

УДК 622.693.26:504.53.062  
DOI: 10.15587/2312-8372.2019.185204

## ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФІТОРЕМЕДІАЦІЇ ДЕГРАДОВАНИХ ЛАНДШАФТІВ НА ОСНОВІ ЕКОСИСТЕМНОГО ПІДХОДУ

Ковров О. С., Федотов В. В., Зворигін К. О.

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ДЕГРАДИРОВАННЫХ ЛАНДШАФТОВ НА ОСНОВЕ ЭКОСИСТЕМНОГО ПОДХОДА

Ковров А. С., Федотов В. В., Зворыгин К. А.

## JUSTIFICATION OF PHYTOREMEDIATION TECHNOLOGY OF DEGRADED LANDSCAPES ON THE BASIS OF ECOSYSTEM APPROACH

Kovrov O., Fedotov V., Zvoryhin K.

*Об'єктом дослідження є розвиток природних та приживлюваність штучних рослинних угруповань на поверхні породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська» Державного підприємства «Селидіввугілля» (ДП «Селидіввугілля», Селидове, Україна).*

*Фіторемедіація деградованих гірничопромислових земель, зокрема породних відвалів, спрямована на створення стійкого рослинного покриву на поверхні техногенних масивів порід. Найбільшою проблемою біологічного етапу рекультивациі відвалів є правильний підбір асортименту деревинно-чагарникової рослинності та створення рослинних угруповань, стійких до тривалого впливу токсичних речовин породних масивів. Самозаростання породних відвалів триває впродовж їх експлуатації, а домінуючими видами є типові для степової та лісостепової зони рослини. Виявлення домінантних видів рослинності на поверхні породних відвалів є джерелом важливої інформації для обґрунтування цільової фіторемедіації гірничопромислових ландшафтів.*

*Протягом 1996–2016 рр. досліджувалось рослинне різноманіття породного відвалу. Встановлено, що рослинні угруповання представлені переважно сімействами Злаків, Бобових, Складноцвітних і Хрестоцвітних, а найбільша кількість видів спостерігається вздовж нижньої основи відвалу та на вершині. Обґрунтовано доцільність застосування методики фіторемедіації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами в якості альтернативної екотехнології відновлення гірничопромислового ландшафту до стану природної екосистеми. Згідно з результатами польових досліджень, приживлюваність дернових матів на верхньому і нижньому ярусах поверхні відвалу найбільша і становить 53% та 34% від загальної кількості висаджених зразків рослинних угруповань.*

*Запропонована методика фітореMediaції укосів породних відвалів дерновими матами з типовою для обраної місцевості рослинністю є перспективним напрямком прискореної фітореMediaції гірничопромислових земель.*

**Ключові слова:** *фітореMediaція деградованих земель, породний відвал, рослинне різноманіття, гірничопромисловий ландшафт, дерновий мат.*

*Объектом исследования является развитие природных и приживаемость искусственных растительных групп на поверхности породного отвала ликвидированной шахты «Селидовская» Государственного предприятия «Селидовуголь» (ГП «Селидовуголь», Селидово, Украина).*

*ФитореMediaция деградированных горнопромышленных земель, в частности породных отвалов, направлена на создание устойчивого растительного покрова на поверхности техногенных массивов пород. Самой большой проблемой биологического этапа рекультивации отвалов является правильный подбор ассортимента древесно-кустарниковой растительности и создание растительных групп, устойчивых к длительному воздействию токсичных веществ породных массивов. Самозаростание породных отвалов продолжается в течение их эксплуатации, а доминирующими видами являются типичные для степной и лесостепной зоны растения. Выявление доминантных видов растительности на поверхности породных отвалов является источником важной информации для обоснования целевой фитореMediaции горнопромышленных ландшафтов.*

*В течение 1996–2016 гг. исследовалось растительное разнообразие породного отвала. Установлено, что растительные группы представлены преимущественно семействами Злаков, Бобовых, Сложноцветных и Крестоцветных, а наибольшее количество видов наблюдается вдоль нижнего основания отвала и на вершине. Обоснована целесообразность применения методики фитореMediaции техногенных откосов породных отвалов дерновыми матами в качестве альтернативной экотехнологии восстановления горнопромышленного ландшафта до состояния естественной экосистемы. Согласно результатам полевых исследований, приживаемость дерновых матов на верхнем и нижнем ярусах поверхности отвала является наибольшей и составляет 53 % и 34 % от общего количества высаженных образцов растительных сообществ.*

