

УДК 628.544

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2022.2\(489\).13](https://doi.org/10.15589/znp2022.2(489).13)

STUDY OF THE DEPENDENCE OF GROWTH OF *BROMOPSIS INERMIS* HOLUB. FROM DIFFERENT WATERING AND THE AMOUNT OF HEAVY METALS IN THE SOIL

ВИВЧЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ РОСТУ *BROMOPSIS INERMIS* HOLUB ВІД РІЗНОГО ПОЛИВУ ТА КІЛЬКОСТІ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ У ҐРУНТІ

Kyrylo O. Zvoryhin
zvoryhin@gmail.com
ORCID: 0000-0002-2452-4699

Serhii A. Krasovskyi
kracka0@gmail.com
ORCID: 0000-0002-1114-5008

Oleksandr S. Kovrov
kovrov.o.s@nmu.one
ORCID: 0000-0003-3364-119X

К. О. Зворигін,
аспірант

С. А. Красовський,
аспірант

О. С. Ковров,
докт. техн. наук, професор

Dnipro University of Technology, Dnipro

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

Abstract. Purpose. To determine the influence of heavy metals and the volume of irrigation on the biometric indicators of *Bromopsis inermis holub.* with the further possibility of using the studied plant as a phytoremediator of coal mining waste dumps.

Method. Consists in determining the influence of salts of heavy metals (Pb, Cd, As) with different concentrations and the volume of irrigation of these salts on the growth indicators of the *B. inermis* plant. Analysis of the influence of the concentration and volume of the solution on the length of the root system and shoots.

Results. Studies have shown that the plant grows better not only when watering is increased, but also when solutions with different concentrations of MPC of heavy metals are added. On average, with 10 ml of watering and the addition of 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. Noticeably, the data of the control samples are inferior to 5 ml of 1 MPC by 5-10%. This allows us to conclude that *B. inermis* grows excellently with the help of heavy metals and this does not suppress its growth. In addition, even with minimal irrigation conditions, reflecting the arid places of Donbas, this plant can be used as a phytoremediator. Scientific novelty. The adaptive growth properties of *B. inermis*, in relation to heavy metals, which are the main component of coal mining waste dumps in Western Donbass, have been established. The results of the research make it possible to use these plants in the future for the initial stage of biological reclamation of landfills.

Practical importance. The results of the study make it possible to develop an effective method of the biological stage of landfill reclamation, by using phytoremediation, due to the creation of a plant cover by the researched plant *B. inermis*. The plant is a "pioneer plant", which in turn makes it possible to simplify the biological stage of reclamation and in the future to improve biological processes on the territory of the coal mining waste dump.

Key words: coal mining dump, heavy metals, growth test, phytoremediation, phytoindicator.

Анотація. Мета. Визначити вплив важких металів та об'єму поливу на біометричні показники *Bromopsis inermis holub.* з подальшою можливістю використання досліджуваної рослини у якості фіторемедіатора відвалів відходів вуглевидобування.

Методика. полягає у визначенні впливу солей важких металів (Pb, Cd, As) із різними концентраціями та об'єму поливу цих солей на ростові показники рослини *B. inermis*. Аналіз залежності впливу від концентрації та об'єму розчину на довжину кореневої системи та пагонів.

Результати. Дослідження показали, що рослина росте краще не тільки як при збільшенні поливу, але і при додаванні розчинів з різними концентраціями ГДК 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 поступають 5 мл 1 ГДК на 5-10%. Це дозволяє зробити висновок про те, що *B. inermis* 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 фітореєдатор.

Наукова новизна. Встановлено адаптивні ростові властивості *B. inermis* щодо важких металів, які є основним компонентом відвалів відходів вуглевидобування Західного Донбасу. Результати дослідження дають змогу у майбутньому використовувати цю рослину для початкового етапу біологічної рекультиваци відвалів.

Практична значимість. Результати дослідження дають змогу розробити ефективний метод біологічного етапу рекультиваци відвалу шляхом застосування фітореєдації за рахунок створення рослинного покриву досліджуваною рослиною *B. inermis*. Рослина являється «рослиною піонером», що в свою чергу дає можливість спростити біологічний етап рекультиваци та в майбутньому покращити біологічні процеси на території відвалу відходів вуглевидобування.

