

Study of the dependence of growth of *Bromopsis inermis* Holub growth on different watering and the amount of heavy metals in the soil

Kyrylo Zvoryhin^{1*}, Oleksandr Kovrov¹

¹Dnipro University of Technology, Dnipro, Ukraine

*Corresponding author: zvoryhin@gmail.com

Abstract. The article considers dependence of the growth of roots and stems of *Bromopsis inermis* Holub on the amount of moisture and content of such heavy metals as cadmium, arsenic and lead in the soil. The studies have shown that the plant grows better not only when increasing watering but also with the addition of heavy metals. On average, with 10 ml of watering and adding 10 MPC of lead, cadmium, and arsenic, sprouts increase their length by 20-25% compared to watering with 5 ml of water and adding 1 MPC. Notably, the data of control samples are inferior to 5 ml and 1 MPC by 5-10%. This allows us to conclude that *Bromopsis inermis* Holub grows well with heavy metals, and it does not inhibit its growth. In addition, even with minimal watering conditions that reflect the arid areas of Donbas, this plant can be used as a phytoremediator.

Keywords: heavy metals, phytoremediation, recultivation, *Bromopsis inermis* Holub., germination test

Вивчення залежності росту *Bromopsis inermis* Holub від різного поливу та кількості важких металів у ґрунті

Кирило Зворигін^{1*}, Олександр Ковров¹

¹Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», Дніпро, Україна

*Відповідальний автор: zvoryhin@gmail.com

Анотація. У статті розглянуто залежність зростання коренів та стебел рослини Кострець безостий (*Bromopsis inermis* Holub) від кількості вологи та вмісту у ґрунті таких важких металів, як кадмій, миш'як та свинець. Дослідження показали, що рослина росте краще не тільки як і при збільшенні поливу, але і при додаванні важких металів. У середньому при 10 мл поливу та додаванні 10 ГДК свинцю, кадмію та миш'яку паростки збільшують свою довжину на 20-25% порівняно з поливом 5 мл води та додаванням 1 ГДК. Помітно, дані контрольних зразків поступаються 5 мл 1 ГДК на 5-10%. Це дозволяє зробити висновок про те, що *Bromopsis inermis* Holub чудово росте за допомогою важких металів і це не пригнічує його зростання. Крім цього навіть з мінімальними умовами поливу, що відображають посушливі місця Донбасу, цю рослину можна використовувати як фітореєдматор.

Ключові слова: важкі метали, фітореєдмация, рекультывация, *Bromopsis inermis* Holub, фітотести

1. Вступ

У ХХ ст. надзвичайно швидко розвивався процес вилучення земель для потреб гірських підприємств із накопиченням відходів виробництва, що призвело до порушення довкілля. Це добре видно на прикладі Донецького вугільного басейну, де за шахтного видобутку на 1 т вугілля припадало 0,25 – 0,35 м³ породи та щорічно видавалося її понад 50 млн м³. Тут налічується 1539 породних відвалів вугільних шахт, які з урахуванням 200-метрових санітарних зон займають понад 11 тис. га [1].

Україна за довгі роки здобула безліч проблемних територій гірничої промисловості. Далеко не скрізь на Донбасі рекультивація йде за європейськими стандартами, а терикони продовжують пиляти та забруднювати довкілля з наступною міграцією хімічних елементів навколо прилеглої на сотні метрів території. Існує проблема рекультивації териконів, тому що не всі з них поступово покриваються рослинністю, а природний процес займає роки, протягом яких вітер продовжує розносити пил. Пил териконів у свою чергу несе у собі важкі метали – полутанти, канцерогенні для людини [2].

Проблема розповсюдження важких металів через пил териконів полягає у тому, що вони є надзвичайно небезпечними для людей та тварин. У дослідженні були обрані свинець, кадмій та миш'як. Свинець, поряд з миш'яком, кадмієм, ртуттю, належить до класу високонебезпечних речовин. Свинець накопичується в кістках, викликаючи їх поступове руйнування, акумулюється в печінці та нирках, може викликати зниження працездатності, погіршення пам'яті та навіть хронічні захворювання мозку [3]. Надмірне надходження кадмію в організм може призводити до анемії, ураження печінки, порушення функції легень, остеопорозу, деформації скелета, розвитку гіпертонії. Він накопичується в нирках, може бути причиною утворення в них каміння [4]. Перші симптоми тривалого впливу неорганічного миш'яку у високих концентраціях (наприклад, через питну воду або харчові продукти) зазвичай виявляються на шкірі та включають зміни пігментації, пошкодження шкіри та огрубіння шкіри на долонях та ступнях (гіперкератоз) [5]. Ці симптоми з'являються після впливу протягом щонайменше п'яти років і можуть бути провісниками раку шкіри. Крім раку шкіри тривалий вплив миш'яку може викликати ракові захворювання сечового міхура і легенів. Міжнародне агентство з вивчення раку (МАІР) класифікує миш'як та сполуки миш'яку як людські канцерогени і також вказує, що миш'як, що міститься в питній воді, є людським канцерогеном [6].