*Предложенная методика фитореMediaции откосов породных отвалов дерновыми матами с типичной для выбранной местности растительностью является перспективным направлением ускоренной фитореMediaции горнопромышленных земель.*

**Ключевые слова:** *фитореMediaция деградированных земель, породный отвал, растительное разнообразие, горнопромышленный ландшафт, дерновий мат.*

## 1. Вступ

Завершальний етап розробки корисних копалин в гірничопромислових регіонах є початковим етапом процесу гірничотехнічної рекультивації порушених земель, зокрема породних відвалів. Зазвичай, зовнішні відвали розкривних порід підлягають фіторекультивації з повним відновленням до стану первинної екосистеми. Лісотехнічна рекультивація в гірничих регіонах включає комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, спрямованих на створення стійкого рослинного покриву на поверхні техногенних масивів порід.

Світовий досвід в галузі фіторемедіації техногенних земель показує, що існують проблеми, пов'язані зі створенням стійких рослинних угруповань. А також підбором асортименту деревинно-чагарникової рослинності, доступністю елементів мінерального живлення рослин і тривалим впливом токсичних речовин породних масивів на флору і фауну. Тому виявлення пріоритетних екологічних чинників відновлення порушених гірничопромислових ландшафтів і визначення ефективних заходів щодо спрямованої фіторекультивації є актуальною проблемою.

## 2. Об'єкт дослідження та його технологічний аудит

Об'єктом дослідження є розвиток природних та приживлюваність штучних рослинних угруповань на поверхні породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська» Державного підприємства «Селидіввугілля» (ДП «Селидіввугілля», Селидове, Україна).

Шахта «Селидівська» ДП «Селидіввугілля» експлуатувалася з 1963 року та була ліквідована в 1996 році. На території шахти розташований породний відвал площею 18 га. Висота відвалу – 40 м. Обсяг заскладованої породи – 5,4 млн. м<sup>3</sup>. Породний відвал є плоским, без нарізаних терас. Від промайданчика шахти прокладена автомобільна дорога для транспортування породної маси. На відвалі збереглися два майданчики для складування і планування породи.

Для дослідження рослинного різноманіття обрано окремі ділянки відвалу, що відрізняються експозицією укосу і вертикальним розташуванням:

- підніжжя відвалу (в т. ч. водовідвідні канали по периметру нижньої основи відвалу);
- технологічна дорога на відвал (узбіччя, водовідвідні канали);
- нижні (більш вологі) схили;
- верхні (посушливі) схили, укоси;
- пагорби неспланованої породи на майданчиках складування;
- западини, вирви та виїмки на майданчику складування породи;
- вершина відвалу.

Зазвичай процес самозаростання відвалів триває декілька десятків років після його відсіпання. Однак ще до закриття шахти в деяких місцях відвалу спостерігалася рослинність, яка була представлена окремими деревами (акація біла, тополя чорна, ясен зелений), невеликими чагарниками (шипшина звичайна, бузина чорна), та травянистою рослинністю вздовж нижнього контуру основи відвалу. Протягом декількох років після припинення діяльності

шахти поверхня відвалу порівняно швидко заселялася первинною рослинністю, типовою для степової та лісостепової зони. Домінуючими видами рослинних угруповань стали сорно-рудеральні сміттєві види, а також дикі злаки з потужною кореневою системою.

На початковій стадії самозаростання породна маса містить мало необхідних елементів мінерального живлення, що і зумовило бідне видове різноманіття в перші роки після припинення відсіпання породи. У 1996 р. на майданчиках складування породи, на вершині та на схилах ще не спостерігалася рослинність. Найбільш задерненими були східні і південно-східні схили, що пояснюється їх експозицією та переважаючим напрямком вітрів. Найбільш інтенсивно піддалися самозаростанню технологічна дорога на відвал, по обидва боки якої сформувалася сорно-рудеральна (сміттєва) рослинність, яка є постійним супутником людини. Рясний рослинний покрив зустрічається і вздовж водовідвідних каналів по периметру нижньої основи відвалу, де стали активно завойовувати територію дерновинні і кореневищні дикі злаки, а також чагарники (шипшина звичайна, бузина чорна) і дерева (акація біла, тополя чорна). Протягом періоду досліджень (1996–2016 рр.) тенденція самозаростання відвалу зберігалася і зелений покрив збільшувався як в кількісному, так і в якісному відношенні за рахунок поселення нових видів.

