

ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛУ ШАХТИ ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ ВУГЛЕПОРОДНОГО ПИЛУ В АТМОСФЕРУ

Ковров О.С., Красовський С.А., Сушко З.Л.

Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»

пр. Дмитра Яворницького, 19, 49005, Дніпро

kovrov.o.s@nmu.one, kpacka0@gmail.com, sushko.z.l@nmu.one

Український енергетичний сектор залежить від мінеральних ресурсів. Одним із них є вугілля. Вугільна промисловість відіграє важливу енергетичну роль для України. Близько 93% всіх вугільних підприємств знаходяться на території Донецького вугільного басейну. Більшість вугілля, що добувається використовується в енергетичному секторі, а саме при роботі тепло та електростанцій. При інтенсивному добуванні даного мінерального ресурсу, також збільшується антропогенне навантаження на навколишнє середовище. Процес вуглевидобування має негативний вплив на всіх етапах починаючи від підняття мінерального ресурсу до його транспортування в фінальну точку. Одним із негативних факторів є створення відвалів відходів вуглевидобування. Дані відвали займають великі території та мають негативний вплив на літосферу, гідросферу та атмосферу. В даному дослідженні проводився аналіз негативного впливу на атмосферу за рахунок утворення та здування вуглепородного пилу з породного відвалу. Даний фактор негативно впливає на біологічні процеси флори, і має негативний вплив на здоров'я фауни та людини. В статті представлено оцінку впливу викидів вуглепородного пилу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та перспективи зниження цього впливу через заходи біологічної рекультиваци. Територія відвалу сягає 27 га. Річний обсяг вуглепородного пилу, що утворюється впродовж року з даного відвалу складає 289,8 тон. Проаналізована динаміка пилоутворення залежно від вологості породної маси та швидкості вітру. Запропонований метод фіторедації даного відвалу з використанням дикої злаку, ячменю мишачого *Hordeum murinum L.* Проаналізована економічна доцільність даних природоохоронних заходів з урахуванням плати екологічного податку за викиди пилу в атмосферу. *Ключові слова:* відвал відходів вуглевидобування, пилоутворення, біологічна рекультиваци, *Hordeum murinum L.*

Assessment of the efficiency of mine dump biological recultivation for reducing carbon-rock dust emissions into atmosphere.
Kovrov O., Krasovskiy S., Sushko Z.

The Ukrainian energy sector depends on mineral resources. One of them is coal. The coal industry plays an important energy role for Ukrainian economy. Up to 93% of all coal enterprises are located in the Donetsk coal basin. Most of the coal production is used in the energy sector, namely in the heat and power generation technologies. With the intensive extraction of this mineral resource, the anthropogenic load on the environment also increases. The process of coal mining has a negative impact at all stages, from the extraction of the mineral resource to its transportation to the final point. One of the negative factors is the creation of coal mining waste dumps. These dumps occupy large areas and have a negative impact on the lithosphere, hydrosphere and atmosphere. In this paper, an analysis of the negative impact on the atmosphere due to the formation and blowing of coal dust from the rock dump surface is presented. This factor negatively affects the biological processes of the flora, and has a negative impact on the health of fauna and humans. The article evaluates the impact of coal dust emissions from the waste dump of the State Open Joint Stock Company "Zahidno-Donbaska" mine and the perspectives for reducing this impact through biological remediation measures. The territory of the dump reaches 27 hectares. The annual volume of carbon dust generated during the year from this dump is 289.8 tons. The dynamics of dust formation depending on the humidity of the rock mass and wind speed were analyzed. The method of phytoremediation of this dump using wild grain of mouse barley *Hordeum murinum L.* is proposed. The economic expediency of these environmental protection measures is analyzed, taking into account the payment of environmental tax for dust emissions into the atmosphere. *Key words:* coal mining waste dump, dust generation, biological remediation, *Hordeum murinum L.*

Постановка проблеми. Вугілля є важливим енергетичним ресурсом. Станом на 2020 рік в Україні налічувалося 148 шахт, із них 102 підпорядковуються державі. Близько 93% всіх вугільних запасів України знаходяться в Донецькому вугільному басейні, на Львівсько-Волинський басейн припадає приблизно 3%. Більшість вугілля, що добувається використовується в енергетичному секторі, а саме при роботі тепло та електростанцій. Із-за інтенсивного видобутку даного мінерального

ресурсу, створюються багато негативних факторів, які впливають на навколишнє середовище. Одним з них є накопичення пустих порід, на територіях, що потенційно могли бути використанні у сільському господарстві. Дані промислові території, що відведені, для накопичення пустих порід називаються териконами, або відвалами відходів вуглевидобування. Дані об'єкти завдають негативного впливу на всі сфери навколишнього середовища. Вугільні відвали, забруднюють потенційно родючий шар

