

Фітотоксичність субстрату породних відвалів кам'яновугільних шахт за впливу попелу теплоелектростанцій і гумату калію

Phytotoxicity of the Substrate of Coal Mine Dumps under the Influence of Thermal Power Plant ash and Potassium Humate

Ярослав Шпак¹, Володимир Баранов¹, Ірина Запісоцька¹, Ольга Терек¹
Yaroslav Shpak, Iryna Zapisotska, Volodymyr Baranov, Olha Terek

¹ Ivan Franko National University of Lviv

1 Universytetska Street, Lviv, 79000, Ukraine, yaroslavcofizros@gmail.com

DOI: 10.22178/pos.20-1

LCC Subject Category:
QH540-549.5

Received 26.02.2017
Accepted 16.03.2017
Published online 20.03.2017

© 2017 The Authors. This article is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License



Анотація. Досліджено вплив попелу з відвалів Добротвірської ТЕС і гумату калію «ГКВ-45» на фітотоксичність субстрату породних відвалів кам'яновугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району. В якості біотестера використали суданську траву *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.). Виявлено збільшення висоти стебла, площі листків, довжини і маси коренів за впливу додавання попелу до субстрату породних відвалів. Застосування тільки гумату збільшило лише площу листків і масу коренів. Внесення попелу разом з гуматом достовірно підвищило значення всіх досліджених морфометричних параметрів, а вплив на масу коренів виявився ефективнішим, ніж застосування лише попелу.

З'ясовано, що додавання гумату підвищує вмісту хлорофілу *a* у листках. За додавання попелу і гумату з попелом виявлено підвищення вмісту хлорофілу *a* з одночасним зниженням вмісту феофітину *a*.

Збільшення значень морфометричних параметрів суданської трави, підвищення вмісту хлорофілу *a* у поєднанні зі зниженням вмісту феофітину *a* свідчить про зменшення стресу для рослин, спричиненого фітотоксичністю.

Встановлено, що застосування кам'яновугільного попелу ТЕС разом з гуматом калію «ГКВ-45» для зниження фітотоксичності породних відвалів ефективніше, ніж тільки одного з меліорантів.

Ключові слова: фітотоксичність; суданська трава; породні відвали кам'яновугільних шахт; кам'яновугільний попіл; гумат калію.

Abstract. The influence of ash from the Dobrotvir thermal power plant dumps and potassium humate "STB-45" on the phytotoxicity of the rock dumps substrate of coal mines in Chervonograd mining region has been researched. Sudan grass *Sorghum bicolor* subsp. *drummondii* (Nees ex Steud.) has been used as a biotester. The increase of the stem height, leaf area, length and mass of roots under the influence of the addition of ash dumps to the substrate has been discovered. Application of the humate only has increased just the leaf area and the mass of roots. Adding ash with humate significantly increased the value of all the studied morphometric parameters and the influence on the mass of roots was more effective than under the use of the ash only.

It has been found out that adding humate increases chlorophyll *a* in leaves. Adding ash and humate with ash demonstrated increasing chlorophyll *a* together with the simultaneous reduction of feofityn *a*.

Increased values of morphometric parameters of the Sudan grass, increase of chlorophyll content, combined with the reduction of feofityn, indicates the reduction of stress for plants, caused by phytotoxicity.

It has been discovered that the use of coal ash from thermal power plants together with potassium Gumat "STB-45" for reducing phytotoxicity of dumps is more effective than the use of just one of the meliorants.

Keywords: phytotoxicity; Sudan grass; waste heaps of coal mines; coal ash; potassium humate.

Вступ

Породні відвали кам'яновугільних шахт (ПВКВШ), які зокрема розташовані на території Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР) несприятливі для росту більшості рослин, оскільки мають низьке значення рН, високий вміст важких металів, провальну водопроникність і дефіцит поживних речовин [1; 9; 13]. Для проведення фітомеліорації ПВКВШ спочатку необхідно знизити їхню кислотність внесенням промислових відходів-нейтралізаторів кислотності [10; 15].