### **3. Мета та задачі дослідження**

*Метою дослідження* є визначення домінантних видів рослинності на поверхні породного відвалу вугільної шахти для обґрунтування цільової фітореMediaції гірничопромислових територій.

Для досягнення мети поставлено наступні наукові задачі:

1. Дослідити рослинне різноманіття породного відвалу та виявити домінантні види для потенційної фітореMediaції гірничопромислових ландшафтів.

2. Обґрунтувати доцільність застосування методики фітореMediaції техногенних укосів породних відвалів дерновими матами.

### **4. Дослідження існуючих рішень проблеми**

Комплексна технічна та біологічна рекультивация є головним напрямком оптимізації гірничопромислових територій. Існуючі сьогодні технології рекультивации земель недостатньо враховують екологічну складову в практиці загального відновлення деградованих ландшафтів [1].

Так, у роботі [2] показано, що лісотехнічна фітореMediaція може бути ефективним засобом для зменшення вмісту металів Zn, Cd, Mn, Pb і Cu на гірничопромислових землях у Великобританії. Встановлено, що через чотирнадцять років після першої посадки дерев, концентрація металів в ґрунтах зменшилася: Cd – на 52 %, Cu – на 48 %, Zn – на 47 %, Pb – на 44 %, Mn – на 35 %. Тим не менш, незрозуміло, які саме види дерев з гіперакумулятивними властивостями дають найбільший приріст біомаси.

Одним з перспективних напрямів є культивування енергетичних культур, зокрема видів *Miscanthus*, *Ricinus*, *Jatropha*, *Populus* [3]. Але зважаючи на

змістовність та всебічність представленої концепції фітореMediaції, ефективність прогнозованих результатами ставиться під сумнів.

На срібловидобувних підприємствах Гумуської Аги в Туреччині досліджувались [4] ефекти накопичення As, Ag та Pb з ґрунту деревинно-чагарниковими рослинами, що дозволяє використовувати їх в якості біоаккумуляторів та фітореMediaнтів. Але наведені концентрації важких металів в коренях та листях рослин не дозволяють з впевненістю сказати про ефективність процесу біопоглинання у часі.

Технічна та біологічна рекультивация деградованих земель у вугільному районі Острава-Карвіна в Чеській Республіці, де розміщено приблизно 281 сміттєзвалище та породні відвали, може бути доволі масштабною [5]. Проте варіанти та найбільш доцільні технології відновлення земель не деталізовано.

В роботі [6] йдеться про видалення важких металів із забруднених ґрунтів в районах видобутку вугілля Кобре Лас та Асналколар, що містять високі концентрації Cr, Fe, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb та As за допомогою фітореMediaції з використанням *Jatropha curcas* L. Виявлено, що рослина поглинає Fe близько 3000 мг/кг біомаси рослини, значно знижує вміст Pb, Zn, Cu, Cr і Ni, As, а Cd, Hg і Sn повністю вилучає з ґрунтів. Проте незрозуміла доцільність використання вкрай отруйної рослини як фітореMediaнта.

В роботі [7] було проведено пілотне дослідження з метою виявлення потенціалу трави ветівєру *Chrysorogon zizaniodes* (L.) для відновлення відвалів залізних руд. Встановлено, що трава ветівєр може бути ефективно використана для відновлення та стабілізації ґрунту на ділянках, забруднених високим вмістом важких металів, зокрема Fe, Mn, Zn та Cr. Але в даній роботі недостатньо висвітлено наскільки стабільними можуть бути травянисті угруповання ветівєру на поверхні відвалів у часі.

Також біорекультивация відвалів вугільних шахт можлива через внесення мікроорганізмів в породну масу, що призводить до значного поліпшення стану родючості та біологічної продуктивності техногенного ґрунту [8]. Проте, в публікації не надається розширеної інформації стосовно видового складу мікробоценозу та його потенційного впливу на стан довкілля.