Ключові слова: відвал вуглевидобування, важкі метали, ростовий тест, фітореєдація, фітоіндикатор.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

На проаналізованих даних з фізико-хімічних експериментів щодо концентрації важких металів в відвалах відходів вуглевидобування підібрати необхідні рослини-фітоіндикатори для стабілізації фізико-хімічних процесів, які забруднюють навколишнє середовище. Визначити вплив важких металів та об'єм поливу на біометричні показники *B. inermis*. з подальшою можливістю використання досліджуваної рослини у якості фітореєдатора відвалів відходів вуглевидобування.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

У XX ст. надзвичайно швидко розвивався процес вилучення земель для потреб гірничих 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 с. 69-71]. Україна за довгі роки здобула безліч проблемних територій гірничої промисловості. Далеко не скрізь на Донбасі рекультиваци йде за європейськими стандартами, а терикони продовжують запилювати та забруднювати довкілля з наступною міграцією хімічних елементів навколо прилеглої на сотні метрів території. Існує проблема рекультиваци 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 – поллютанти, канцерогенні для людини. [2 с. 68-70].

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, так як вміст цих металів значно перевищує норми ГДК в відвалах вуглевидобування Західного Донбасу [3 с. 138-139]. Свинець, поряд з миш'яком, кадмієм, ртуттю, належить до класу небезпечних речо-

вин. 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 [4 с. 1]. 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 [5 с. 165]. 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) [6]. Ці симптоми з'являються після впливу протягом п'яти років і можуть бути провісниками раку шкіри. Крім раку шкіри тривалий вплив миш'яку може викликати ракові захворювання сечового міхура і легень. 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 [7, с. 5].

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 рекультиваци [8 с. 36]. 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 гідропосів на схилах відвалів не показує результат хоча б близький до 100%. Тоді терикон продовжить пилити і лише згодом, можливо, покриється рослинністю природним шляхом. [9 с. 7].

Автори дослідження у пошуках можливого нового рішення вигадали і почали розробляти 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. [10 с. 8-9].

Відокремлення невирішених раніше частин загальної проблеми. На даний момент, в Україні не існує певних важелів впливу на промисловість, і саме тому приватні організації не особливо турбуються про зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище. Вугільна промисловість і її наслідки несуть велике навантаження на всі сфери навколишнього середовища. Вугільні відвали – наслідки роботи гірничовидобувної промисловості. Саме для зменшення впливу на навколишнє середовище шляхом застосування рослин-піонерів присвячена дана наукова робота.

МЕТА СТАТТІ

Проаналізувати ростові показники рослини-піонера *B. inermis*. при поливі різною концентрацією ГДК важких металів та при різному об'ємі поливу з подальшим розглядом даної рослини як фітоіндикатора для застосування її з метою зменшення антропогенного впливу вугільного відвалу на навколишнє середовище та покращення фізико-хімічних властивостей відвалу.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Було прийнято рішення використовувати для даного експерименту *B. inermis*, оскільки цей вид чудово росте на території Дніпропетровської та Донецької області. Далі було проведено аналіз кліматичних умов Донбасу з метою з'ясувати середню мінімальну та максимальну кількість опадів. 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 CdSO₄ та миш'яку As₂S₃. 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 [11]. Далі було створено чотири основні групи, у кожній групі по 6 горщиків розміром 5х5х10 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. 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.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Для кращого розуміння результатів експерименту було створено таблиці, які були перетворені у графіки 1-5 для зручності. Вони дозволяють наочно побачити, що навіть за однакового рівня додавання води зі збільшенням ГДК помічено поліпшення зростання як паростків, так 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 *B. inermis*. можна використовувати далі у розробці майбутнього прототипу технології фіторе mediaції та рекультивації схилів гірських відвалів.

