

ВІДГУК

офіційного опонента, доцента кафедри екології та природоохоронних технологій Сумського державного університету, доктора технічних наук,
доцента Черниш Єлизавети Юріївни
на дисертаційну роботу Красовського Сергія Анатолійовича на тему
«Розробка технології фіторекультивуації відвалів відходів вуглевидобування»,
яка представлена на здобуття ступеня доктора філософії в галузі знань 18 –
Виробництво та технології за спеціальністю
183 – «Технології захисту навколишнього середовища»

Актуальність теми дисертації.

Гірничодобувна промисловість є ключовою галуззю енергетики України, зокрема вугільна промисловість, що забезпечує майже третину виробництва енергії. Однак ця галузь також має значний негативний вплив на довкілля, особливо через утворення вугільних відвалів. В Україні є понад тисяча таких відвалів, що містять токсичні елементи і призводять до забруднення атмосфери, літосфери та гідросфери. Вугільні відвали не лише займають великі території, але й становлять загрозу для навколишнього середовища та здоров'я людей через пил і самозаймання. Для зменшення цього впливу використовується метод фіторекультивуації, який допомагає знизити ерозію і нейтралізувати токсичні елементи. Важливим напрямом досліджень є вивчення впливу фізико-хімічних факторів на ефективність фіторекультивуації. Подальший розвиток цих технологій є стратегічним для екологічної політики України і сприятиме зменшенню антропогенного впливу, відновленню природних ресурсів та створенню нових робочих місць. Ефективне впровадження фіторекультивуації може мати значний позитивний вплив не лише для України, а й для всього світу, сприяючи сталому розвитку.

Таким чином, обрана тема дисертаційної роботи є важливою та актуальною.

Оцінка обґрунтованості наукових результатів дисертації, їх достовірності та новизни.

Всі результати дисертаційного дослідження відповідають специфіці розглянутих задач, одержані згідно сучасними досягненнями в галузі технологій захисту навколишнього середовища, відповідно до тенденцій впровадження провідних технологій фіторекультивуації деградованих і забруднених земель. Достовірність отриманих в дисертаційній роботі результатів обумовлена використанням сучасних експериментальних методів дослідження, їх несуперечністю сучасним теоретичним уявленням і

результатам досліджень інших авторів та використанням апробованих засобів для обробки результатів лабораторних експериментів.

Отримані в дисертації висновки є об'єктивними, коректними та відповідають задачам досліджень.

Новизна результатів дисертації полягає в наступному:

уперше

- визначено фізико-хімічні показники субстрату шахтної породи відібраних з відвалів вуглевидобування шахти «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля», зокрема кількість поживних речовин та концентрації важких металів, що дозволило обґрунтувати вплив цих показників на процес фіторекультивациі відвалів;

- проаналізовано вплив біочару та значень рН навколишнього середовища на фізико-хімічні показники досліджуваного субстрату шахтної породи та на ростові показники досліджуваних рослин-фітримедіантів;

- визначено, що підвищується мобілізація таких елементів як: Co, As, Cu, Pb, Mn, Zn і Cr при рН=4 у досліджуваному субстраті з шахти «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля»;

- запропановано досліджуванні рослини у якості фітримедіантів (*H. murinum L.*, *Bromus japonicus*, *Bromopsis i.holub*, *Avena fatua L.*, *Bromus i. leys*, *Triticum aestivum L.*) та визначено закономірності їхнього росту на досліджуваному субстраті шахтної породи для фіксації важких металів у процесах фіторекультивациі забруднених територій;

- обґрунтовано видові склади рослинних сетів для біопоглинання та біовилуговування важких металів з породних субстратів, які мають високу стресостійкість до факторів довкілля, що дозволяє підвищити ефективність біоремедіациі забруднених територій.