Попіл, який утворюється при роботі кам'яновугільних ТЕС забруднює довкілля через високі концентрації сполук металів і металоїдів [12; 21]. Зокрема попіл Добротвірської теплоелектростанції (ДТЕС) містить: Al_2O_3 – 21,79 %; Fe_2O_3 – 11,17 %; Ni – 111,44 г/т; Cd – 3,99 г/т; Cu – 102,29 г/т; Pb – 70,88 г/т; Zn – 212,33 г/т; Mn – 1986,65 г/т; Ge – 102,17 г/т. На відміну від породних відвалів кам'яновугільних шахт, він у більшості випадків має лужне значення рН [21; 23]. Попіл ДТЕС економічно доцільно використовувати для зниження кислотності породних відвалів ЧГПР завдяки невеликій відстані та хорошему транспортному (зокрема залізничному) сполученню між цими промисловими об'єктами [2].

Для зв'язування важких металів чи зменшення їхньої рухомості у забруднених ґрунтах і субстратах використовують гумати різного походження [5; 19; 24]. Однак внесення лише гуматів не здатне суттєво знизити кислотність, тому метою роботи було біотестування здатності сумісного застосування кам'яновугільного попелу ДТЕС і гумату калію «ГКВ-45» знижувати кислотність і фітотоксичність субстратів ПВКВШ.

Матеріали і методика досліджень

Свіжовідсипану породу сіро-чорного забарвлення відбирали з відвалів Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ), розташованої у Сокальському районі Львівської області, а кам'яновугільний попіл (КВП), акумульований при роботі повітроочисного обладнання, з відвалів ДТЕС, розташованої в смт. Добротвір Кам'янка-Бузького району Львівської області. Для дослідження впливу КВП на кислотність чорної породи вимірювали рН у 10 %

водній витяжці без додавання та з додаванням 5 % КВП за масою на приладі «Иономер универсальный ЭВ-74» у 5-ти кратній повторюваності за температури води +18,5°C та рН дистильованої води 5,5. Дану концентрацію використовували для запобігання перевищення ГДК важких металів [26] у субстратах при додаванні КВП [2].

Вплив гуматів на фітотоксичність субстрату перегорілої породи досліджували за допомогою гумату калію «ГКВ-45» виробництва ТзОВ «ПАРК» (Україна, Львівська область), який за даними виробника має наступний склад: гумінові речовини – 42 %; карбон загальний – 166,3 г/л; N – 2,4 г/л; P_2O_5 – 0,4 г/л; K_2O – 69,3 г/л; Mn – 197,99 мг/л; Fe – 132,04 мг/л; Cu – 3,17 мг/л; Zn – 19,69 мг/л; B – 2,28 мг/л; Co – 3,45 мг/л. Даний меліорант застосовували у концентрації 0,5 %.

Суданську траву *S. bicolor* subsp. *drummondii* вирощували у горщиках об'ємом 2л на території ботанічного саду ЛНУ ім. І. Франка з липня по жовтень 2016 року. Для цього у п'ятикратній повторюваності висаджували по 15 чотирьохдобових проростків, пророщених у темряві за температури 23°C.

Еталонном для порівняння слугували рослини, вирощені за впливу сприятливих едафічних факторів ґрунтосуміші з торфу, листового перегнійного ґрунту та піску у співвідношенні 1:2:1. В якості контролю використовували рослини, вирощені на субстраті з чорної породи та вищевказаної ґрунтосуміші у співвідношенні 9:1 без додавання меліорантів. Дослідні рослини вирощували на субстраті ПВКВШ з роздільним чи сумісним додаванням 5% за масою кам'яновугільного попелу (КВП) та 150 мл 0,5 % розчину гумату калію (ГК). Субстрати для дослідження готували за наступною схемою:

1. Еталон: Ґрунтосуміш (1500 г) + Вода (150 мл)
2. Контроль: Порода (1350 г) + Ґрунтосуміш (150 г) + Вода (150 мл)
3. Порода (1200 г) + Ґрунтосуміш (150 г) + КВП (150 г) + Вода (150 мл)
4. Порода (1350 г) + Ґрунтосуміш (150 г) + ГК (150 мл)
5. Порода (1200 г) + Ґрунтосуміш (150 г) + КВП (150 г) + ГК (150 мл).