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

У фінальній частині експерименту було порівняно контроль і групи 5мл 1 ГДК і 10мл 10 ГДК. За графіками (рис. 5) 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 *B. inermis* не так впливає наявність об'єму води, скільки різниця в субстраті, на якому воно проростало.

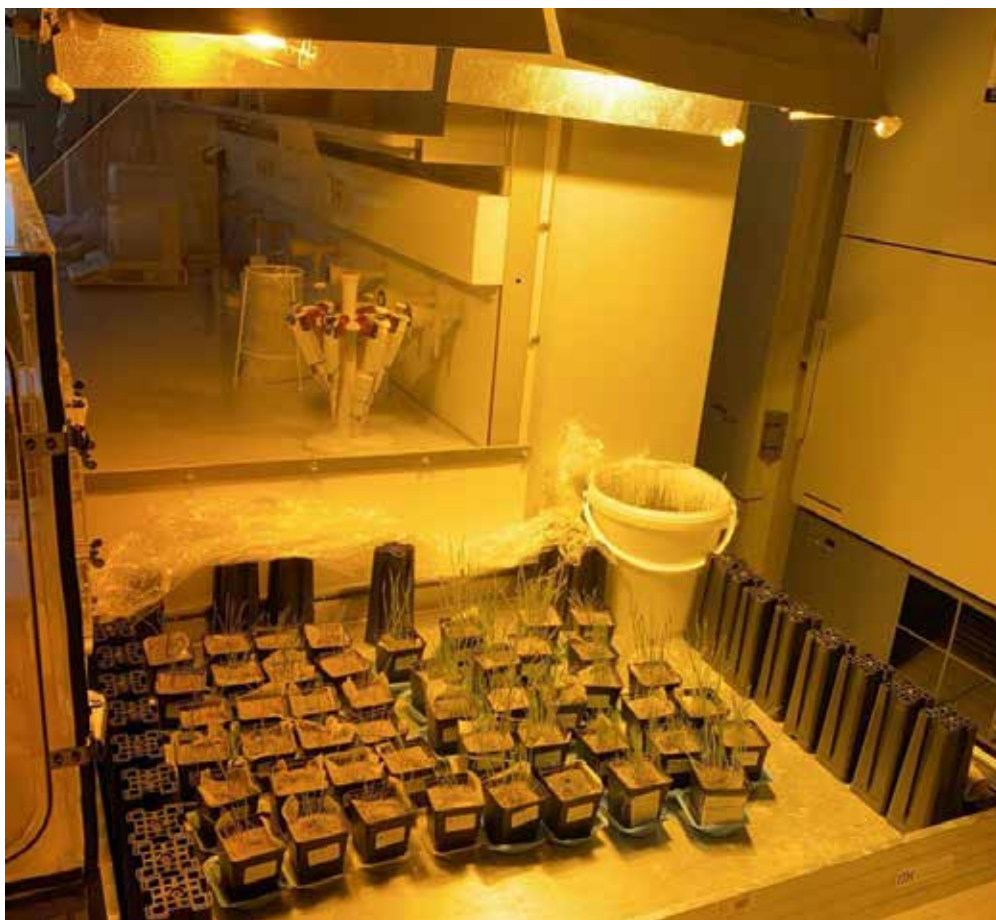