В натурному дослідженні покинутих гірничопромислових територій у південному центрі Марокко, представлено в [9], виконана оцінка рівня забруднення ґрунтів важкими металами та потенціал їх аккумуляції рослинами. Встановлено, що толерантні місцеві види рослин можуть бути використані як інструменти для ефективної фітореMediaції забруднених металами земель. Однак, немає чіткої схеми використання рослин стосовно конкретних об'єктів, зокрема породних відвалів, шламонакопичувачів тощо.

Таким чином, запровадження технологій гірничотехнічної і біологічної рекультивации є передумовою ефективного подальшого використання земель для потреб аграрного сектору чи створення рекреаційних територій [10].

В цьому контексті комплекс заходів з фітореMediaції і фітомеліорації деградованих земель є визначальним для стійкого функціонування ландшафту та відновлення природного біорізноманіття [11].

## 5. Методи досліджень

Для виконання завдань дослідження використані наступні методи:

1. Метод натурного дослідження рослинного різноманіття породного відвалу для виявлення домінантних видів та їх використання в технологіях фітореMediaції деградованих гірничопромислових ландшафтів.

2. Методика фітореMediaції та стабілізації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами. Спосіб полягає в нанесенні рослинних угруповань, відібраних з яружно-балочної мережі обраної місцевості, з дерновинами розмірами 40×40×10 см на ділянки поверхні відвалу з різною експозицією.

## 6. Результати дослідження

### 6.1. Дослідження рослинного різноманіття породного відвалу

На відвалі сформувалася стійка зональна рослинність, особливо на вершині відвалу, характерна для степової зони (рис. 1).



*a*



*б*



*в*

**Рис. 1.** Рослинні угруповання на поверхні породного відвалу:  
*a* – підніжжя відвалу; *б* – другий ярус відвалу; *в* – вершина відвалу

Розвиток подібного біогеоценозу пов'язаний з діяльністю вітру. Відвал розташований на рівнині і оточений сільгоспугіддями. Середня швидкість вітру становить 3–6 м/с. Превалюють вітри східного напрямку. Вітрова ерозія є визначальним фактором нанесення часток чорнозему на поверхню відвалу з прилеглих сільгоспугідь. Накопиченню чорнозему також сприяла первинна рослинність, за допомогою якої затримувалися частинки родючого ґрунту.

Природний рослинний покрив даної степової зони утворений переважно багаторічними травами, добре пристосованими до сухого клімату. Фітоценоз породного відвалу неоднорідний як за зовнішнім виглядом, так і за складом рослин. Основу рослинного покриву складають представники сімейства Злаків, Бобових, Складноцвітих і Хрестоцвітних (табл. 1).

**Таблиця 1**

Видове різноманіття рослинності породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська»

| Сімейство                    | Види рослин   |
|------------------------------|---|
| Asteraceae<br>(Compositae)   | <i>Ambrosia artemisiifolia</i> , <i>Cirsium arvense</i> , <i>Tragopogon dubius</i> , <i>Lactuca tatarica</i> , <i>Taraxacum officinale</i> , <i>Sonchus arvensis</i> , <i>Tanacetum vulgare</i> , <i>Artemisia absinthium</i> , <i>Artemisia vulgaris</i> , <i>Matricaria inodora</i> , <i>Crepis paludosa</i> , <i>Onopordum acanthium</i> , <i>Achillea millefolium</i> , <i>Cichorium intybus</i> , <i>Carduus crispus</i> |
| Poaceae<br>(Gramineae)       | <i>Calamagrostis epigeios</i> , <i>Calamagrostis arundinacea</i> , <i>Bromus inermis</i> , <i>Poa pratensis</i> , <i>Avena fatua</i> , <i>Festuca sulcata</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Aeluropus litoralis</i> , <i>Agropyron repens</i> , <i>Phragmites communis</i>  |
| Fabaceae<br>(Leguminosae)    | <i>Robinia pseudoacacia</i> , <i>Vicia crassa</i> , <i>Melilotus officinalis</i> , <i>Medicago falcata</i> , <i>Lotus corniculatus</i> , <i>Ornithopus perpusillus</i> , <i>Lathyrus pratensis</i>  |
| Brassicaceae<br>(Cruciferae) | <i>Descurainia sophia</i> , <i>Erysimum cheiranthoides</i> , <i>Capsella bursa-pastoris</i> , <i>Thlaspi arvense</i>  |