літосфери важкими металами, змінюють ландшафт даної території, забруднюють підземні та поверхневі води, також забруднюють атмосферу та змінюють біогеоценоз території. Зменшити антропогенний вплив вугільного відвалу на навколишнє середовище, можна фізичними, хімічними та біологічними методами. Перші два методи мають високу собівартість та є трудомісткими. Біологічний метод є більш дешевшим та не потребує задіяння великих ресурсів. Даний метод біологічної рекультивації також має назву фітореMediaція. Це метод при якому для зменшення антропогенного навантаження задіяні рослини. За допомогою рослин можливо зменшити вітрову та водну ерозію відвалів відходів вуглевидобування та повернути забрудненні території до сільсько-господарського використання. Використання дикорослих злаків для фітореMediaції техногенних та забруднених земель є ефективним напрямком біологічної рекультивації, який дозволяє за короткий проміжок часу створити рослинний покрив з піонерних та стійких видів рослин, що дасть поштовх до розвитку біологічного різноманіття.

Актуальність дослідження. Розрахунок потенційної небезпеки для навколишнього середовища від пилоутворення на відвалі відходів вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та розрахунок економічної доцільності від біологічної рекультивації відвалу.

Зв'язок авторського доробку із важливими науковими та практичними завданнями. Авторами розраховано потенційна можливість забруднення атмосферного повітря від пилоутворення вугільного відвалу. Виконані орієнтовні розрахунки щодо біологічної рекультивації та оцінений економічний ефект від природоохоронних заходів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Гірничодобувні роботи мають негативний вплив на навколишнє середовище. Вплив на забруднення навколишнього середовища, спричиненого видобутком корисних копалин, залежить від виду корисних копалин, способу видобутку та інших факторів. Однак забруднення вугільним пилом та пилом від пустих порід становить велику загрозу для здоров'я людини в процесі зберігання, транспортування та укладання вугілля та породи. Система управління пустими гірськими породами включає підготовку породи, її зберігання та транспортування на вугільний відвал. Гірничу породу спочатку необхідно транспортувати з шахт до місця накопичення. Вібрації та рухи, спричинені дорожнім полотном, стрілочними переводами та залізничними спорудами, а також дія вітру, призводять до того, що пил з пустої породи розлітається на землю та потрапляє в повітря, що призводить до забруднення. Пил з вугільних відвалів має складний мінеральний і хімічний склад, оскільки він походить із різних джерел і забезпечує реакційні центри для різних атмосферних хімічних речовин [1]. Ці хімічні речовини можуть спричинити зміни у властивостях

пилу, що в свою чергу може спричинити ризик для здоров'я людини, екології та атмосферного середовища. Елементи, присутні в пилу, можуть впливати на біогеохімічні процеси. У короткі проміжки часу (від днів до тижнів) пил безпосередньо впливає на рослинність, змінює швидкість та час танення снігу та впливає на необхідні елементи (поживні речовини) для продуктивності рослин і мікроорганізмів. У довгостроковій перспективі пил може бути важливим чинником у формуванні та розвитку хімічних процесів в ґрунтах [2].

Рекультивація вугільних відвалів, для зменшення пиловиділення фізичними та хімічними методами, є дорогим і трудомістким. В якості альтернативи забруднений ґрунт може піддаватися біореMediaції або фітореMediaції, що полягає у використанні рослин або інших біологічних заходів для видалення, знищення або секвестрації небезпечних речовин із ґрунту та відвалів [3]. Існують деякі обмежувальні фактори, які впливають на ефективність фітореMediaції, такі як здатність рослин поглинати забруднюючі речовини, виживання на забруднених землях і низька біодоступність забруднюючих речовин [4]. Багато економічних видів рослин (включаючи дерева, трави, чагарники та водні рослини) підлягають характеристикам їхнього потенціалу для стійких практик фітореMediaції. Ряд економічно та екологічно важливих рослин мають здатність переносити та очищати забруднювачі із забруднених земель, тому їх класифікують як комерційні рослини [5].

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується означена стаття. Розрахована потенційна можливість викиду пилу з відвалу відходу вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» та проведений розрахунок економічної доцільності біологічної рекультивації відвалу.

Новизна. Розрахований валовий обсяг викидів пилу з поверхні породного відвалу та проведений розрахунок економічної доцільності біологічної рекультивації відвалу.

Методологічне або загальнонаукове значення полягає в аналізі потенційної небезпеки для навколишнього середовища від пилоутворюючих процесів на відвалі вуглевидобування та в оцінці економічній доцільності біологічної рекультивації досліджуваного відвалу.

