

Відгук

офіційного рецензента доктора технічних наук, доцента

Яковишиної Тетяни Федорівни

на дисертаційну роботу **Красовського Сергія Анатолійовича**

на тему: **«РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛІВ ВІДХОДІВ ВУГЛЕВИДОБУВАННЯ»**, подану на здобуття ступеня доктора філософії з галузі знань 18 «Виробництво та технології» за спеціальністю 183 «Технології захисту навколишнього середовища»

1. Актуальність теми дисертаційної роботи. Вугільна промисловість в Україні вважається однією з найдомінуючих серед інших паливних галузей, що відіграє ключову роль у стабільному функціонуванні електроенергетики, металургійної промисловості, коксохімії, комунального господарства, а також забезпечує енергетичну незалежність країни та її соціального-економічний розвиток. До початку вторгнення російських військ на територію України вугільна промисловість займала почесне 4-е місце в Європі, що дозволило отримати статус одного з найбільших виробників вугілля у світі. В Україні перебуває 4% від усіх світових запасів такого популярного твердого палива.

Утворення відходів видобувної промисловості в Україні є найвищим серед країн Європи. Відвали відходів вуглевидобування, як джерело надходження забруднюючих речовин до ґрунтів, атмосферного повітря, поверхневих та ґрунтових вод, спричиняють негативний вплив на навколишнє середовище, порушують екологічну рівновагу, виступають осередками екологічної небезпеки, отже потребують заходів з рекультивації, в першу чергу за рахунок використання біологічних методів, серед яких провідним є фіторекультивація. Остання, враховуючи фізико-хімічні особливості техногенних гірських порід та вплив екологічних чинників на ріст і розвиток спеціально підібраних рослинних асоціацій, надає змогу суттєво зменшити прояви вітрової та водної ерозії, а також токсичності внаслідок забруднення важкими металами, що призводить до стабілізації навколишнього середовища та підвищення екологічної безпеки техногенно навантажених регіонів.

Актуальність роботи підтверджується тим що вона знаходиться в контексті Закону України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», згідно якого виробнича діяльність повинна бути орієнтована не на коротко- та середньострокові економічні вигоди з ігноруванням природоохоронної складової, а, навпаки – спрямована на вирішення гострих екологічних ситуацій, як та що виникла в результаті вуглевидобування з урахуванням запобігання негативних наслідків у довгостроковій перспективі. Що чітко відбиває дисертаційна робота Сергія Красовського, в якій розроблена технологія фіторекультивації відвалів відходів вуглевидобування.

Дисертація С.А. Красовського відповідає потребам розвитку науки й практики сучасного виробництва та технологій захисту навколишнього

середовища як в умовах мирного часу, воєнного стану, так і подальшого повоєнного відновлення нашої країни.

Актуальність теми дисертації підтверджується також тим, що дисертаційне дослідження виконане у межах низки науково-дослідних робіт кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»: НДДКР «Обґрунтування новітніх технологічних рішень освоєння родовищ корисних копалин у контексті сталого розвитку гірничодобувних регіонів» (№ державної реєстрації 0120U102078); «Обґрунтування технологічних рішень екологічнобезпечного освоєння мінеральних ресурсів в умовах відбудови країни у воєнний і післявоєнний періоди» (№ державної реєстрації 0123U101759); «Розробка екологічнобезпечних технологій відновлення техногенно деградованих територій в умовах повоєнної відбудови» (№ державної реєстрації 0124U000357) та в межах освітнього проекту «Eco-mining: Development of Integrated Ph.D. Program for Sustainable Mining & Environmental Activities».

2. Ступінь обґрунтованості і достовірності наукових положень, висновків і рекомендацій, викладених в роботі. Дисертантом Красовським С.А. на основі детального аналізу міжнародного та вітчизняного досвіду щодо найбільш ефективних технологій фіторекультиваци обґрунтовано і здійснено необхідні експериментальні дослідження та теоретичні узагальнення. Достовірність результатів проведених досліджень підкріплено застосуванням сучасної вимірювальної техніки та достатньою відтворюваністю експериментів, експериментальна частина роботи виконана на кафедрі екології та технологій захисту навколишнього середовища Національного технічного університету «Дніпровська політехніка» та на базі Технічного університету «Фрайберзька гірнична академія» (Німеччина) в рамках освітнього проекту «Eco-mining: Development of Integrated Ph.D. Program for Sustainable Mining & Environmental Activities». Сформульовані автором наукові положення, висновки та рекомендації корелюють з доробком інших авторів і свідчать про високий рівень достовірності та обґрунтованості результатів дисертації.