Крім природного утворення рослин на схилах гірських відвалів на даний момент існує два основних напрямки озеленення схилів териконів – це терасування та гідроозеленення (гідропосів). При цьому не менш значна частина висадки зелених насаджень на площах терас – біологічний етап рекультивації [7]. Ці методи можуть бути використані разом на одному об'єкті, що дозволить досягти більшого результату, проте також варто брати до уваги додаткові витрати на забезпечення такої комплексної роботи. Однак крім цього слід врахувати ще й те, що деякі терикони спалахують і продовжують тліти всередині, а спеціальна техніка не завжди може вирішити проблеми териконів через загрозу провалу вглиб породи - таким чином не завжди можливо зробити тераси, а гідросів на схилах відвалів не показує результат хоча б близький до 100%. Тоді терикон продовжить пиляти і лише згодом, можливо, покриється рослинністю природним шляхом [8].

Автори дослідження у пошуках можливого нового рішення вигадали і почали розробляють інноваційний спосіб озеленення та рекультивації схилів гірських відвалів, який може бути не менш ефективним, при цьому економічно вигіднішим. Для цього були проведені фітотести в різних умовах поливу та з різними дозами важких металів рослинам [9].

2. Методика проведення досліджень

В рамках дисертаційної роботи було проаналізовано понад 50 сучасних досліджень у сфері застосування гіперакумуляторів у фіторе mediaції. Було прийнято рішення використовувати для даного експерименту *Bromopsis inermis Holub*, оскільки цей вид чудово росте на території Дніпропетровської та Донецької області та є також гіперакумулятором важких металів. Варто зауважити, що ефективність цієї рослини як

гіперакумулятора підтверджена, проте все ще не до кінця вивчена, тому це дослідження має потенціал внести нове у вивчення властивостей *Bromopsis inermis Holub*.

Далі було проведено аналіз кліматичних умов Донбасу з метою з'ясувати середню мінімальну та максимальну кількість опадів. Були проаналізовані метеодані за останні 10 років із чотирьох джерел для визначення оптимальних рівнів поливу. Це дало можливість зробити дві групи з різною кількістю одержуваної води - 5 мл та 10 мл. Ця кількість води дозволяє моделювати зростання рослин у період березень-серпень у різних регіонах Донбасу. Потім були взяті солі трьох важких металів: свинцю Pb (NO₃)₂, кадмію Cadmium sulfate та миш'яку Arsenic(III) sulfide. Були приготовлені розчини з урахуванням відповідних ГДК. Для ГДК 1 для свинцю, кадмію та миш'яку відповідно 0,07 г/л, 0,0098 г/л та 0,0041 г/л, а для ГДК 10 відповідно 0,7 г/л, 0,098 г/л та 0,041 г/л. Готовий розчин містив суміш трьох металів з відповідними 1/10 ГДК. Було взято екологічно чистий суглинок у лісопосадці біля міста Фрайберг, Німеччина. Далі цей ґрунт був змішаний із піском фракції 0,6 мм у співвідношенні 60% до 40%. Це співвідношення ґрунтується на попередніх публікаціях авторів, спрямованих на пошук оптимального складу земляного субстрату, який буде використано у запатентованому методі [10]. Далі було створено чотири основні групи, у кожній групі по 6 горщиків розміром 5×5×10 см із 15 насінням рослини. Насіння було попередньо вимочено у воді в лабораторії у звичайному порядку проведення ростових тестів. У кожному горщику було 160 г ґрунтового субстрату. Був також контроль - 6 горщиків, які вирощувалися за тих самих умов, що й інші, проте без додавання важких металів, але збільшенням поливу до 30 мл на день. Також окремо було створено 4 брикети з ґрунтовым субстратом з параметрами 2×4×12 см. Усередині кожного знаходилося 30 насінин вибраної для експерименту рослини. Кожен брикет відповідав одній з підкатегорій - 5 мл 1 ГДК, 5 мл 10 ГДК, 10 мл 1 ГДК та 10 мл 10 ГДК. Усі горщики з рослинами були встановлені під тепличною лампою (висота 1 метр) у лабораторії з температурою 21 градус за Цельсієм. Теплична лампа автоматично вмикалася о 8 годині ранку і вимикалася о 18-й вечора. Розподіл груп відбувався спочатку за категорією 5 мл та 10 мл, далі кожен категорію розділяли на дві підкатегорії - 1 ГДК та 10 ГДК. Щодня протягом 3 тижнів рослини поливали розчином із важкими металами в період з 10 ранку до 12 дня за допомогою шприца для дотримання точності.

