for comprehensive measures to control and monitor soil quality in anthropogenically contaminated areas, especially with regard to the concentrations of lubricating and cooling fluids. The negative impact of these substances on plant development indicates potential threats to ecosystems and biodiversity. The study also emphasizes the importance of developing and implementing effective environmental protection strategies, including regulating the use and disposal of pollutants. Given the high level of toxicity at high concentrations of POPs, special attention should be paid to controlling and reducing emissions of these substances into the environment to maintain ecosystem stability and health. *Key words:* bioindication, cutting fluid, watercress.

Постановка проблеми. Сучасний стан довкілля вимагає постійного моніторингу та оцінки екологічного стану природних середовищ, зокрема, якості ґрунту та його впливу на рослинний світ.

Проблема полягає у необхідності розробки та вдосконалення методів біоіндикації для точної оцінки якості ґрунту та визначення дії забруднювачів на флору.

Актуальність дослідження. Дослідження інгібіторної дії на ріст коренів та вплив хімічних речовин на рослинну флору є вкрай актуальним у сучасному світі, де екологічні проблеми набувають все більшого значення. Розвиток ефективних методів біоіндикації для оцінки токсичності забруднювачів на ґрунт та рослинний світ дозволить вчасно виявляти проблеми екологічного забруднення, забезпечувати стале використання природних ресурсів у промисловості, а також для збереження біорізноманіття. Тому, пошук нових методів та технологій для точної оцінки токсичності речовин на рослинну флору та ґрунт стає важливим завданням для підприємств промислового сектору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз інформації щодо моніторингу стану довкілля [1] та біоіндикація як метод екологічного моніторингу [2, 5] є важливими інструментами для визначення стану природних ресурсів та впливу людської діяльності на навколишнє середовище. У роботі [3] автор вказує, що біоіндикація є не лише ефективним, але й корисним інструментом для оцінки стану збереження екосистеми, зокрема щодо якості ґрунту. Цей метод дозволяє отримувати важливі дані про рівень забруднення ґрунту токсичними речовинами.

Автори зазначають [4], що інформацію про фітотоксичність шкідливих речовин можна отримати за допомогою відповідних тест-об'єктів (пророщення насіння модельних видів рослин на різних субстратах). Цей метод полягає у висадженні насіння рослин на спеціально підготовлених пробах ґрунту або інших матеріалів, де вони мають можливість розвиватися та рости. Під час спостережень за їхнім ростом та розвитком можна виявити вплив токсичних речовин на їхній ріст, стан кореневої системи та загальний стан рослин, що дозволяє зробити висновки щодо рівня токсичності.

Також важливо знати, як ґрунти впливають на екосистему та як екосистема реагує на різноманітні зміни в навколишньому середовищі, враховуючи фізичні та хімічні аспекти [6]. Ґрунти відіграють ключову роль у житті екосистем, оскільки вони забезпечують живильний баланс для рослин, впливають на водний режим, фільтрують токсичні речовини та зберігають біорізноманіття. Розуміння взаємозв'язку між ґрунтами та екосистемами дозволяє розробляти ефективні стратегії збереження природних ресурсів, використання ґрунтів з урахуванням їхнього впливу на навколишнє середовище.

Порівняльна оцінка ґрунтів природних і аграрних екосистем за допомогою мінімальної системи біологічних показників є важливим інструментом для розуміння екологічного стану та динаміки змін у природних ресурсах. Автори наголошують [7], що біоіндикація, яка базується на вивченні взаємозв'язків між живими організмами та середовищем, дозволяє виявляти ранні ознаки екологічних проблем та змін у якості ґрунтів. Це, в свою чергу, дозволяє

ефективно реагувати на такі проблеми і приймати заходи для їх вирішення, що сприяє збереженню та відновленню природних екосистем. Такий підхід не лише допомагає зберегти біорізноманіття та здоров'я екосистем, але й сприяє сталому використанню природних ресурсів та підтримці екологічної стійкості.

Виділення нерозв'язаних раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Стаття приділяє увагу нерозв'язаним питанням, пов'язаним з екологічним станом ґрунтів та їх впливом на екосистеми, зокрема розглядається питання про вплив антропогенної діяльності, такої як промислове забруднення та використання змашувально-охолоджуючих рідин (ЗОР). Розглядається вплив токсичних речовин змашувально-охолоджуючих рідин на якість ґрунтів та екосистеми.