3. Наукова новизна одержаних результатів. Аналіз дисертаційної роботи Красовського С.А. свідчить, що автор успішно виконав всі заплановані завдання та досяг поставленої мети, отже вирішив актуальну науково-практичну задачу – вдосконалення технологій фіторекультиваци відвалів відходів вуглевидобування шляхом прискорення утворення на них первинного рослинного покриву із зональних піонерних видів рослин для зменшення надходження пилових часток в атмосферне повітря, проявів процесів вітрової та водної ерозії, а також міграції важких металів, і, як наслідок, підвищення екологічної безпеки техногенно навантажених гірничо-промислових регіонів.

Наукові висновки дисертації ґрунтуються на викладених в розділах 2-4 теоретичних, експериментальних та розрахункових даних.

Наукова значимість роботи Красовського С.А. полягає у розробці науково-теоретичних засад створення технології фіторекультивуації з урахуванням оптимальних параметрів субстрату для росту й розвитку рослин та фіторемедіаційних особливостей місцевих піонерних видів.

Уперше:

- за допомогою методу ІЗП-МС проведено фізико-хімічний аналіз досліджуваного субстрату шахти «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» стосовно показників рН, ЕС, вміст поживних речовин та хімічних елементів, що дало змогу, по-перше, встановити підвищення лужності і питомої електропровідності (1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$) та формування токсичності через перевищення важкими металами значень ГДК до 25 раз; а, по-друге враховувати вплив вище зазначених чинників при розробці технології рекультивуації;

- вивчено вплив фізичних (біочар) та хімічних (рН) факторів навколишнього середовища на систему «субстрат шахтної породи – рослини, потенційно придатні для фіторекультивуації» за фізико-хімічними показниками для субстрату та біометричними – для рослин;

- виявлено підвищення мобілізації Co, As, Cu, Pb, Mn, Zn і Cr у досліджуваному субстраті з шахти «ім. Героїв Космосу» ПрАТ «ДТЕК Павлоградвугілля» при значенні показника рН 4;

- доведена ефективність використання досліджуваних рослин (*H. murinum* L., *Bromus japonicus*, *Bromopsis i.holub*, *Avena fatua* L., *Bromus i. leys*, *Triticum aestivum* L.) як фіторемедіантів на підставі значень транслокаційного фактору відносно важких металів та ростових показників;

- обґрунтовано видові склади рослинних сетів для потреб фіторекультивуації відвалів відходів вуглевидобування, як такі, що мають високу стресостійкість до факторів навколишнього середовища та потужні фіторемедіаційні властивості до важких металів.

4. Практичне значення одержаних результаті полягає:

- в розробці технології фіторекультивуації відвалів відходів вуглевидобування із застосуванням стресостійких рослин з високими фіторемедіаційними властивостями із трьох сімейств *Poaceae*, *Fabaceae* та *Brassicaceae* в одному композитному брикеті для умов степової зони України, на яку отримано патент України на корисну модель (№ 155114);

- в обґрунтуванні еколого-економічних показників доцільності впровадження запропонованої технології для зменшення викидів вуглепородного пилу в атмосферу на підставі технологічних розрахунків пиловиділення з поверхні відвалу відходів вуглевидобування;

- у впровадженні в навчальний процес при викладанні магістрам дисциплін «Біомайнінг» та «Інноваційні екологічні технології в ЄС та Україні» в межах міжнародних освітньо-наукових проєктів 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) на кафедрі екології та технологій захисту навколишнього середовища НТУ «Дніпровська політехніка».

5. Відсутність (наявність) порушення академічної доброчесності. Стосовно результатів перевірки дисертаційної роботи на наявність ознак академічного плагіату встановлено коректність посилань на першоджерела для текстових і ілюстративних запозичень, що свідчить про відсутність порушення академічної доброчесності.