Рис. 1. Умови вирощування рослин у лабораторії

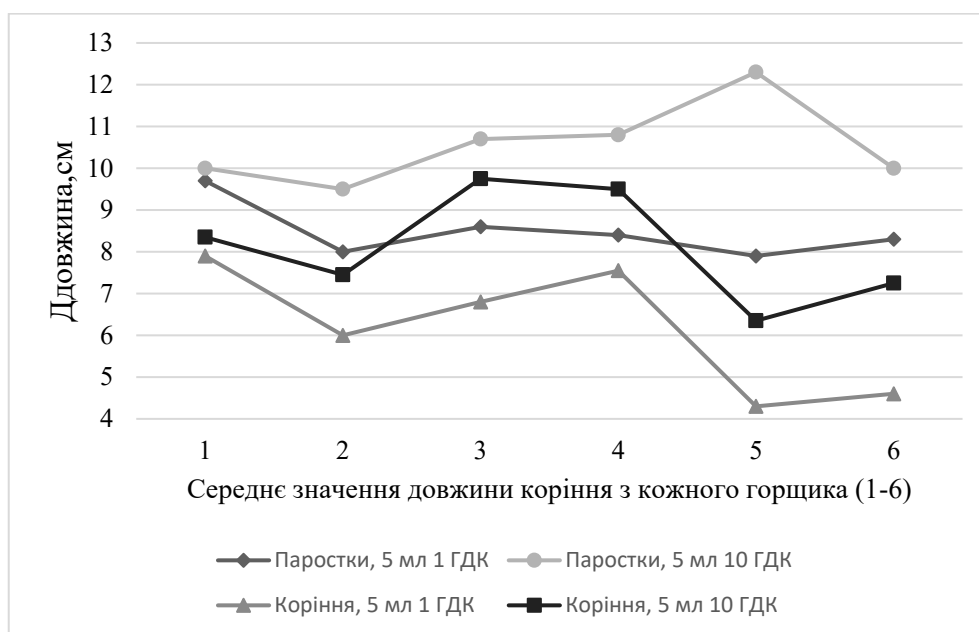


Рис. 2. Порівняння показників паростків та коренів у режимі поливу 5 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

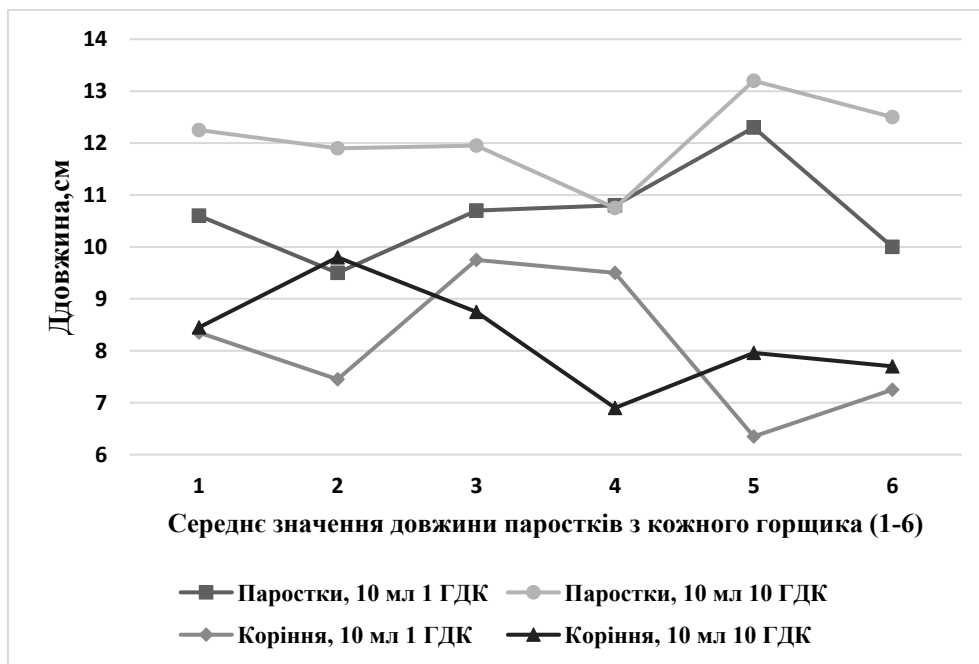


Рис. 3. Порівняння показників паростків та коренів у режимі поливу 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