Виклад основного матеріалу. Породні відвали вугледобувних підприємств є основним фактором негативного впливу на навколишнє середовище. Подібна дія може проявлятися протягом тривалого часу у вигляді викидів пилу та тривалих ерозійних процесів. Навіть після припинення складування породи у відвал вплив на довкілля триває. Тому оцінка викидів пилу від поверхонь відвалів є актуальним завданням захисту навколишнього середовища.

Вважається, що за повного озеленення породного відвалу інтенсивність вітрової ерозії дорівнює нулю.

Тому після виконання комплексу фітомеліоративних робіт сума екологічних збитків зменшиться на величину, пов'язану із забрудненням атмосфери.

Для аналізу впливу забруднення пилу було взято відвал вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» (рис. 1).

Відповідно до технологічного паспорту породного відвалу, його площа складає 27 га, об'єм укладеної породи у відвал складає 7,124 млн. м³, максимальна висота 60 м, кут укосу 37°-45° [6]. Форма відвалу представляє усічений конус. Відвал є діючий, не горить.

Розрахунок пиловиділення від породного відвалу. Для визначення кількості пилу з поверхні відвалу була визначена площа його загальної поверхні $S_{\text{заг}}$ за формулою 1:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{верх}} + S_{\text{бік}} \quad (1)$$

де $S_{\text{верх}}$ – площа верхньої основи, га; $S_{\text{бік}}$ – площа бічної поверхні відвалу, га.

При цьому припускаємо, що відвал є усіченим конусом і загальна поверхня пиління визначається як сума верхньої основи і бічної поверхні.

Для розрахунку площі бічної поверхні використовуємо формулу усіченого конусу (2):

$$S_{\text{бік}} = \pi \cdot l \cdot (r_1 + r_2), \quad (2)$$

де r_1, r_2 – радіуси відповідно нижньої та верхньої основ відвалу; l – довжина укосу (рис. 2).

Площа верхньої основи розраховується за формулою кола (3):

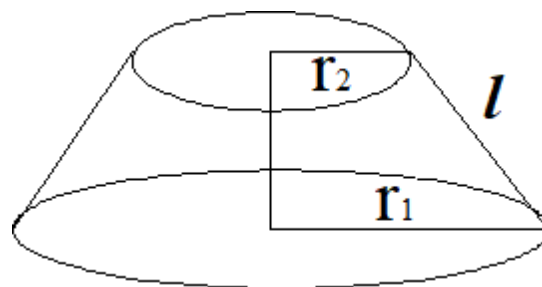


Рис. 2. Схематичне зображення відвалу для розрахунку площі його поверхні

$$S_{\text{верх}} = \pi \cdot r^2, \quad (3)$$

Так, площа, займана відвалом з нижньої основи становить 27 га або 270 000 м², а усереднене значення кута укосу відвалу – $\alpha = 45^\circ$.

Можна визначити радіус нижньої основи, яка становить 293,2 м.

Знаходимо різницю між нижньою та верхньою основами відвалу.

$\Delta r = h \cdot \text{ctg} \alpha$, де h – висота відвалу, α – середній кут нахилу укосів; $\Delta r = 60$ м.

Довжину укосу можна визначити за теоремою Піфагора, $l = 84,8$ м.

Радіус верхньої основи знаходимо як $r_1 - \Delta r$: $293,2 - 60 = 233,2$ м.

Площа верхньої основи: $S_{\text{верх}} = 3,14 \cdot (233,2)^2 = 170760$ м².



Рис. 1. ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська»: 1 – відвал відходів вуглевидобування

$$S_{бок} = \pi \cdot l \cdot (r_1 + r_2) = 3,14 \cdot 84,8 \cdot (293,2 + 233,2) = 140165,6 \text{ м}^2.$$

$$S_{заг} = S_{верх} + S_{бок} = 170760 + 140165,6 = 310925,6 \text{ м}^2.$$

Всі необхідні розраховані дані для визначення площі поверхні відвалу представлені в табл. 1.

Для розрахунку сумарних викидів частинок пилу в атмосферу від породного відвалу шахти «Західно-Донбаська» ($M_{відв}$) використана формула (4):

$$M_{відв} = M_{розв} + M_{бульд} + M_{здув}, \text{ т/рік} \quad (4)$$

де $M_{розв}$ – кількість твердих частинок, що виділяються під час вивантаження породи з транспортного засобу, т/рік; $M_{бульд}$ – кількість твердих частинок, що виділяються при формуванні відвалу бульдозером, т/рік; $M_{здув}$ – кількість твердих частинок, що здуваються з поверхні відвалу, т/рік.