Морфометричні параметри рослин визначали на 95 добу росту. Вміст хлорофілів визначали наступної доби у витяжках з листків, гомогенізованих 96 % етанолом за [14], а феофітину *a* після підкислення витяжки 2 краплями 10 % розчину HCl за [25].

Математичну обробку даних здійснювали за допомогою програми MS Excel 2007. Для перевірки статистично достовірних відмінностей між варіантами експерименту розраховували *t*-критерій Стьюдента [4].

Результати дослідження

Виявлено, що додавання 5% кам'яновугільного попелу за масою (з рН

7,4±0,2) достовірно (за $P \leq 0,05$ та $n=5$) підвищує рН субстрату чорної породи ПБКВШ з 4,1±0,1 до 4,8±0,1. Дану закономірність можна пов'язати з наявністю у попелі з ДТЕС кальцію, катіони якого зв'язують аніони оксидів сульфуру. Згідно даних [3] взятий нами КВП містив близько 4,5 % CaO.

За росту *S.bicolor* subsp. *drummondii* на субстраті ПБКВШ спостерігали значне зменшення значень морфометричних параметрів щодо еталону. Встановлено, що додавання КВП до субстрату ПБКВШ достовірно збільшує висоту стебла, площу листків (рис. 1А, табл. 1), довжину і масу коренів рослин (рис. 1Б, табл. 1).

Таблиця 1 – Морфометричні параметри *S. bicolor* subsp. *drummondii* 95-ти добових рослин за додавання кам'яновугільного попелу (КВП) та гумату калію (ГК) до субстрату ПБКВШ (n=25)

Варіанти	Висота стебла, см	Площа листків, см ²	Довжина коренів, см	Маса сухих коренів, мг
Еталон	49,8±2,0	78,2±4,1	19,7±1,1	296±23
Порода	15,7±0,7	11,5±0,7	9,4±0,5	54,5±4,9
Порода+КВП	25,1±2,0*	23,8±1,4*	12,5±0,6*	93,8±7,7*
Порода+ГК	16,3±0,8	15,5±0,6*	9,7±0,5	78,3±8,7*
Порода+КВП+ГК	24,4±1,4*	24,62±1,1*	13,9±0,7*	133±9*

Примітка (*) тут і далі: достовірна відмінність значень параметрів рослин за росту на субстраті ПБКВШ із додаванням меліорантів відносно значень рослин, що росли на субстраті ПБКВШ без додавання меліорантів, при p (*): $\leq 0,05$.