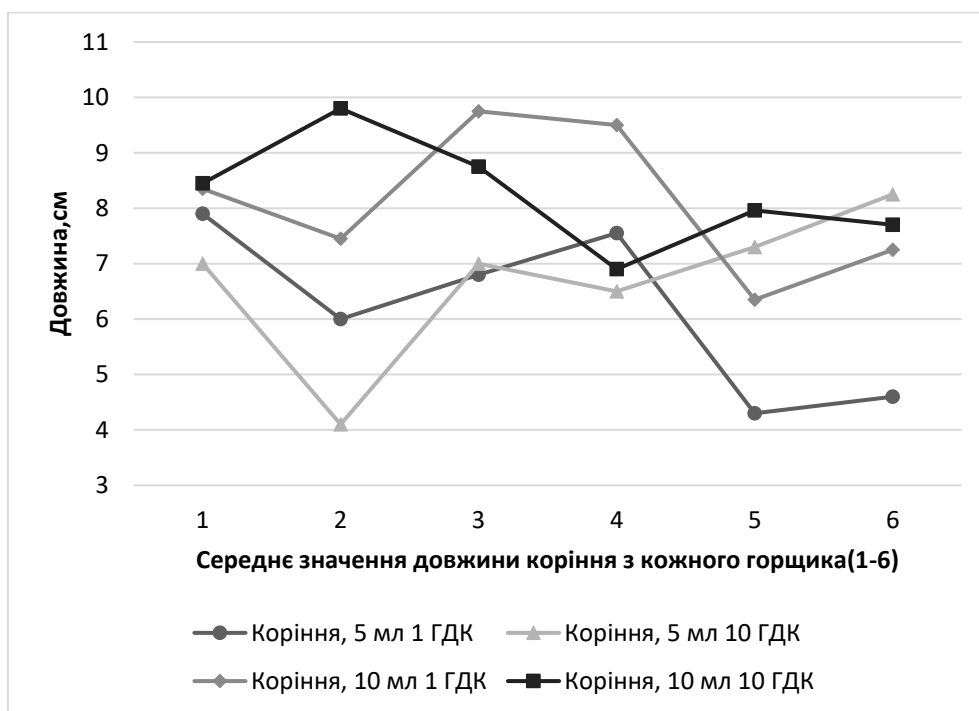


Рис. 4. Порівняння показників коріння у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

ВИСНОВКИ

Дослідження показало, що рослина *B. inermis* показала себе як відмінний фіторемедіатор, який здатний вижити і добре рости на ґрунтах, забруднених важкими металами. Зокрема це відкриває пер-

спективу використовувати рослину для подальших досліджень у галузі рекультивції та фіторемедіації гірських відвалів. Необхідні подальші дослідження для вивчення конкретних кількостей та співвідношень вбирання важких металів рослинами – напри-