Біля підніжжя відвалу відзначається досить високий показник видової насиченості (кількість видів рослин, що припадають на одиницю площі), 5...11 видів на 1 м<sup>2</sup>. Домінуючими видами є багаторічні трави сімейства Злаків і Бобових (пирій повзучий, прибережниця солончакова, очерет звичайний, люцерна серповидна, горішок мишачий, акація біла). Кореневищні дикі злаки є невибагливими рослинами, мають потужну кореневу систему і здатні швидко розростатися в усіх напрямках, захоплюючи нову територію. Важливу роль виконують також дерновинні злаки, що утворюють щільні дерновини, що містять відмерлі залишки старих стебел і мають властивість енергійно вбирати атмосферну вологу та довго її утримувати. Дерновинні злаки здатні утримувати породну масу на схилах відвалу, зміцнюючи їх і тим самим перешкоджати оповзанню укосів, ерозійним процесам, а також сприяти укоріненню деревно-чагарникових видів. По всьому периметру нижньої основи відвалу, особливо

уздовж водовідвідних каналів, спостерігається велика кількість видів з сімейства Складноцвітих. Багато з них є лікарськими рослинами (полин звичайний, цикорій звичайний, деревій звичайний, кульбаба лікарська, чортополох кучерявий, татарник колючий, пижмо звичайне).

Вздовж технологічної дороги на відвал знаходяться переважно сміттєві види рослин (амброзія полинолиста, пирій повзучий, лобода біла, осот польовий, полин гіркий, полин звичайний, грицики, війник наземний, кульбаба лікарська, горець пташиний, осот польовий, суріпиця звичайна та ін.). Видова насиченість тут становить 1–5 видів на 1 м<sup>2</sup>.

Укоси відвалу, що мають крутизну 40–60°, є слабо задернованими. Найбільш багате розмаїття рослинності спостерігається на нижніх, більш вологих укосах, де флористичний склад схожий з аналогічним біля підніжжя відвалу. Крім злаків і бур'янів часто зустрічаються такі різнотравні види, як смілка звичайна, дескурайнія Софія, берізка польова, латук татарський, ромашка непахуча, талабан польовий, суріпиця звичайна та ін. На верхніх схилах відвалу умови для зростання більш складні, що пов'язано зі зменшенням кількості вологи і вітровою активністю. Якщо на нижніх схилах видова насиченість сягає 9 видів на 1 м<sup>2</sup>, то на верхніх схилах цей показник становить 0–3 види на 1 м<sup>2</sup>. Тут оселилися найбільш пристосовані до даних умов і вельми невибагливі види, наприклад, синяк звичайний, горець пташиний, буркун лікарський, резеда жовта, берізка польова.

На відвалі є 2 майданчики складування породи з абсолютними відмітками +28 м (нижня площадка) і +40 м (вершина відвалу). На нижньому майданчику після ліквідації шахти залишилися бурти неспланірованої породи, а також купи будівельного сміття, що і зумовило розвиток специфічної рослинності. На буртах неспланірованої породи домінуючим видом є овес порожній (вівсюг), який росте в симбіозі з мохом зозулиним льоном. В низинах та яругах між пагорбами породи на нижньому майданчику зустрічаються ті ж рослини, що і на нижніх укосах відвалу. Видова насиченість на пагорбах неспланованої породи сягає 0–4 види на 1 м<sup>2</sup>, у низинах та западинах – 2–6 видів на 1 м<sup>2</sup>.

На вершині відвалу за досліджуваній період сформувався потужний трав'яний покрив типової для заливних заплавлених лугов рослинності, що само по собі є цікавим фактом, враховуючи, що висота відвалу становить 40 м. Основні види-домінанти: цикорій звичайний, молочай кипарисовий, смілка звичайна, пирій повзучий, жовтушник левкойний, серадела маленька, пижмо звичайне, полин гіркий, полин звичайний, кульбаба лікарська, деревій звичайний, грицики, ромашка непахуча, щавель кінський. Слід зауважити, що лугова рослинність має певні вимоги до ґрунтової вологості. Ці рослини є в основному мезофітами, тобто не переносять як сильного висушування ґрунту, так і тривалого перезволоження. Вони також дуже вибагливі до ґрунтового харчування і вважають за краще зазвичай ґрунти багаті на поживні речовини. На даному об'єкті велика кількість поживних речовин забезпечується накопиченням на поверхні часток родючого ґрунту з прилеглих сільгоспугідь в результаті еолової активності.