Для розрахунку викидів пилу в атмосферу, що утворюються при розвантаженні породної маси з автосамоскидів у відвал шахти використана формула (5):

$$M_{розв} = q_{пит} \cdot P_{пор} \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot K_4 \cdot 10^{-6} \cdot (1 - \eta), \text{ т/рік} \quad (5)$$

де $q_{пит}$ – питоме виділення твердих частинок при розвантаженні (перевантаженні) матеріалу, г/т; $q_{пит} = 0,32 \text{ г/т}$; $P_{пор}$ – кількість матеріалу, що розвантажується (перевантажується), т/рік; K_1 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу, що перевантажується (рис. 3); K_2 – коефіцієнт, який враховує швидкість вітру (рис. 4); K_3 – коефіцієнт, який враховує

висоту пересипання матеріалу, при висоті скидання 4 метри $K_3 = 1$; K_4 – коефіцієнт, який враховує ступінь захищеності точки розвантаження породи від зовнішніх впливів; для відкритих з 4-х сторін поверхонь відвалів дорівнює 1,0; η – ефективність засобів пилоподавлення, дол.од; за умов зрошення чи обробки поверхні відвалу пилов'язучими речовинами – $\eta = 0,85-0,9$; без застосування засобів пилоподавлення $\eta = 0$.

Отримана залежність представлена на основі експериментальних досліджень здуваності вуглепородного пилу з поверхні залежно від вологості породи. Вважається, що при транспортуванні матеріалу з вологістю понад 20% викиди в атмосферу практично відсутні.

Іншим важливим показником для розрахунку пиловиділення є показник швидкості вітру K_2 . Розмір цього коефіцієнту при розрахунку річних викидів визначається за середніх значень швидкості вітру для конкретного регіону. Для отримання середніх даних швидкості вітру за рік, були взяті дані з Гідрометцентру по Павлоградському району, Тернівської територіальної громади [7]. На рис. 4 представлена залежність від коефіцієнту K_2 , який враховує швидкість вітру.

Для розрахунку кількості пилу ($M_{бульд}$ т/рік), що викидається в атмосферу від відвалу шахти «Західно-Донбаська» при формуванні бульдозером, розраховується за формулою (6):

Таблиця 1

Загальна інформація про параметри відвалу

Висота, м	Площа основи, м ²	Об'єм породи, м ³	Річний об'єм породи, м ³	Площа бічної поверхні, м ²	Площа верхньої основи, м ²	Загальна площа відвалу, м ²
60 м	270 000	7,124*10 ⁶	217197,4	140165,6	170760	310925,6