Новизна. Проведено експериментальні дослідження з аналізу впливу токсичних речовин змашувально-охолоджуючих рідин на фізико-хімічні та біологічні властивості ґрунтів, що розкриває нові аспекти їх взаємозв'язку та можливих наслідків інгібіторної дії на ріст коренів, підсилюючи усвідомлення про широкомасштабні екологічні виклики, пов'язані з антропогенним впливом на ґрунтові екосистеми.

Викладення основного матеріалу. У ході дослідження проведено біотестування різних зразків едафотопу (ґрунту), використовуючи метод проростання для визначення їх фітотоксичності. Цей метод базується на реакції тест-культури (крес-салат) на присутність забруднюючих речовин у ґрунті, що дозволяє виявити токсичну дію на розвиток тест-культур. Під час експерименту виміряно проростання, довжину надземної і кореневої систем, а також визначено токсичність едафотопів, забруднених змашувально-охолоджуючою рідиною за комплексом морфологічних і фізіологічних ознак крес-салату. Розвиток та проростання насіння оцінювали за стандартними методиками ДСТУ ISO 11269-1:2004 [8] та ДСТУ ISO 1269-2:2002 [9]. Фіксація тест-реакції рослин здійснюється за допомогою візуальних спостережень.

Для проведення експерименту було підготовлено проби забрудненого ЗОР ґрунту, а також проби контрольного ґрунту, який є стандартним для рослин, разом з пробами піску.

На першому етапі забруднений ґрунт створюється шляхом змішування відпрацьованої ЗОР з водою у пропорції 1:4 (концентрат 25%) та 1:2 (концентрат 50%) (рис. 1).

Для отримання забрудненого ґрунту, до ґрунту додається ЗОР у кількості 100 мл на 1 м² площі ґрунту. Після відбору проб маємо 4 зразка ґрунту (рис. 2):

- Ґрунт, забруднений 25% ЗОР (зразок 1);
- Ґрунт, забруднений 50% ЗОР (зразок 2);
- Якісний ґрунт (зразок 3);
- Пісок (зразок 4).