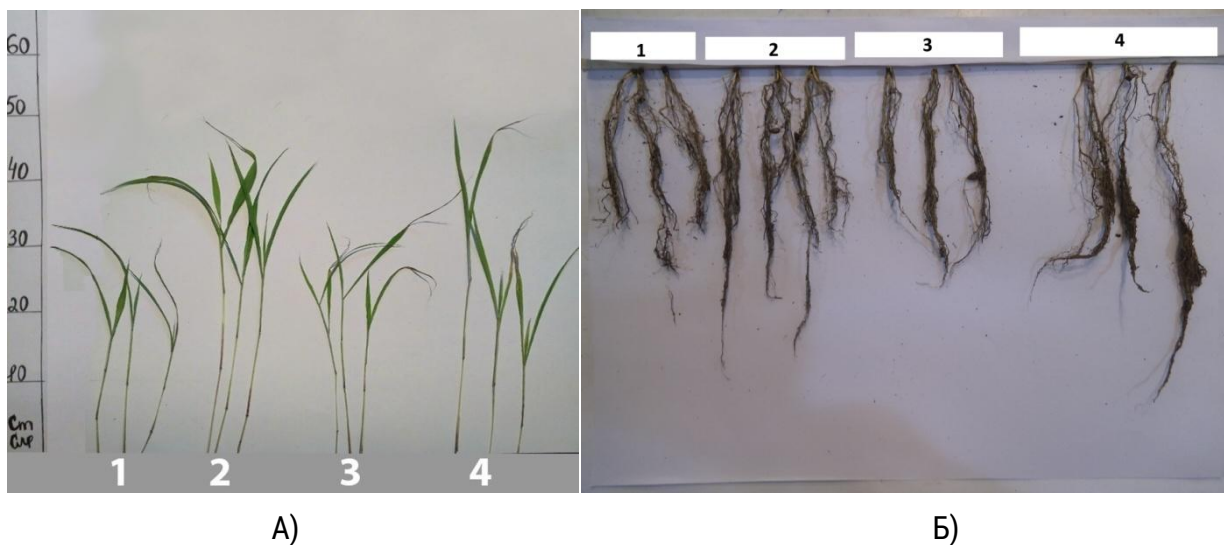


Рисунок 1 - Пагони (А) і повітряно-сухі корені (Б) *S. bicolor* subsp. *drummondii* за росту на субстраті чорної породи відвалів кам'яновугільних шахт (1), з додаванням кам'яновугільного попелу (2), гумату калію (3) і обох меліорантів разом (4)

Додавання гумату калію до субстрату ПВКВШ достовірно збільшило площу листків і масу коренів відносно контролю (табл. 1). Виявлено, що маса коренів рослин, вирощених на субстратах з сумісним додаванням попелу та гумату калію більша, ніж у рослин, вирощених на субстратах із додаванням тільки попелу (табл. 1), що зумовлено збільшенням розмірів кореневої системи *S. bicolor* subsp. *drummondii* (рис. 1Б)

Дані, щодо зміни вмісту пігментів фотосинтезу і їхнього співвідношення застосовують для біоіндикації впливу стрес-факторів і заходів щодо їх зниження [6; 7; 8; 11; 14].

У ході даного дослідження виявлено знижений вміст хлорофілу *a* з одночасним підвищенням вмісту феофітину *a* і відповідно зниженням співвідношень: хлорофіл *a/b* та хлорофіл *a/* феофітин *a* в листках *S. bicolor* subsp.

drummondii за росту на субстраті ПВКВШ щодо еталону. Додавання попелу до субстрату ПВКВШ достовірно підвищило вміст хлорофілу *a* і водночас знизило вміст феофітину *a* у листках, що спричинило достовірне збільшення співвідношень хлорофіл *a/b* і хлорофіл *a/* феофітин *a* відносно контролю. Додавання гумату достовірно підвищило вміст хлорофілу *a* і знизило вміст феофітину *a* за межі стандартного відхилення, що спричинило достовірне збільшення співвідношення хлорофіл *a/* феофітин *a*. Застосування кам'яновугільного попелу у поєднанні з гуматом калію «ГКВ-45» достовірно підвищило вміст хлорофілу *a*, знизило вміст феофітину *a* і відповідно призвело до збільшення співвідношень хлорофіл *a/b* та хлорофіл *a/* феофітин *a* відносно контролю більшою мірою, ніж додавання лише одного із досліджуваних меліорантів (табл. 2, рис. 2).

Таблиця 2 - Вміст пігментів фотосинтезу в листках 96 добових рослин *S. bicolor* subsp. *drummondii* за додавання меліорантів до субстрату ПВКВШ (n=5), мг/г сухої маси

Варіанти	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Хлорофіли <i>a+b</i>	Феофітин <i>a</i>
Еталон	7,81±0,05	3,29±0,08	11,1±0,1	1,75±0,03
Порода	4,14±0,04	3,17±0,05	7,31±0,08	3,28±0,06
Порода+КВП	4,72±0,04*	3,06±0,09	7,78±0,09*	2,56±0,04*
Порода+ГК	4,38±0,05*	3,11±0,10	7,49±0,07	3,04±0,08
Порода+КВП+ГК	5,15±0,05*	2,89±0,07	8,04±0,11*	2,39±0,06*