Підсумкових паростків пробилось більше, ніж потрібно, тому десять потрібних паростків були відібрані наступним чином: по одному з кожного кута, по одному перед кожною стінкою і два паростки та коріння в центрі. У процесі відбору проб з горщиків і брикетів паростки та коріння промивалися водою, коріння обережно розплутувалося та замірялося. Не більше 5% коренів було пошкоджено під час розплутування так, як коріння пролізло в маленькі дірки пластикових горщиків, проте на точність вимірів це не вплинуло завдяки запасній біомасі. Підбиття підсумків експерименту полягало в підрахунку довжини десяти коренів і десяти паростків з кожного горщика та брикету. Таким чином, отримані дані будуть складені в таблиці, а таблиці будуть перетворені на графіки для полегшення візуального сприйняття отриманого масиву даних.

3. Результати та обговорення

Для кращого розуміння результатів експерименту було створено таблиці, які були перетворені у графіки 1-6 для зручності. Вони дозволяють наочно побачити, що навіть за однакового рівня додавання води зі збільшенням ГДК помічено поліпшення зростання як паростків, і коренів. Вочевидь, що з додавання більшої кількості води зростання збільшується ще більше, що дозволяє зробити висновок, що рослина придатне суворих умов регіонів гірничої промисловості та *Bromopsis inermis Holub*. можна використовувати далі у розробці майбутнього прототипу технології фітореMediaції та рекультивації схилів гірських відвалів.

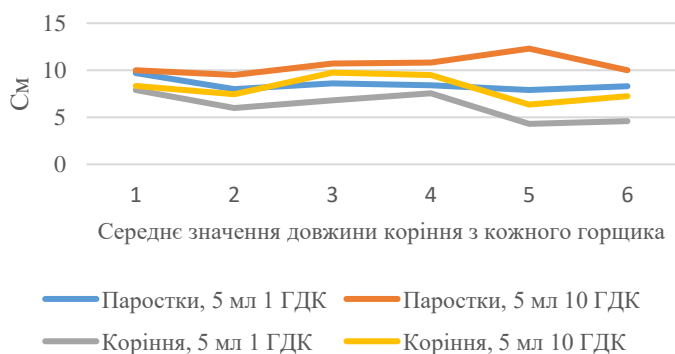


Рисунок 1. Порівняння показників паростків та коренів у режимі поливу 5 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

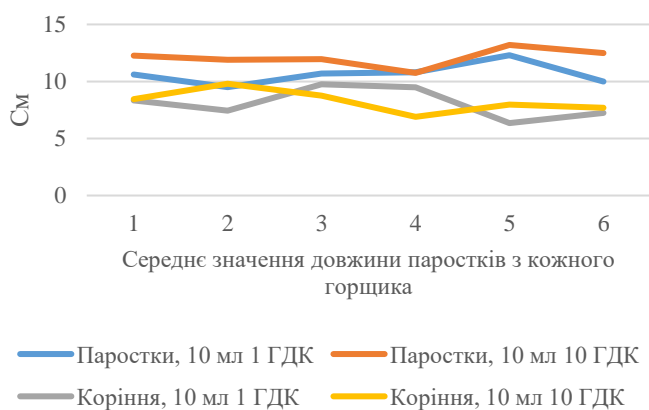


Рисунок 2. Порівняння показників паростків та коренів у режимі поливу 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