Практичне значення отриманих результатів полягає у наступному:

- розроблено технологію фіторекультивациі відходів вуглевидобування із використанням насіння рослин сімейств *Poaceae*, *Fabaceae* та *Brassicaceae* у складі композитних біогумусових брикетів для їхнього поверхневого застосування на масиві відвалу та отримано патент на спосіб фіторекультивациі (патент України №155114, 2024), що дозволяє підвищити екологічну безпеку в регіоні.

- здійснено технологічні розрахунки пиловиділення з поверхні відвалу відходів вуглевидобування та обґрунтовано еколого-економічні заходи з фіторекультивациі для зменшення негативного впливу на компоненти екосистемі.

- результати дослідження впроваджено в НТУ «Дніпровська політехніка» (м. Дніпро) у навчальному процесі кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища.

Результати досліджень також впровадженні у межах міжнародних освітньо-наукових проектів Німецької служби академічних обмінів DAAD «ЕкоМайнінг: розвиток інтегральної PhD програми зі сталого гірництва» (2019-2022) та «Біотехнології в гірництві - Інтеграція нових технологій в освітню практику» (2015-2018) спільно з ТУ «Фрайберзька гірнична академія» (Німеччина) розроблялись сучасні практики фіторекультивациї та фіторемедіациї техногенно забруднених земель.

Оцінка змісту дисертації, її завершеність та дотримання принципів академічної доброчесності.

За своїм змістом дисертаційна робота здобувача Красовського С.А. повністю відповідає Стандарту вищої освіти зі спеціальності 183 – технології захисту навколишнього середовища. За результатами перевірки дисертаційної роботи на плагіат, можна зробити висновок, що дисертаційна робота Красовського С.А. є результатом самостійних досліджень і не містить елементів фальсифікації, фабрикації, плагіату та запозичень. Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Мова та стиль викладання результатів.

Дисертаційна робота написана українською мовою. Викладення матеріалів відзначається логічною послідовністю, стиль написання є науковим з урахуванням міжнародної та вітчизняної термінології. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури із 115 найменувань, 4-ох додатків. Загальний обсяг дисертаційної роботи становить 144 сторінки, у тому числі 47 рисунків, 35 таблиць.

Перший розділ містить аналіз різноманітних методів біологічної ремедіації, спрямованих на зменшення впливу відвалів вуглевидобування на навколишнє середовище. Автор дослідив переваги використання методу фітостабілізації, яка сприяє зниженню ерозії ґрунту та міграції хімічних елементів, зокрема важких металів. Сформулював мету, ідею, методи та основні задачі дослідження.

У другому розділі представлено методи відбору проб для фізико-хімічного аналізу субстрату з відвалів вуглевидобування шахт «Павлоградська» та «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля». Автором відібрані методики для аналізу фізико-хімічних показників субстрату, такі як рН, електропровідність, вміст органічної речовини та іонів. Для аналізу вмісту важких металів та токсичних елементів було обрано метод мас-

спектрометрії з індуктивно зв'язаною плазмою. Для аналізу фіторе mediaційних властивостей рослин використовували біотестові методи, а статистичний аналіз даних проводили за допомогою програм Excel 2010 та Statistica 6.0.

У *третьому розділі* описано експериментальні дослідження технологій фіторекультивуації відходів вуглевидобування. Визначено фізико-хімічні показники субстратів шахтних порід, включаючи рН, електропровідність, вміст органічних речовин та важких металів, які перевищують гранично допустимі норми. Для фіторе mediaції було обрано стійкі до важких металів рослини, такі як Ячмінь мишачий і Стоколос японський, які показали високу ефективність у накопиченні металів. Встановлено, що біочар підвищує продуктивність ґрунту і адсорбує забруднювачі, але не впливає на рН і електропровідність. Досліджено біопоглинання та біовилуговування важких металів із породних субстратів через активність ацидофільних бактерій, що сприяє фіторекультивуації.