Поряд зі степовими травами на верхньому плато багато звичайних лугових трав, характерних для лісостепової зони, підзони лугових степів. Тут сформувався тип рослинності, характерний для заплавних лук з помірно зволеними родючими ґрунтами. Одним з видів-домінантів є очерет звичайний, який утворює густі зарості. На вершині відвалу склався стійкий біогеоценоз з високою видовою насиченістю – 7–12 видів на 1 м<sup>2</sup>.

Велика розмаїтість рослин сімейства Бобових, таких як люцерна серповидна, горошок мишачий, чина лугова, лядвенець рогатий та ін. Їм належить важлива роль в поліпшенні первинних екотопів. Ці рослини мають здатність за допомогою клубенькових бактерій фіксувати атмосферний нітроген і перетворювати його в сполуки, доступні для засвоєння іншими рослинами. Таким чином, вони сприяють збагаченню ґрунту і створенню сприятливих умов для зростання інших видів рослин. Бобові мають також високі життєві та продуктивні показники на субстратах шахтних відвалів.

З деревної рослинності на поверхні породного відвалу переважає акація біла, типова рослина лісосмуг. Зустрічаються також тополя чорна, ясен зелений, абрикос звичайний. Дерева ростуть окремо, в основному біля підніжжя відвалу і майданчиках складування породи. Висота дерев становить 0,7–3,2 м. Кілька примірників ростуть на крутих схилах, майже не покритих рослинністю. З чагарників представлені шипшина звичайна і бузина чорна уздовж нижньої основи відвалу.

Флористичний склад породного відвалу багатий і різноманітний, про що свідчить висока видова насиченість рослинного покриву. Якщо для степів південної і південно-східної зони України видова насиченість становить в середньому 12–15 видів на 1 м<sup>2</sup>, то, наприклад, для вершини відвалу цей показник становить 7–12 видів на 1 м<sup>2</sup>. Цей факт свідчить про те, що після припинення експлуатації породних відвалів при певних кліматичних умовах може відбуватися довільне самозаростання їх поверхні типовими для даної місцевості рослинними співтовариствами.

Процес заселення поверхні породного відвалу рослинністю при певних метеорологічних умовах може протікати спонтанно, без участі людини, протягом тривалого часу. Однак, цей природний процес може бути прискорений за допомогою цілеспрямованої інтродукції вищеописаних рослин, які здатні поліпшувати якість породного субстрату, створюючи тим самим сприятливі умови для зростання дерев і чагарників [12].

## **6.2. Обґрунтування методики фіторемедіації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами**

Однією з найскладніших задач фіторекультивації породних відвалів є озеленення їх поверхні. Найбільшу проблему становлять укоси, на поверхні яких проходять процеси поверхневої ерозії, фільтрації продуктів горіння чи вилуговування важких металів з породи тощо.

Дослідження попереднього етапу показало, що розвиток стійкого фітоценозу на поверхні породних відвалів є довготривалим процесом. Ще на етапах їх експлуатації на їх поверхні формуються піонерні види рослин, роль

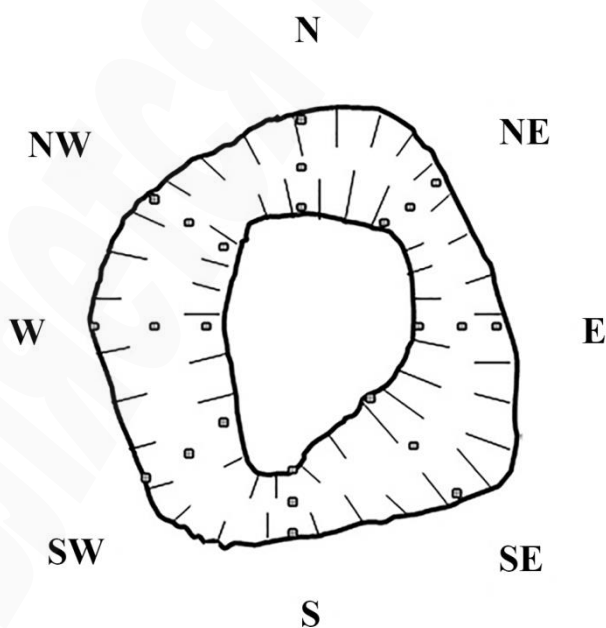
яких полягає в первинному накопиченні органічної речовини та створенню передумов для розвитку фітоценозу [13]. Тому, застосування видів рослин типових для території гірничопромислових ландшафтів та стійких до забруднення є перспективним напрямком фіторемедіації.