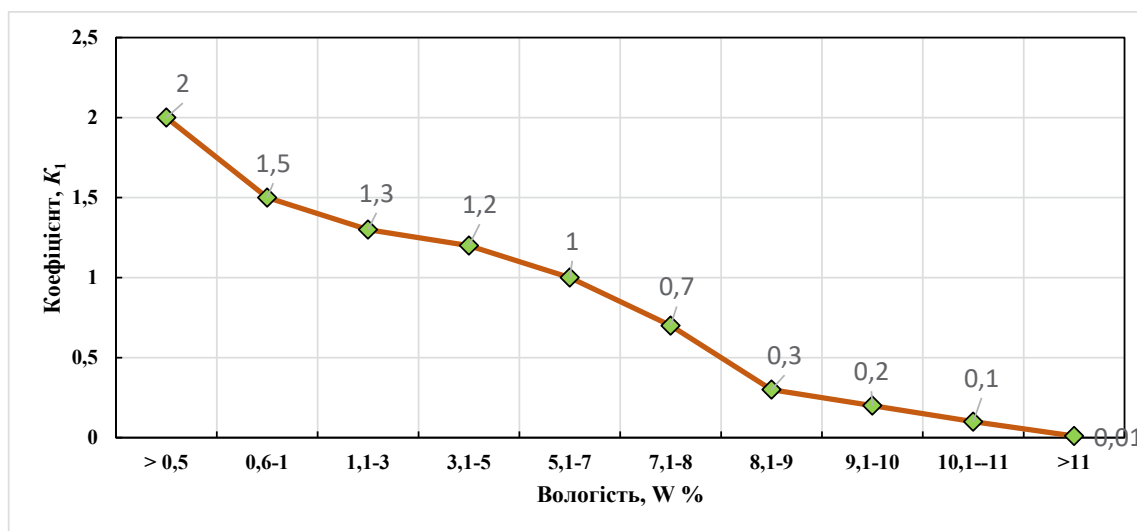


Рис. 3. Залежність коефіцієнта K_1 від вологості породи

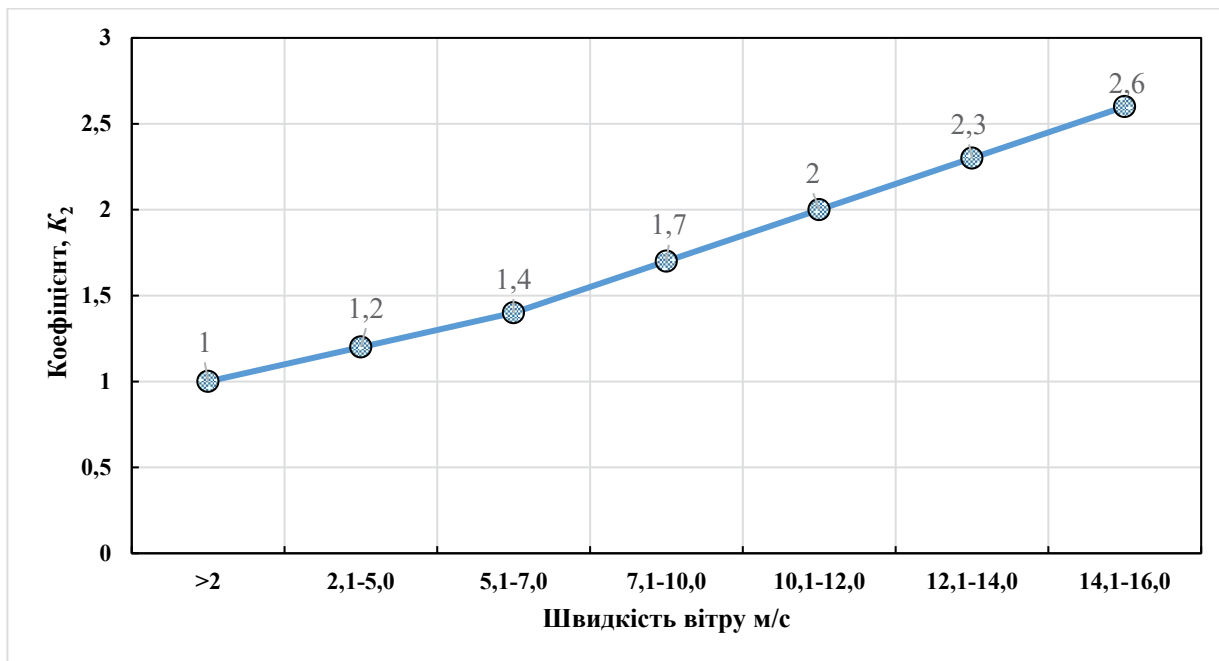


Рис. 4. Залежність коефіцієнту K₂ від швидкості вітру

$$M_{бульд} = q_{бульд} \cdot P_j \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot 10^{-6}, \quad (6)$$

де $q_{бульд}$ – питоме виділення твердих частинок з 1 тони матеріалу, що переміщується бульдозером, г/т; P_j – кількість матеріалу, що перевантажується бульдозерами за рік, т; $P_j = P_{пор}$; K_1 – коефіцієнт, який враховує вологість матеріалу; K_2 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру.

Для планування поверхні відвалу використовуються бульдозери ДЗ-35С потужністю 132,5 кВт з питомим виділенням пилу $q_{бульд} = 0,70$ г/т згідно з технологічним паспортом формування відвалу.

Для розрахунку кількості твердих часток пилу, що здуваються з поверхні породного відвалу шахти «Західно-Донбаська» $M_{здув}$, визначалося за формулою (7):

$$M_{здув} = 86,4 \cdot q_{здув} \cdot S_{пил} \cdot \rho \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_5 \cdot [365 - (T_{сніг} + T_{опали})] \cdot (1 - \eta) \quad (7)$$

де $q_{здув}$ – питома здуваність твердих частинок з пилу поверхні відвалу (приймається рівною $0,1 \cdot 10^{-6}$ кг/(м²·с);

$S_{пил}$ – площа поверхні відвалу, що пилить, м²;

ρ – коефіцієнт подрібнення гірничої маси (приймається рівним 0,1);

K_1 – коефіцієнт, що враховує вологість породи (рис. 3);

K_2 – коефіцієнт, що враховує швидкість вітру (рис. 4);

K_5 – коефіцієнт, що враховує ефективність здування твердих частинок з діючих і недіючих відвалів, вибирається наступним чином: $K_5 = 1$ для діючого відвалу; для недіючих відвалів $K_5 = 0,2$ (у перші три роки після припинення експлуатації); $K_5 = 0,1$ (у наступні роки до повного озеленення відвалу);

$T_{сніг}$ – кількість днів із стійким сніговим покривом (за даними Укргідромету);

$T_{опали}$ – кількість днів з опадами (за даними Укргідромету);

η – ефективність засобів пилоподавлення, дол. од. (при гідрознепилюванні

або зрошенні $\eta = 0,85-0,9$, без засобів пилоподавлення $\eta = 0$).

Розрахунки сумарних викидів частинок пилу в атмосферу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» ($M_{відв}$) представлені в табл. 2.