6. Повнота викладення наукових положень, висновків та рекомендацій у наукових публікаціях, зарахованих за темою дисертації. За темою дисертації опубліковано 29 наукових праць, зокрема: 11 публікацій у фахових виданнях, з них 1 статтю у науковому виданні, що індексується наукометричними базами даних Scopus та Web of Science та 10 статей – у виданнях, що включені до переліку наукових фахових видань України; 17 тез доповідей на Всеукраїнських та Міжнародних науково-практичних конференціях; отримано 1 патент на корисну модель України. Наукові публікації Красовського Сергія Анатолійовича відповідають п. 11 «Порядку проведення експерименту з присудження ступеня доктора філософії» (Постанова Кабінету Міністрів України від 06.03.2019 р. № 167). Основні наукові положення дисертаційного дослідження в повній мірі відбиваються у представлених публікаціях та пройшли ґрунтовну апробацію на конференціях міжнародного та державного рівня.

7. Загальна характеристика роботи. Дисертація є завершеною науковою роботою, що містить анотацію, вступ, 4 розділи, список використаних джерел та 5 додатків. Тест викладено на 189 сторінках машинописного тексту, з них 145 – основна частина. Результати досліджень проілюстровано 47 рисунками та представлено у 35 таблицях. Список використаних джерел включає 115 найменувань, з них 21 кирилицею та 94 латиницею.

Робота викладена грамотно, послідовно і логічно, оформлена згідно вимог ДСТУ 3008-95, написана українською мовою. Назва роботи відповідає її змісту. Обсяг дисертації – в межах встановлених норм.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми дисертації, її зв'язок з науковими темами, сформульовано мету роботи, завдання та методи дослідження, висвітлено наукову новизну та практичне значення роботи, наведено відомості щодо апробації, її структури та обсягу, публікацій.

Результати виконаного аналізу вітчизняних та закордонних наукових праць у **першому розділі** дали змогу автору обґрунтувати актуальність поставлених у дисертаційній роботі науково-практичних завдань, ідентифікувати основні аспекти негативного впливу відвалів відходів вуглевидобування на складові навколишнього середовища, встановити

переваги фітореMediaції на тлі інших методів, виявити найбільш проблемні моменти її ефективного використання з урахуванням рівня техногенного навантаження внаслідок забруднення важкими металами та місцевих умов.

У **другому розділі** надано методологію досліджень фізико-хімічних показників шахтних порід та рослинної біомаси для фіторекультивациі земель, а саме обґрунтовано: методи відбору проб субстрату та аналізу його фізико-хімічного складу (рН, питома електропровідність ґрунту, кількісний вміст органічної речовини та іонів NO_3^- , NH_4^+ , PO_4^{3-} вміст важких металів) з використанням сучасного обладнання; постановку лабораторного дослідження щодо процесу біовилуговування важких металів; особливості проведення біотестів для визначення фітореMediaційного потенціалу рослин.

В **третьому розділі** представлено результати експериментальних досліджень щодо фізико-хімічних характеристик порід вугільних відвалів вуглевидобування та їх придатності для вирощування рослин за умов низького вмісту елементів мінерального живлення та високого рівня забруднення важкими металами. Автором встановлено підвищення біовилуговування важких металів з субстрату при зниженні рН розчину внаслідок зростання активності ацидофільних бактерій. Запропоновано використовувати біочар як допоміжний елемент при проведенні фіторекультивациі для підвищення продуктивності ґрунту і адсорбції важких металів, за умов відсутності впливу на рівень рН та електропровідність. Вибір рослин-фітореMediaнтів обґрунтовано на підставі результатів біотесту за транслокаційним фактором по відношенню до важких металів та біометричними показниками. Розроблено композитні рослинні сети для фіторекультивациі земель, серед яких найбільш ефективним показав себе сет з *H. murinum L.*, *T. pratense L.*, та *S. alba L.*

В **четвертому розділі** автором розроблено технологію фіторекультивациі відвалів відходів вуглевидобування, в основі якої покладено метод нанесення композитних біогумусових брикетів з сумішшю насіння стресостійких рослин на поверхню відвалів гірських порід; обґрунтовано склад суміші брикетів, спосіб виготовлення та порядок їх розміщення на укосах та терасах відвалів відходів вуглевидобування для створення сприятливих умови для росту рослин та розвитку рослинних угруповань, адаптованих до степової зони України; визначено очікуванні витрати на проведення фіторекультивациі для відвалу вуглевидобування на один вегетаційний сезон на рівні 156,2 грн на 1m^2 , встановлено еколого-економічні показники доцільності впровадження запропонованої технології.