У *четвертому розділі* обґрунтовано технологію фіторекультивуації відвалів вуглевидобування для вугільних підприємств Західного Донбасу, що включає використання композитного суглинисто-біогумусного брикету з насінням рослин. Визначено параметри фіторекультивуації для зменшення викидів вуглепородного пилу та розраховано біомасу рослин для покриття поверхні відвалу. Проведено економічну оцінку методу, що включає зменшення екологічного податку завдяки зниженню пилових викидів. Запропоновано використовувати дикі злаки, зокрема ячмінь мишачий, як ефективні фіторе mediaнти. Очікувані витрати на фіторекультивуацію однієї ділянки відвалу на один сезон становлять 265 606 грн, або 156,2 грн/м².

Таким чином, дисертація є завершеною науково-дослідницькою роботою, в якій на підставі вперше отриманих експериментальних досліджень та проведених відповідних біометричних тестів, обґрунтовано технологію фіторекультивуації відвалів відходів вуглевидобування для зменшення антропогенного впливу на навколишнє середовище.

Дисертаційна робота оформлена відповідно до вимог МОН України від 12 січня 2017 року №40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації».

Оприлюднення результатів дисертаційної роботи.

Основний зміст результатів дисертаційної роботи висвітлені в 29 наукових працях, серед них: 11 публікацій у фахових виданнях, у тому числі: 1 стаття у наукових виданнях, що індексуються наукометричними базами даних Scopus та Web of Science; 10 статей – у виданнях, що входять до наукових видань, включених до переліку наукових фахових видань України; 17 тез доповідей на Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях; 1 патент на корисну модель України.

Недоліки та зауваження до дисертаційної роботи.

1. Стосовно накопичення важких металів в біомасі рослин-ремедіантів. Які розглядались напрями подальшої утилізації такої біомаси екологічно безпечним чином?
2. Відносно поверхневого розміщення композитних брикетів. Чи були використанні різні техніки їхньої фіксації та порівняння їхньої ефективності?
3. Як зазначено у висновках до Розділу 4 (стр. 159) під час використання технології фіторекультивациі відвалу зменшується емісія пилу, а також викиди інших токсичних речовин. Було б доцільно зробити огляд яких саме токсичних речовин.
4. Для формування композитних брикетів було використано біогумус. Прошу уточнити, який саме біогумус було використано, а також чи його виготовляли самостійно для експериментів чи закупили.
5. Були проведенні дослідження вилуговування важких металів за допомогою сіркоокислюючої бактеріальної культури (п.п. 3.2, стр. 85-88), а яким чином були використанні ці лабораторні дослідження для подальшої оптимізації технології фіторемедіації?
6. Запропоновані композитні брикети як елемент фіторекультивациі земель можуть бути адаптовано для різних кліматичних умов зі зміною рослинних угруповань?
7. Стосовно технологічних аспектів реалізації розробленої фіторемедіаційної технології, розглядалися подальші сукцесійні зміни в процесі довгострокової ремедіації забруднених земель?
8. Рисунок 1.3 щодо методів фіторемедіації – варто було б сформуваати в контексті огляду переваг та недоліків цих методів.

Загальний висновок про дисертаційну роботу

Дисертація Красовського С.А. на тему «Розробка технології фіторекультивациі відвалів відходів вуглевидобування» є завершеною науковою працею, яка за актуальністю, ступенем наукової новизни, обґрунтованістю, науковою та практичною цінністю здобутих результатів відповідає спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища та вимогам Порядку підготовки здобувачів вищої освіти ступеня доктора філософії та доктора наук у закладах вищої освіти (наукових установах), затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 23 березня 2016 р. № 261, пп. 6, 7, 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого постановою Кабінету Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44.

Здобувач Красовський Сергій Анатолійович заслуговує на присудження наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 18 – Виробництво та технології за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища».

Офіційний опонент:

доктор технічних наук, доцент,
доцент кафедри екології
та природозахисних технологій
Сумського державного університету

Черниш Єлізавета Юріївна