Розрахунок біомаси рослин для біологічної рекультивациі поверхні відвалу. Прогноз рослинної біомаси походить здебільш із аграрних наук, де використовуються методи прогнозу врожайності сільськогосподарських культур. Для потреб рекультивациі техногенних земель можна використовувати аналогічні методи та розрахунки, які базуються на емпіричних залежностях та експертних оцінках.

Таблиця 2

Сумарні викиди частинок пилу в атмосферу від породного відвалу ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська»

Показник	$M_{розв}$	$M_{бульд}$	$M_{здув}$	$M_{відв}$
Значення т/рік	0,0008	0,27	227,6	289,8

Прогнозування біомаси рослин під час біологічної рекультиватії гірничопромислових земель базується на емпіричних оцінках біопродуктивності певних рослин з урахуванням багатьох чинників, зокрема: рівень вологи породної маси в поверхневому шарі, середньодобових коливань температур, несприятливих метеорологічних чинників, видового складу рослин-фіторемедіантів, стійкість та адаптивні властивості рослин, тощо.

Рослинна біомаса трав'янистих рослин для біологічної рекультиватії техногенних територій визначається як кількість енергії сонця зафіксованої на одиниці площі в органічній масі рослинного врожаю. Абсолютна величина цієї енергії визначається за формулою 8 та дорівнює добутку сухої біомаси урожаю з площі на теплотворну здатність біомаси:

$$E = ПУ \cdot q \quad (8)$$

де, E – кількість сонячної енергії, що міститься в урожаї, кДж або ккал/га; $ПУ$ – потенційна урожайність сухої біомаси, кг/га; q – калорійність (теплотворююча здатність) вирощеної біомаси, кДж або ккал/кг.

Також є формула, яка більш детально характеризує вплив сонячної радіації на приріст біомаси рослини. Маючи дані по калорійності біомаси рослин і приходу фотосинтетичної активної радіації (ФАР), можна наближено визначити потенційний урожай (біомаса) за формулою (9):

$$ПУ = K_{\phi} \cdot K_m \cdot K_{pn} \cdot \frac{\sum Q}{q} \quad (9)$$

де $ПУ$ – потенційний урожай (біомаса) у сухому стані, ц/га, при оптимальних метеорологічних умо-

вах; K_{ϕ} – коефіцієнт використання ФАР, виражений у частках одиниці по А.О. Ничипоровичу (звичайні значення – 0,005-0,015; добрі – 0,015-0,03; рекордні – 0,035-0,05; теоретично можливі – 0,06-0,08); K_t – коефіцієнт відношення надземної і підземної частини трав'янистого покриву, який показує частку фотосинтетичної активної частини врожаю в загальній біомасі; K_{pn} – коефіцієнт рослинного покриву (оцінюється згідно з табл. 3); ΣQ – кількість ФАР, що надходить за період вегетації, ккал/га або кДж/га (за табл. 4); q – калорійність біомаси рослин, ккал/ц або кДж/ц (табл. 5).

Коефіцієнт рослинного покриву K_{pn} залежить від низки природних (кількість опадів та зволоження ґрунту, наявність елементів живлення, сонячне освітлення тощо) і техногенних чинників (фізичне порушення структури ґрунту, забруднення важкими металами чи органо-мінеральними домішками).

В таблиці 4 представлені середні багаторічні щомісячні суми ФАР на території України, в південних областях, кДж/см² (Цупенко М.Ф., 1990). Так як досліджуваний відвал ДВАТ Шахта «Західно Донбаська» знаходиться в Дніпропетровській області, то відповідно дані для розрахунку були взяті по області.

В таблиці 5 представлено калорійність біомаси рослин.

Якщо припустити, що для рослин, якими рекультивують породний відвал усереднене значення $K_{\phi} = 0,015$, а $K_t = 1,0$, то показники потенційної біомаси у сухому стані будуть представлені у вигляді лінійної зростаючої залежності від коефіцієнту рослинного покриву K_{pn} (рис. 5).

Проаналізувавши дану залежність, можна побачити, що при збільшенні загального відсотку покриву

Таблиця 3

Коефіцієнт рослинного покриву K_{pn}

Характеристика покриття поверхні рослинним покривом, %	Коефіцієнт рослинного покриву K_{pn} , безрозм.
Повне покриття поверхні на 100%	1,0
Покриття поверхні на 80%	0,8
Покриття поверхні на 60%	0,6
Покриття поверхні на 40%	0,4
Покриття поверхні на 20%	0,2
Рослинний покрив відсутній, 0%	0

Таблиця 4

Середні багаторічні щомісячні суми ФАР на території України, кДж/см² (Цупенко М.Ф., 1990)