Висновки сформовано чітко і лаконічно, вони в достатній мірі відображають хід розв'язання поставлених у роботі завдань та містять основні результати дисертаційного дослідження.

8. Зауваження щодо суті та оформлення дисертації

В підрозділі 1.3 «Аналіз технологій ремедіациі відвалів відходів вуглевидобування» доцільно прибрати розгорнуту інформацію щодо фітостабілізациі, фітовипаровування та фітоекстракції. Сутність зазначених

методів в достатній мірі розкривається в підрозділі 1.4 «Огляд технологій фітореMediaції відвалів відходів вуглевидобування».

Потребує уточнення обґрунтування невикористання фонові концентрації при оцінці забруднення субстрату важкими металами.

В підрозділі 2.6 (стор. 77) наведено методи статистичного аналізу, які використовувалися в роботі. Доцільно було б привести результати статистичного аналізу в кінці таблиць з експериментальними даними, що дало змогу розуміння ступеня суттєвості відмінностей між варіантами.

Доцільно встановити кореляцію та одержати рівняння регресії між активністю мікроорганізмів через (рН) та вилуговуванням (стор. 94).

Як враховувались результати досліджень щодо біовилуговування важких металів в культуральних середовищах з бактеріями *A. Ferrooxidans*, для імітації процесу кислотного дренажу в гірських породах відвалів вуглевидобування, при розробці технології фітореMediaції (пункт 3.2)?

Для нормального розвитку рослин потрібні азот, фосфор та калій. Незрозуміло чого в роботі не визначали обмінний калій.

В підрозділі була проведена оцінка впливу біочару на вегетативні показники рослин при додаванні його до субстрату, що дало змогу наголосити на підвищенні продуктивності ґрунту та адсорбції важких металів. Чому біочар не залучали до суміші для виготовлення брикетів?

В якому пропорційному співвідношенні слід змішувати насіння рослин-фітореMediaнтів сімейства Злакових (*Poaceae*), Бобових (*Fabaceae*) та Хрестоцвітних (*Brassicaceae*) для створення сумішей при виготовленні брикетів?

Наскільки надійними будуть закріплення брикетів на схилах відвалу за умов їх різного кута нахилу та приживаність рослин в існуючих умовах. Чи є обмеження та необхідність повторення заходів?

У тексті роботи мають місце стилістичні, орфографічні та друкарські помилки.

Зазначені недоліки та зауваження не впливають принципово на ступінь наукової новизни, практичної значимості одержаних у дисертації результатів, а також на загальну позитивну оцінку роботи та носять рекомендаційний характер.

9. Загальний висновок. Дисертаційна робота Красовського Сергія Анатолійовича «Розробка технології фіторекультивуації відвалів відходів вуглевидобування» є цілісним самостійним, завершеним науковим дослідженням, що вирішує актуальне науково-прикладне завдання, має теоретичну і практичну цінність у галузі виробництва і технологій, за актуальністю, ступенем новизни, обґрунтованості, наукової та практичної значимості здобутих результатів дисертація відповідає спеціальності 183 – Технології захисту навколишнього середовища та задовольняє вимогам, що визначені наказом Міністерства освіти та науки від 12.07.2017 р № 40 «Про затвердження вимог до оформлення дисертації» та постановою Кабінету

Міністрів України від 12 січня 2022 р. № 44 «Про затвердження Порядку присудження ступеня доктора філософії...» (пункти 5, 6, 8).

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

Рецензент, доктор технічних наук,
доцент, професор кафедри екології
та технологій захисту навколишнього середовища
Національного технічного університету
«Дніпровська політехніка»

Тетяна ЯКОВИШИНА