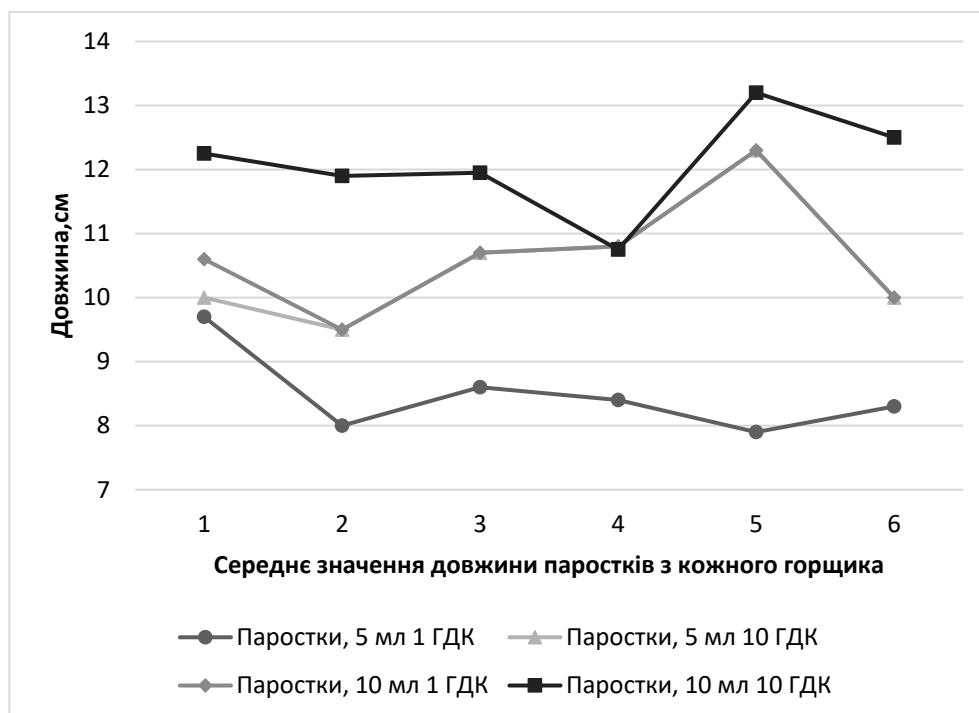


Рис. 5. Порівняння показників паростків у режимі поливу 5 та 10 мл води на день та різницею 1 ГДК та 10 ГДК важких металів.

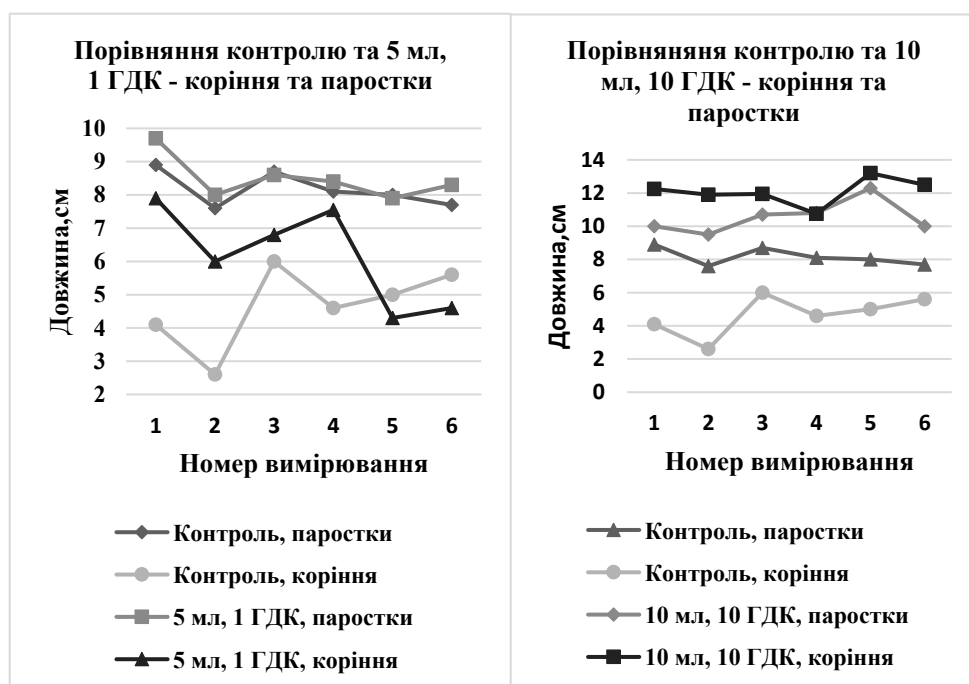


Рис. 6. Порівняння показників паростків та коріння контролю з 5 мл 1 ГДК та 10 мл та 10 ГДК.

клад, за допомогою технології із застосуванням ICP-MS. Також варто відзначити простоту використання даної рослини, так як вона є звичною для східних регіонів України, 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 яка потребує доопрацювання. Для цього необхідно