Область	IV	V	VI	VII	За період з t° вище		За рік
					+5°С	+10°С	
Дніпропетровська	22,2	31,4	33,6	34,3	1886	1593	2297
Донецька	23,5	31,4	33,3	34,6	1844	1593	2311
Запорізька	24,0	32,1	35,7	35,7	1928	1672	2393
Миколаївська	23,6	31,6	33,5	35,7	1928	1672	2365
Херсонська	24,5	33,3	34,6	36,1	2053	1761	2457

Таблиця 5

Калорійність рослин за стандартної вологості біомаси

Дикорослі рослини для рекультивації	Калорійність абсолютно сухої речовини q , кДж/кг	Стандартна вологість біомаси рослин W , %
Ячмінь мишачий (<i>Hordeum murinum</i>)	18646	14
Костер безостий (<i>Bromus inermis</i>)	18520	14
Стоколос японський (<i>Bromus japonicas</i>)	19735	16
Вівсюг звичайний (<i>Avena fatua</i>)	17179	14
Кунічник наземний (<i>Calamagrostis epigējos</i>)	19274	15
Грястиця збірна (<i>Dactylis glomerata</i>)	19217	14

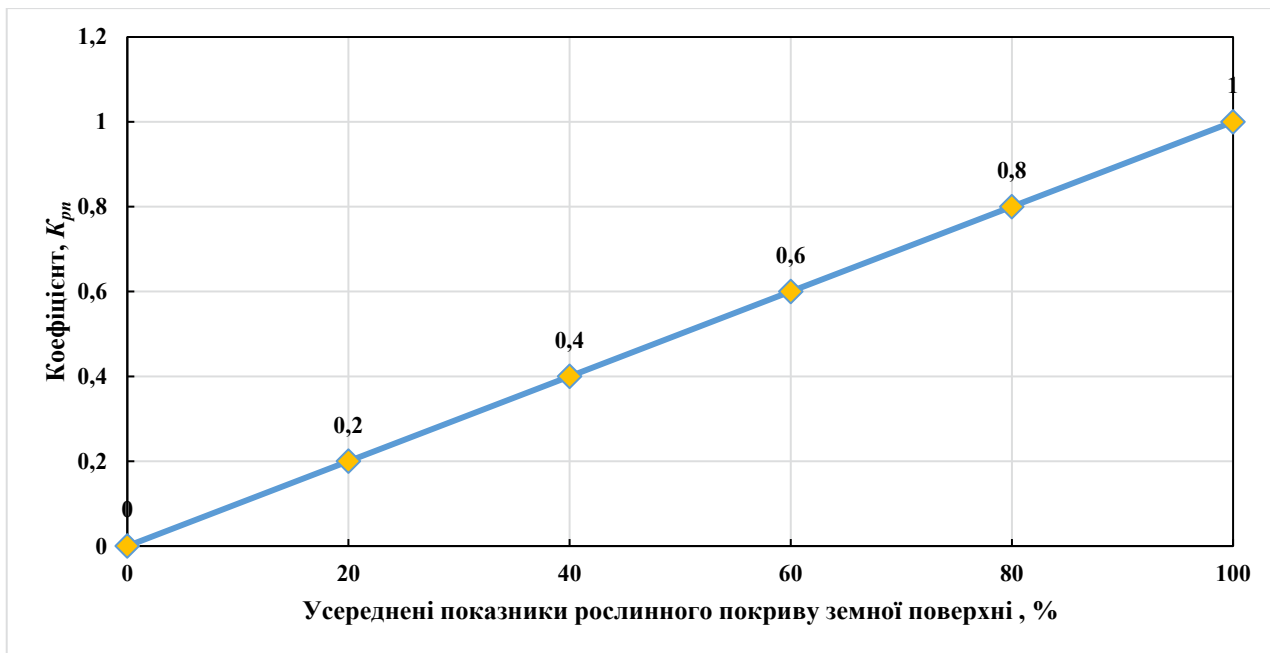


Рис. 5. Залежність показників потенційної біомаси рослин

землі рослинністю, прямопропорційно збільшується коефіцієнт рослинного покриття – $K_{рп}$.

Згідно планової діяльності підприємства шахти «Західно-Донбаська» розмір екологічного податку з урахуванням викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря, становить 2519051,0 грн/рік. З них 22094,3 виплачуються за потрапляння пилових часток в атмосферне повітря щорічно.

Для зменшення техногенного впливу на навколишнє середовище вугільного відвалу шахти «Західно-Донбаська» пропонується виконати біологічну рекультивацію після закінчення активної фази формування вугільного відвалу. Для цього виконана прогнозна оцінка необхідної рослинної біомаси для досліджуваного вугільного відвалу. В якості фіторемедіанта запропоновано використання диких злаків, зокрема такої поширеної рослини як ячмінь мишачий *Hordeum murinum* L. Одним із важливих факторів при розрахунку необхідної біомаси рослин для вугільного відвалу є вплив сонячної радіації на приріст біо-

маси рослини. Даний фактор на суху речовину розраховується за формулою 9.