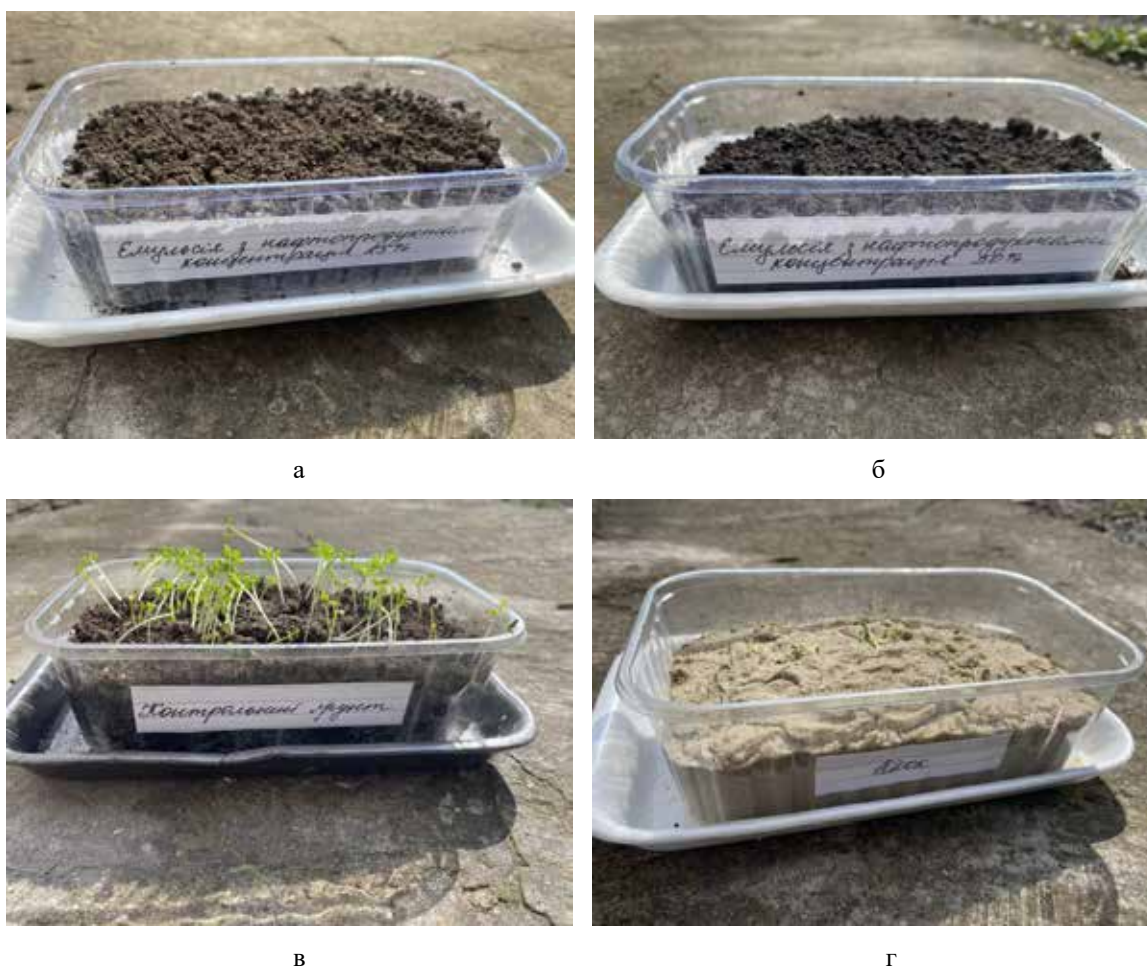


а

б

а – концентрат 25%, б – концентрат 50%

Рис. 1. Суміші змащувально-охолоджувальної рідини у відповідних пропорціях



а

б

в

г

а – ґрунт, забруднений 25 % ЗОР; б – ґрунт, забруднений 50% ЗОР; в – якісний ґрунт; г – пісок

Рис. 2. Вид рослин після пророщування протягом тижня

На основі даних з рис. 2 можна зробити висновок (візуальне спостереження), що рослини не проросли у ґрунті, який містить 25% та 50% суміш ЗОР. Це свідчить про високий рівень токсичності цих

зразків. Такий висновок говорить про можливий значний негативний вплив вказаних концентрацій ЗОР на розвиток рослин та якість ґрунту. Оскільки ми не маємо інформації про довжину коренів і верх-

ніх частин рослин (яка зазвичай використовується для визначення ефекту гальмування росту рослин), неможливо точно оцінити величину цього ефекту (дані про довжину коренів і верхніх частин рослин у якісному ґрунті та піску наведено в табл. 1). Тому, для отримання додаткових відомостей, було проведено другий етап дослідження з меншими концентраціями забруднення, а саме сумішшю ЗОР у кількості 1%, 5% та 10% (рис. 3). Відповідно, маємо 5 зразків ґрунту (рис. 4).

У цьому дослідженні використовували рослини як фітоіндикатори, вимірюючи довжину кореневої системи та верхніх частин. Результати аналізу морфологічних показників для кожного субстрату представлені в табл. 2.

Дані з табл. 2 свідчать про те, що ґрунт, забруднений ЗОР, пригнічує ріст рослин. Для оцінки фітотоксичного впливу порівнювали середні довжини коріння рослин, вирощених у забрудненому (1%, 5%, 10%) та якісному ґрунті. Виходячи із даних, що

наведені у табл. 2, можемо визначити ефект гальмування росту коріння, використовуючи формулу 1. Зведені дані внесені до табл. 3.