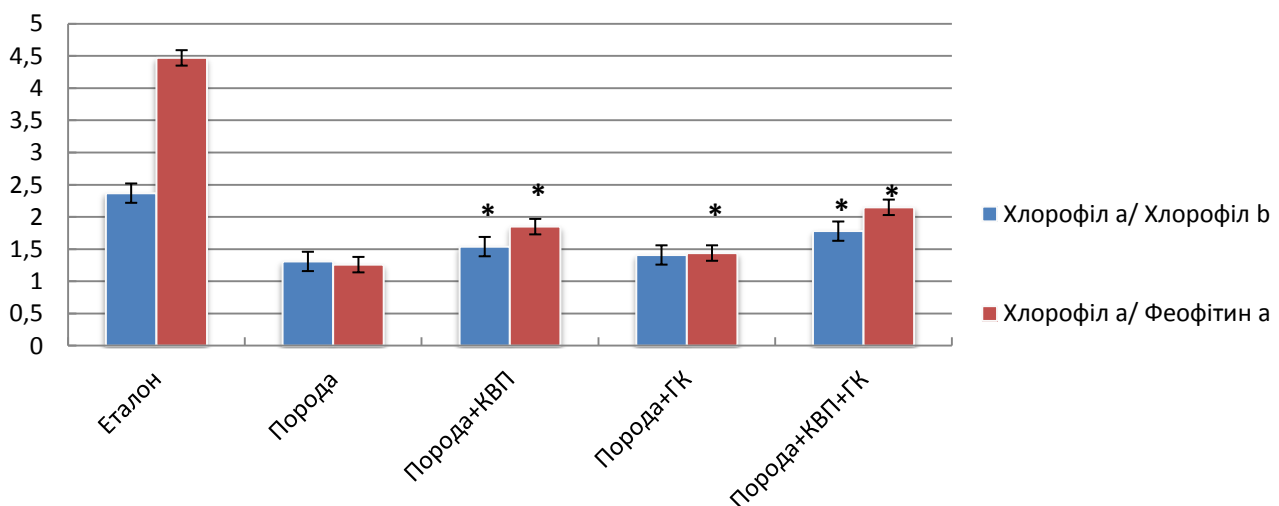


Рисунок 2 - Співвідношення вмісту пігментів фотосинтезу в листках *S. bicolor* subsp. *drummondii* за додавання меліорантів до субстрату ПВКВШ (n=5).

Збільшення значень морфометричних параметрів *S. bicolor* subsp. *drummondii* [3; 10] з підвищенням вмісту хлорофілу *a* [6; 7; 8; 14; 17;

22] і зниженням вмісту феофітину *a* [16; 18; 20] у листках свідчить про зменшення стресу для рослин. Можна припустити, що зниження

кислотності субстрату породних відвалів спричинене додаванням попелу Добротвірської теплоелектростанції зменшило рухомість сполук токсичних металів, а внесення гумату калію «ГКВ-45» зв'язало деяку їхню кількість у комплексні сполуки [5; 19; 24] і водночас частково забезпечило субстрат необхідними елементами живлення рослин.

Висновки

Застосування кам'яновугільного попелу Добротвірської теплоелектростанції для зниження фітотоксичності субстратів породи відвалів Червоноградського гірничопромислового району у поєднанні з гуматом калію «ГКВ-45» ефективніше, ніж застосування лише попелу.