Для розрахунку біомаси рослин з урахуванням природної вологості $P_{вол}$ використовувалась формула 10:

$$P_{вол} = \frac{P_{сух}}{(100 - W)} \cdot 100\% \quad (10)$$

Результати розрахунків біомаси рослин для біологічної рекультивації вугільного відвалу шахти «Західно-Донбаська» представлені в таблиці 6.

Таблиця 6

Показники біомаси рослин

Показник	ПУ	$P_{вол}$
Значення кг/м ²	0,553	0,643

Згідно отриманих результатів, то для кліматичної зони та фізико-хімічних характеристик, які має вугільний відвал шахти «Західно-Донбаська» отримали, що 0,643 біомаси можна отримати з м² відвалу.

Промислове підприємство ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» сплачує екологічний податок з викидів пилю 22094,3 на рік. При засадженні даного відвалу досліджуваною рослиною можна зменшити кількість пилю, що здувається з досліджуваного відвалу. Також, не слід забувати, що при засадженні рослинами, зменшиться і викиди інших газів та забруднюючих речовин, що значно скоротить сумарні витрати підприємства на виплату екологічних податків.

Висновки. В результаті проведених досліджень, було встановлено, що відвал відходів вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» запилює атмосферне повітря пиловими частинками 289,8 т/рік. Був проведений розрахунок фітореMediaції даного відвалу, і встановлено, необхідність біологічної рекультивациі поверхні відвалу вуглевидобування дикорослим злаком ячменю мишачого *Hordeum murinum L.*, для зменшення пиловидалення з даного вугільного відвалу. Також, слід враховувати, що кількість забруднюючих речовин, що потрапляють в атмосферне повітря зменшиться, що дає змогу підприємству ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» зменшити загальні виплати за екологічні податки.

Перспективи використання результатів дослідження. Отримані результати дають змогу використовувати біологічний метод рекультивациі відвалу відходи вуглевидобування ДВАТ Шахта «Західно-Донбаська» зі зменшенням антропогенного впливу на навколишнє середовище, зниження показників виділення вуглепородного пилю з відвалу та зменшення обсягів екологічного податку підприємства за відходи вуглевидобування.

Подяка/ Acknowledge.

Автори висловлюють щирю вдячність Програмі ЄС Еразмус+, яка надала можливість виконати представлені дослідження в рамках проєкту Жана Моне «Стандарти Європейського союзу щодо екологічної реабілітації гірничопромислових земель» (р.н. EUSERML-101085715, Програма ЄС Еразмус+), який реалізовується в НТУ «Дніпровська політехніка».

The authors express their sincere gratitude to the EU Erasmus+ Program, which provided the opportunity to carry out the presented research within the framework of the Jean Monet project “European Union Standards for Environmental Rehabilitation of Mining Lands” (Pr. num. EUSERML-101085715), which is implemented at Dnipro University of Technology.

Література

1. Abed, A.M., Kuisi, M.A., Khair, H.A., Characterization of the Khamaseen (spring) dust in Jordan. *Atmospheric Environment* 2009, Vol. 43, pp. 2868–2876.
2. Painter, T.H., Barrett, A.P., Landry, C.C., Neff, J.C., Cassidy, M.P., Lawrence, C.R., McBride, K. E., Farmer, G.L., Impact of disturbed desert soils on duration of mountain snow cover. *Geophysical Research Letters*. 2007. Vol. 34.
3. Cunningham S.D and Ow D.W., Promises and prospects for phytoremediation; *Plant Physiology*. 1996. Vol. 110, pp. 715–719.
4. Chirakkara R, Reddy K., Plant species identification for phytoremediation of mixed contaminated soils. *Journal of Hazard Toxic Radioactive Waste*. 2015. Vol. 19(4):04015004. doi:10.1061/(ASCE) HZ.2153-5515.0000282.
5. Pandey V.C, Pandey D.N, Singh N., Sustainable phytoremediation based on naturally colonizing and economically valuable plants. *Journal of Cleaner Production*. 2015. Vol. 86. pp. 37–39.
6. Звіт оцінки впливу на довкілля планованої діяльності «розкриття 1 підготовка пласта C₁ у блоках № 1 і № 3. підготовка і відробка пласта C в західній частині блоку № 3 шахти «Західно-Донбаська», яка розташована у Павлоградському районі, Дніпропетровської області. Реконструкція». URL: <https://adm.dp.gov.ua/storage/app/uploads/public/602f7b/375/602f7b375ef23539785807.pdf>
7. Український гідрометеорологічний центр. Державної служби України з надзвичайних ситуацій. URL: <https://www.meteo.gov.ua/>