Величину ефекту гальмування росту рослин (фітотоксичний ефект Е) визначали за формулою:

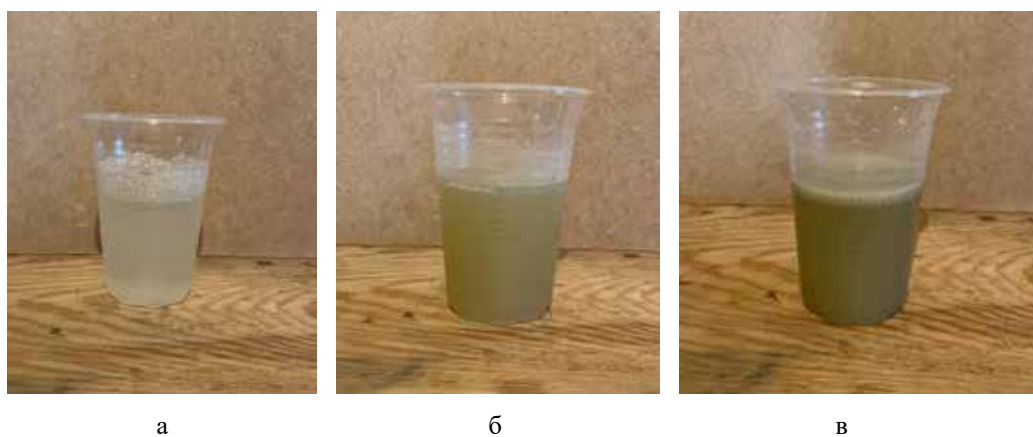
$$E = (L_k - L_d) / L_k \cdot 100\%, \quad (1)$$

де L_k – середня довжина коренів рослин у контрольному ґрунті, мм;

L_d – середня довжина коріння рослин у дослідному ґрунті, мм.

Для розрахунку середньої довжини коріння були враховані значення цього параметра для рослин у межах серії: вирощених у ґрунті, забрудненому 1% ЗОР – 12 рослин; вирощених у ґрунті, забрудненому 5% ЗОР – 7 рослин; вирощених у ґрунті, забрудненому 10% ЗОР – 6 рослин та 12 рослин, вирощених у якісному ґрунті.

Для оцінки токсичності ґрунтів за величиною середньої довжини коріння рослин використо-



а – концентрат 1%; б – концентрат 5%; в – концентрат 10%

Рис. 3. Суміш змащувально-охолоджувальної рідини у відповідних пропорціях

Таблиця 1

Морфологічні показники фітоіндикаторів дослідних рослин (концентрація 25% та 50%)

№	Довжина коріння і верхньої частини рослин, мм*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Ґрунт, забруднений 25% сумішшю ЗОР												
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ґрунт, забруднений 50% сумішшю ЗОР												
1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Якісний ґрунт та чиста вода												
1	15/ 70	12/ 65	14/ 60	15/ 55	12/ 74	13/ 47	11/ 59	10/ 62	9/ 60	11/ 61	11/ 55	15/ 65
Пісок та чиста вода												
1	17/ 40	15/ 30	10/ 30	11/ 32	7/ 31	16/ 31	10/ 42	6/ 35	15/ 45	14/ 40	9/ 31	15/ 40

Примітка: «*» у чисельнику – наведена довжина коріння, у знаменнику – довжина верхньої частини.



1 – пісок; 2 – контрольний ґрунт; 3 – ґрунт, забруднений 1% ЗОР;
4 – ґрунт, забруднений 5% ЗОР; 5 – ґрунт, забруднений 10% ЗОР

Рис. 4. Вид рослин після пророщування протягом тижня

Таблиця 2

Морфологічні показники фітоіндикаторів дослідних рослин (концентрація 1%, 5% та 10%)

№	Довжина коріння і верхньої частини рослин, мм*											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ґрунт, забруднений 1% сумішшю ЗОР												
1	55/ 37	5/ 35	10/ 35	10/ 25	15/ 28	17/ 15	10/ 30	9/ 27	11/ 33	12/ 25	9/ 35	8/ 30
ґрунт, забруднений 5% сумішшю ЗОР												
1	20/ 15	20/ 30	15/ 20	10/ 30	5/ 10	3/ 10	12/ 10	-	-	-	-	-
ґрунт, забруднений 10% сумішшю ЗОР												
1	23/ 15	5/ 25	15/ 35	2/ 22	1/ 19	15/ 17	-	-	-	-	-	-
Якісний ґрунт та чиста вода												
1	20/ 60	30/ 55	20/ 61	41/ 50	25/ 42	15/ 38	12/ 41	15/ 45	15/ 40	14/ 55	15/ 52	16/ 42
Пісок та чиста вода												
1	50/ 30	38/ 30	30/ 25	30/ 25	27/ 25	35/ 27	25/ 30	32/ 34	30/ 26	22/ 35	30/ 34	38/ 30

Примітка: «*» у чисельнику – наведена довжина коріння, у знаменнику – довжина верхньої частини.