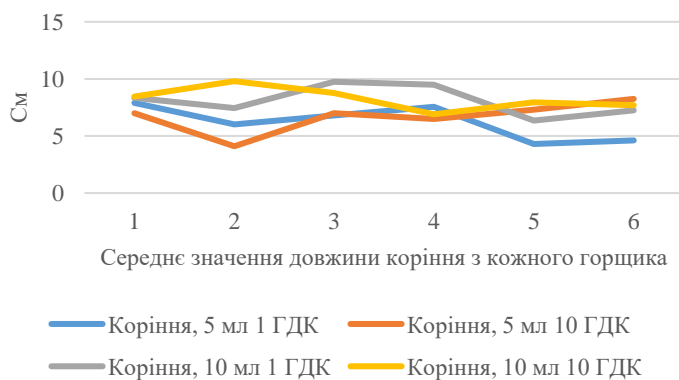


Рисунок 3. Порівняння показників коріння у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

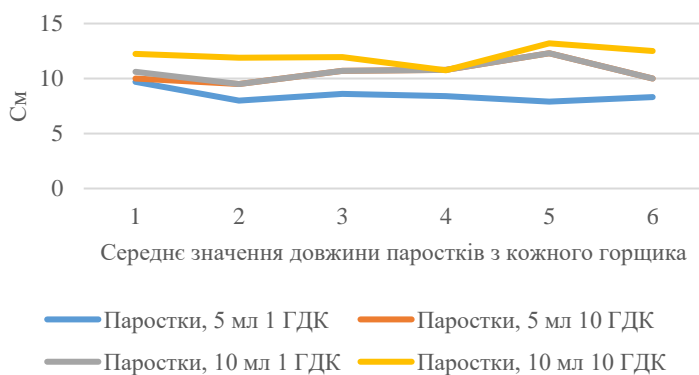


Рисунок 4. Порівняння показників паростків у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів

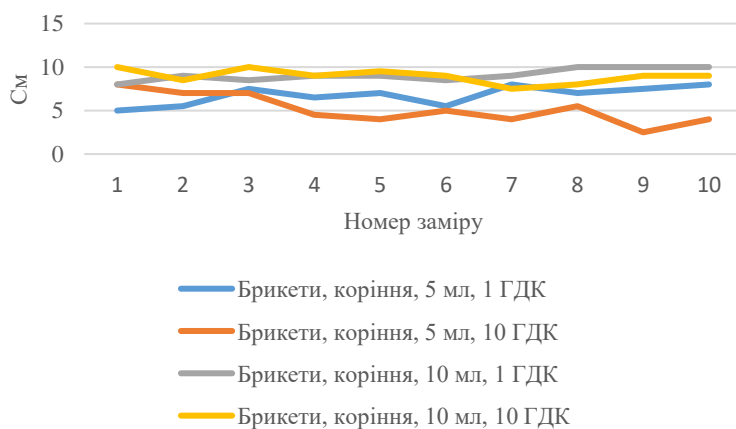


Рисунок 5. Порівняння показників паростків брикетів у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.



Рисунок 6. Порівняння показників коріння брикетів у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів

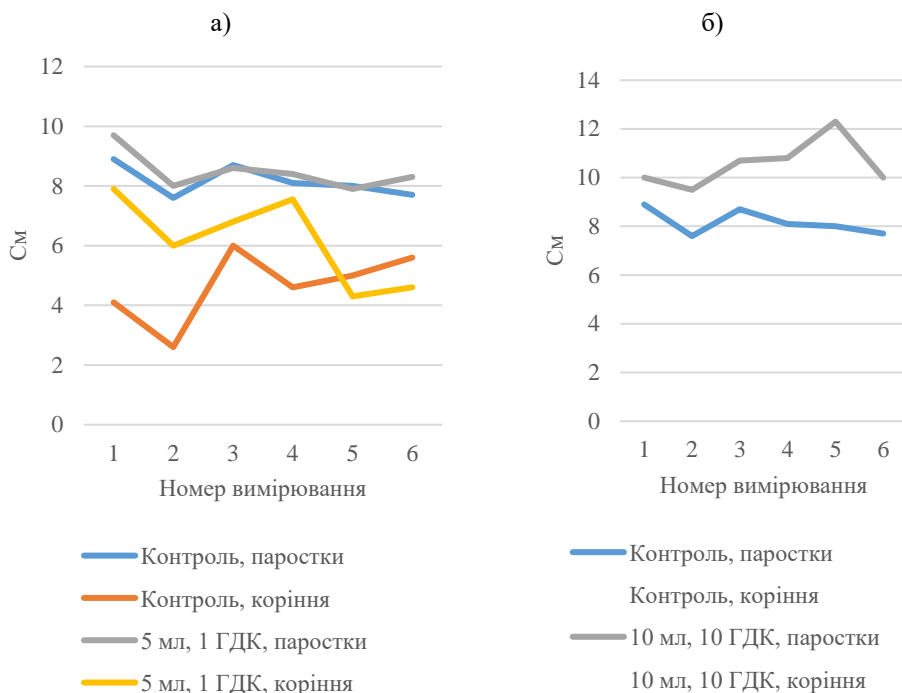


Рисунок 7. Порівняння показників паростків та коріння контролю з 5 мл 1 (а) ГДК та 10 мл та 10 ГДК (б)