Список використаних джерел / References

1. Baranov, V. I. (2008). *Ekolohichnyi opys porodnoho vidvalu vuhilnykh shakht TsZF ZAT «Lvivsystemenerho» yak subiekta ozelenennia* [Ecological scope of rock dump coal mines CCM CJ-SC "Lvivsystemenergo" as subject to plant trees and grass]. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 46, 172–178 (in Ukrainian)
[Баранов, В. І. (2008). Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ «Львівсистеменерго» як суб'єкта озеленення. *Вісник Львівського університету. Серія біологічна*, 46, 172–178].
2. Baranov, V., Banya A., Bodnar L., Blayda I., & Karpenko O. (2014). *Toksykologichnyi analiz vody drenaznykh kanav i zoly zolovidvaliv Dobrotvirskoi TES* [Toxicological analysis of water drainage and ash dump Dobrotvir thermal power station]. *Visnyk of the Lviv University. Series Biology*, 65, 238–244 (in Ukrainian)
[Баранов, В., Баня, А., Боднар, Л., Блайда, І., & Карпенко, О. (2014). Токсикологічний аналіз води дренажних каналів і золи золівідвалів Добротвірської ТЕС. *Вісник Львівського університету. Серія Біологічна*, 65, 238–244].
3. Beshley Z. M., Beshley S. V., Baranov V. I., & Terek O. I. (2015). *Porivnialnyi morfometrychnyi analiz roslyn sorho alepskoho za umov rostu na substratakh porodnoho vidvalu z dodavanniam netradytsiinykh dobryv* [Comparative morphometric analysis of sorghum halepense plants growing on substrates of rock dump with addition of alternative fertilizers]. *Modern Phytomorphology*, 6, 347–348 (in Ukrainian)
[Бешлей, З., Бешлей, С., Баранов, В., & Терек, О. (2015). Порівняльний морфометричний аналіз рослин сорго алепського за умов росту на субстратах породного відвалу з додаванням нетрадиційних добрив. *Modern Phytomorphology*, 6, 347–348].
4. Lakyn, G. F. (1990). *Byometryya* [Biometry] (4th ed.). Moscow: Vysshaya shkola (in Russian)
[Лакин, Г. Ф. (1990). *Биометрия* (4-е изд.). Москва: Высшая школа].
5. Makeeva, N. A. (2014). *Ocenka produkcionnykh processov ovsa v usloviyah vnesennja gumatov kalija i natrija na porodnyj otval* [Assessment of production processes oats in terms of humates potassium and sodium on dump]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 6 (in Russian)
[Макеева, Н. А. (2014). Оценка продукционных процессов овса в условиях внесения гуматов калия и натрия на породный отвал. *Современные проблемы науки и образования*. 2014. №6].
6. Pavlova, L.M., Kotelnikova, I.M., Kuimova, N.G., Leusova, N.U., & Schumilova, L.P. (2010). *Sostojanie fotosinteticheskikh pigmentov v vegetativnykh organah drevesnykh rastenij v gorodskoj crede* [Photosynthetic Pigments' Condition in Vegetative Organs of Woody Plants in Urban Environment]. *Vestnik RUDN, serija Jekologija i bezopasnost' zhiznedejatel'nosti*, 2, 11–19 (in Russian)
[Павлова, Л. М., Котельникова, И. М., Куимова, Н. Г., Леусова, Н. Ю., & Шумилова, Л. П. (2010). Состояние фотосинтетических пигментов в вегетативных органах древесных растений в городской среде. *Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*, 2, 11–18].