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

REFERENCES

- [1] Zubov O. R, Zubova L. G (2017). Terrikony uglepromyshlennykh rayonov donbassa kak istochnik vozdeystviya na okruzhayushchuyu sredu [Waste dump of the coal-mining areas of donbass as source of impact on the environment]. *Yestestvennyye nauki*, no. 3 (1), pp. 69–75.
- [2] Zubov O. P, Zubova L.G (2020). Lesnaya rekul'tivatsiya terrikonov [Forest recovery of waste dumps]. *Ekologicheskii Vestnik Severnogo Kavkaza*, no. 3 (16), pp. 64–73.
- [3] Krasovskiy, S. A., Kovrov, O. S., Klimkina, I. I. (2021). Determination of physico-chemical characteristics of the coal dump "Heroiv Kosmosy". *Environmental science*, no. 6 (39), pp. 137-140.
- [4] Prasetyanti O., Hidayati N., Styawan A., Andasari S. (2021). Bioaccumulation of lead (plumbum) in red tilapia fish from the Jombor swamp. *Journal of Physics: Conference Series*, no. 1764, pp. 1–3.
- [5] Hayat T., Nauman M., Nazir N. (2019). Environmental hazards of cadmium: past, present, and future. *Cadmium Toxicity and Tolerance in Plants*, pp. 163–183.
- [6] Khan Niazi N. (2021). Battling arsenic hazard through sustainable technologies for aquatic ecosystem restoration. *Geological Society of America Abstracts with Programs*, no. 6 (53), pp. 26–30.
- [7] 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*, no. 16, pp. 1–13.
- [8] Zubov O.P, Zubova L.G (2020). Effektivnost' lesnoy rekul'tivatsii terrikonov [Efficiency of forest recultivation]. *Lesnaya melioratsiya i ekologo-gidrologicheskiye problemy Donskogo vodosbornogo basseyna: materialy Natsional'noy nauchnoy konferentsii*, Volgograd, 29–30 oktyabrya 2020 g., pp. 34–39.
- [9] Kovrov, O. S., Fedotov, V. V., Zvoryhin, K. O. (2019). Justification of phytoremediation technology of degraded landscapes on the basis of ecosystem approach. *Technology audit and production reserves*, no. 6/3 (50), pp. 4–9.
- [10] 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), pp. 1–14.
- [11] Utility model patent No. 148365.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Зубов, О. Р., Зубова, Л. Г. (2011) Терикони вуглепромислових районів донбасу як джерело впливу на навколишнє середовище. *Природничі науки*. № 3 (1). С. 64–3.
- [2] Зубов, О. Р., Зубова, Л. Г. (2011) Лісова рекультивація териконів. *Екологічний Вісник Північного Кавказу*. № 3 (16). С. 64–73.
- [3] Красовський, С. А., Ковров, О. С., Клімкіна, І. І. (2021) Визначення фізико-хімічних характеристик вугільного відвалу «Героїв Космосу»]. *Екологія*. № 6 (39), С. 137-140.
- [4] Прасетянті О., Хідаяті Н., Стъяван А., Андасарі С. (2021). Біоаккопичення свинцю (свинцю) в рибі червоної тілапії з болота Джомбор. *Журнал фізики: серія конференцій*. № 1764, С. 1–3.
- [5] Хаят Т., Науман М., Назір Н. (2019) Екологічна безпека кадмію: минуле, теперішнє та майбутнє. *Токсичність кадмію та толерантність рослин*, С. 163–183.
- [6] Хан Ніазі Н. (2021). Боротьба з небезпекою миш'яку за допомогою стійких технологій для відновлення водних екосистем. *Геологічне товариство Америки, тези з програмами*, №. 6 (53), С. 26–30.
- [7] Вайт Дж., Ковар Е., Чемберс Т. (2019) Ризик гіпоспадії внаслідок контакту матері з небезпечними забруднювачами повітря важкими металами. *Міжнародний журнал досліджень навколишнього середовища та громадського здоров'я*, №. 16, С. 1–13.
- [8] Зубов О.Р., Зубова Л.Г. (2020) Ефективність рекультивації лісів. Лісова меліорація і еколого-гідрологічні проблеми Донського водозбірного басейну: матеріали Національної наукової конференції, Волгоград, 29–30 жовтня 2020 р., С. 34–39.
- [9] Ковров О. С., Федотов В. В., Зворигін К. О. (2019) Обґрунтування технології фітореMediaції деградованих ландшафтів на основі екосистемного підходу. *Технологічний аудит і резерви виробництва*, № 6/3 (50), С. 4–9.
- [10] Антоніадіс В., Стерк Х., Шахін С., Венріх Р. (2021) ФітореMediaційний потенціал дванадцяти диких видів рослин щодо токсичних елементів у забрудненому ґрунті. *Міжнародна організація з навколишнього середовища* (146), С. 1–14.
- [11] Патент на корисну модель № 148365.