У фінальній частині експерименту було порівняно контроль і групи 5мл 1 ГДК як мінімум і 10 мл 10 ПДК як максимум. За графіками видно, що навіть незважаючи на більший полив водою, контроль виявив менший ріст у порівнянні з двома групами. Контроль зростає менше на 5 – 10% порівняно з 5 мл 1 ГДК та на 20 – 25% з 10 мл 10 ГДК, що дозволяє зробити висновок, що важкі метали для даної рослини є відмінним прискорювачем зростання та матеріальною базою. Крім цього дані показують, що на рослину *Bromopsis inermis Holub* не так впливає наявність багато води, скільки різниця в субстраті, на якому воно росте.

4. Висновки

Дослідження показало, що рослина *Bromopsis inermis Holub* показала себе як відмінний фіторемедіатор, який здатний вижити і добре рости на ґрунтах, забруднених важкими металами. Зокрема це відкриває перспективу використовувати рослину для подальших досліджень у галузі рекультивації та фіторемедіації гірських відвалів. Необхідні подальші дослідження для вивчення конкретних кількостей та співвідношень вбирання важких металів рослинами – наприклад, за допомогою технології із застосуванням ICP-MS. Також варто відзначити простоту використання даної рослини, так як вона є звичною для східних регіонів України і не відчуває проблем зі спокійністю, що дозволяє використовувати її масово. Щодо кліматичних умов можна зробити висновок, що навіть у найпосушливіших місцях Донбасу рослина зможе вижити і це дозволяє використовувати її в будь-яких місцях. Подальший крок - провести польовий експеримент у сезон дощів із застосуванням прототипу авторів для закріплення моделі як успішної або потребує доопрацювання. Для цього необхідно

поєднати польовий експеримент і дослідження на кількість важких металів, що вбираються рослиною, для отримання максимально точних результатів.

Робота містить дослідження, які було проведено у рамках гранту (фінансується DAAD).

Література

1. Zubov, A., Zubova, L. (2017). Waste heaps of Donbass coal-mining areas as a source of environmental impact. *Natural Sciences*, 69-75.
2. Zubov, A., Zubova, L. (2020). Forest remediation of waste heaps. *Ecological Bulletin of the North Caucasus*. 64-73.
3. Andasari, S. D., Styawan, A. A., Hidayati, N., & Prasetyanti, O. N. (2021). Bioaccumulation Of Lead (Plumbum) In Red Tilapia Fish From The Jombor Swamp. *Journal of Physics: Conference Series*, 1764(1), 012213. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1764/1/012213>
4. Hayat, M. T., Nauman, M., Nazir, N., Ali, S., & Bangash, N. (2019). Environmental Hazards of Cadmium: Past, Present, and Future. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, 163-183. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-814864-8.00007-3>
5. Niazi, N., & Bibi, I. (2021). Battling arsenic hazard through sustainable technologies for aquatic ecosystem restoration. <https://doi.org/10.1130/abs/2021am-371469>
6. White J., Kovar E., Chambers T. (2019) Hypospadias risk from maternal residential exposure to heavy metal hazardous air pollutants. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, (16), 1-13. <https://doi.org/10.3390/ijerph16060930>
7. Zubov, A., Zubova, L. (2020). Efficiency of forest recultivation of terricons. *Forest reclamation and ecological and hydrological problems of the Don drainage basin*, 34-39.
8. Kovrov, O. & Zvoryhin, K. (2019). Justification of phytoremediation technology of degraded landscapes on the basis of ecosystem approach. *Technology Audit and Production Reserves* (6/3(50)), 4-9. <https://doi.org/10.15587/2312-8372.2019.185204>
9. Antoniadis, V., Stärk, H., Shaheen, S., Wennrich, R. (2021). Phytoremediation potential of twelve wild plant species for toxic elements in a contaminated soil. *Environment International* (146), 1-14. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106233>
10. Utility model patent № 148365