7. Amuthavalli, P., Sivasankaramoorthy S. (2012). Effect of Salt Stress on the Growth and Photosynthetic Pigments of Pigeon Pea (*Cajanus cajan*). *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 2(11), 131–133. doi: [10.7324/japs.2012.21124](https://doi.org/10.7324/japs.2012.21124)
8. Ashraf, M., & Harris, P. J. C. (2013). Photosynthesis under stressful environments: An overview. *Photosynthetica*, 51(2), 163–190. doi: [10.1007/s11099-013-0021-6](https://doi.org/10.1007/s11099-013-0021-6)
9. Escarry, J., Raboyeau, S., Dossantos, A., Collin, C. (2011). Heavy Metal Concentration Survey in Soils and Plants of the Les Malines Mining District (Southern France): Implications for Soil Restoration. *Water, Air, & Soil Pollution*, 216(1), 485–504. doi: [10.1007/s11270-010-0547-1](https://doi.org/10.1007/s11270-010-0547-1)
10. Firpo, B., Filho, J., & Schneider, I. (2015). A brief procedure to fabricate soils from coal mine wastes based on mineral processing, agricultural, and environmental concepts. *Minerals Engineering*, 76, 81–86. Doi: [10.1016/j.mineng.2014.11.005](https://doi.org/10.1016/j.mineng.2014.11.005)
11. Gratao, P., Polle, A., Lea, P. & Azevedo, R. (2005). Making the life of heavy metal-stressed plants a little easier. *Functional Plant Biology*, 32(6), 481–494. doi: [10.1071/FP05016](https://doi.org/10.1071/FP05016)
12. Gupta, A, Paul, B. (2016). Augmenting the Stability of OB Dump by Using Fly Ash: A Geo Technical Approach to Sustainably Manage OB Dump at Jharia Coalfield, India. *Current World Environment*, 11(1), 204–211. doi: [10.12944/CWE.11.1.25](https://doi.org/10.12944/CWE.11.1.25)
13. Kumar, B. M. (2013). [Mining waste contaminated lands: an uphill battle for improving crop productivity](#). *Journal of Degraded and Mining Lands Management*, 1(1), 43–50.
14. Lichtenthaler, H. (1987). Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*, 148, 350–382. doi: [10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)
15. Malti D., Malti, S. (2014). [Ecorestoration Of Waste Dump By The Establishment Of Grass-Legume Cover](#). *International Journal of Scientific & Technology Research*, 3(3), 37–41.
16. Nath, K., Singh, D., Shyam, S., & Sharma, Y. K. (2008). [Effect of chromium and tannery effluent toxicity on metabolism and growth in cowpea \(*Vigna sinensis* L. Saviex Hassk\) seedling](#). *Research in Environment and Life Sciences*, 1(3), 91–94.
17. Offord, C. A., Meagher, P. F., & Zimmer, H.C. (2014). Growing up or growing out? How soil pH and light affect seedling growth of a relictual rainforest tree. *AoB PLANTS*, 6, plu011. doi: [10.1093/aobpla/plu011](https://doi.org/10.1093/aobpla/plu011)
18. Olivera, H. (2012). Chromium as an Environmental Pollutant: Insights on Induced Plant Toxicity. *Journal of Botany*, 2012, 1–8. doi: [10.1155/2012/375843](https://doi.org/10.1155/2012/375843)
19. Perminova, I.V., Hatfield K., Hertkorn N. (Eds.). (2002). *Use of Humic Substances to Remediate Polluted Environments: From Theory to Practice*. Dordrecht: Springer.
20. Singh, H., Mahajan, P., Kaur, S., Batish D., & Kohli, R. K. (2013). Chromium toxicity and tolerance in plants. *Environmental Chemistry Letters*, 11(3), 229–254. doi: [10.1007/s10311-013-0407-5](https://doi.org/10.1007/s10311-013-0407-5)
21. Singh, R. K., & Gupta, N. C. (2014). [Value added utilization of fly ash- prospective and sustainable solutions](#). *International Journal of Applied Sciences and Engineering Research*, 3(1), 1–16.
22. Smolikova, G. N., Laman, N. A., & Boriskevich, O. V (2011). Role of chlorophylls and carotenoids in seed tolerance to abiotic stressors. *Russian Journal of Plant Physiology*, 58, 965–973. doi: [10.1134/s1021443711060161](https://doi.org/10.1134/s1021443711060161)
23. Srivastava, A., & Chhnkar, P. (2000). [Amelioration of coal mine spoils through fly ash application as liming material](#). *Journal of Scientific & Industrial Research*, 59, 309–313.
24. Tsang, D. C. W., Olds W. E., & Weber, P. (2013). Residual leachability of CCA-contaminated soil after treatment with biodegradable chelating agents and lignite-derived humic substances. *Journal of Soils and Sediments*, 13, 895–905. doi: [10.1007/s11368-013-0662-x](https://doi.org/10.1007/s11368-013-0662-x)

25. Wintermans, J. F. G. M., & de Mots, A. (1965). Spectrophotometric characteristics of chlorophyll 'a' and 'b' and their pheophytins in ethanol. *Biochimica et Biophysica Acta*, 109(2), 448–453. doi: [10.1016/0926-6585\(65\)90170-6](https://doi.org/10.1016/0926-6585(65)90170-6)
26. Normatyvno-dyrektyvni dokumenty MOZ Ukrainy. (1999). Derzhavni sanitarni pravyla ta normy [State sanitary rules and norms]. Retrieved February 20, 2017, from <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=4010> (in Ukrainian)
[Нормативно-директивні документи МОЗ України. (1999). Державні санітарні правила та норми. Актуально на 20.02.2017, URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=4010>].