Таблиця 3

Порівняння середніх довжин коріння та пагонів рослин

Для рослин, вирощених	Середня довжина коріння рослин становить:	Середня довжина пагонів рослин становить:	Ефект гальмування росту коріння становить:
у ґрунті, забрудненому 1% ЗОР	14,25 мм	29,58 мм	E =28,14%
у ґрунті забрудненому 5% ЗОР	12,14 мм	17,86 мм	E =38,78%
у ґрунті забрудненому 10% ЗОР	10,17 мм	22,17 мм	E =48,71%
у якісному ґрунті	19,83 мм	48,42 мм	

вувалася шкала рівнів токсичності, де 0–20% – слабкий рівень пригнічення; 20,1–40% – середній рівень токсичності; 40,1–60% – вище середнього

рівень токсичності; 60,1–80% – високий рівень токсичності; 80,1–100% – максимальний рівень токсичності.

Головні висновки. Вплив токсичних речовин ЗОР на ростові процеси рослин варіюється залежно від концентрації забруднення ґрунту. Дослідивши вплив едафічних умов на розвиток крес-салату, встановлено, що наявність забруднення ґрунту сумішшю ЗОР у концентраціях 25% та 50% призвела до повного пригнічення у рості рослин. Це свідчить про високий рівень токсичності цих зразків. Ґрунт, забруднений 1% та 5% ЗОР, характеризується середнім рівнем фітотоксично-

сті, що вказує на помірний негативний вплив цих концентрацій на ростові процеси рослин. У той же час, ґрунт, забруднений 10% ЗОР, виявляє вище середнього рівень фітотоксичності, що свідчить про значний негативний вплив цієї концентрації на рослини.

Такий аналіз дозволяє розуміти, що концентрація забруднення ґрунту є важливим фактором у визначенні його токсичності для рослинних організмів та впливу на екосистему.

Література

1. Hoivanovych, N. K. Environmental monitoring in drohobych by bioindication method. *Natural Sciences Education and Research*. 2023. Vol. 1. P. 57–62.
2. Reinikova, L., Tretjakova, R. Bioindication as an ecological monitoring method in rezekne city. *Human. Environment. Technologies. Proceedings of the Students International Scientific and Practical Conference*. 2021. Vol. 25. P. 156–163.
3. Jerez-Valle, C., García, P. A., Campos, M., Pascual, F. A simple bioindication method to discriminate olive orchard management types using the soil arthropod fauna. *Applied Soil Ecology*. 2014. Vol. 76. P. 42–51.
4. Petruk, R. V., Kravets, N. M., Kvaterniuk, S. M., Furman, Y. M., Dzierżak, R., Arshidinova, M., Jaxylykova, A. Assessment of Pesticide Phytotoxicity with the Bioindication Method. *Biomass as Raw Material for the Production of Biofuels and Chemicals*. 2021. P.43–51.
5. Fazekašová, D., Fazekaš, J. Bioindication and Bioremediation of Mining Degraded Soil. *Rhizomicrobiome Dynamics in Bioremediation*. 2021. P. 28–47.
6. Fränzle, O. Complex bioindication and environmental stress assessment. *Ecological Indicators*. 2006. Vol. 6, № 1. P. 114–136.
7. Sherstoboeva, E. V., Chabanjuk, J. V., Fedak, L. I. Bioindication of soil ecological consistence. *Agricultural Microbiology*. 2008. Vol. 7. P. 48–56.
8. ДСТУ ISO 11269-1:2004 Якість ґрунту. Визначення дії забрудників на флору ґрунту. Частина 1. Метод визначання інгібіторної дії на ріст коренів. [Чинний від 2004-04-30] Київ, 2005. 23 с. (Інформація та документація).
9. ДСТУ ISO 11269-2:2002 Якість ґрунту. Визначання дії забруднювачів на флору ґрунту. Частина 2. Вплив хімічних речовин на проростання та ріст вищих рослин. [Чинний від 2002-07-12] Київ, 2004. 22 с. (Інформація та документація).