На укосах породного відвалу ліквідованої вугільної шахти «Селидівська» ДП «Селидіввугілля» було застосована методика фіторемедіації укосів дерновими матами з рослинністю, типовою для даної місцевості.

Задача дослідження полягала в оцінці приживлюваності рослинних угруповань у вигляді дернових матів на поверхні укосів породних відвалів та доцільності використання даного методу в якості фіторекультиваційного заходу. Покриття порушених ділянок шаром дерновинних рослин, представлених переважно дикими злаками з потужними кореневими системами, дозволяє сприяти розвитку штучного фітоценозу на ділянках, позбавлених рослинного покриву. Дерновий покрив сприяє розпушуванню ґрунту і дренажу, що важливо для усунення схилової водної ерозії.

Методика інтродукції дернових матів полягає в нанесенні на укоси породного відвалу прямокутних шматків дерновин з природною рослинністю, відібраних в яружно-балочній мережі розмірами 40×40×10 см. Посадку дерновин на обраній ділянці поверхні укосу виконували з виїмкою породи під розміри дернового мату на глибину занурення близько 10–12 см для запобігання небажаному сповзанню зразків на поверхні укосу. Після розташування зразків з трав'янистою рослинністю їх зрошували водою для збільшення контакту з породним субстратом.

Поверхня схилу відвалу умовно розбивалася на 8 ділянок відповідно до сторін горизонту (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема нанесення дернових матів з рослинністю на поверхню відвалу:

■ – ділянки інтродукції зразків рослинності. Експозиція укосів відвалу:

N – північ; NE – північний схід; E – схід; SE – південний схід; S – південь;

SW – південний захід; W – захід; SW – північний захід

На кожній з ділянок вздовж схилу вибиралися 3 точки, розташовані на рівні верхньої та нижньої основи, і середньої лінії відвалу. Таким чином, на 24 обрані ділянки наносилися дернові мати з трав'янистою рослинністю, які відбиралися зі схилів прилеглих яруг та балок. На кожен ділянку наносили по 4 зразка дернових матів.

Аналіз результатів експерименту на приживлюваність зразків дернових матів на поверхні укосів породного відвалу представлено в табл. 2.

**Таблиця 2**

Результати експерименту по інтродукції дернових матів на поверхні укосів породного відвалу

| Ярус               | Експозиція схилів відвалу   |    |   |    |   |    |   |    |
|--------------------|---|----|---|----|---|----|---|----|
|                    | N   | SW | W | SW | S | SE | E | NE |
| Верхній            |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Середній           |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Нижній             |   |    |   |    |   |    |   |    |
| Умовні позначення: |   |    |   |    |   |    |   |    |
|                    | Відмінна приживлюваність дернових матів з розширенням ареалу і спонтанним заселенням нових видів рослинності. Навколо рослинного шару спостерігаються наноси родючого ґрунту з прилеглих сільгоспугідь в результаті вітрової ерозії   |    |   |    |   |    |   |    |
|                    | Добра приживлюваність інтродукованих зразків рослинності без розширення ареалу. Дернові мати досить міцно закріплені на схилі; по контуру зразка спостерігаються незначні наноси родючого субстрату (ґрунту) з прилеглих сільгоспугідь в результаті вітрової ерозії. Є поодинокі рослини, занесені природним шляхом |    |   |    |   |    |   |    |
|                    | Приживлюваність дернових матів задовільна. Зразки недостатньо міцно закріпилися на схилі, розширення ареалу та присутності наносів родючого субстрату не спостерігається. Рослинні форми, заселені природним шляхом, відсутні   |    |   |    |   |    |   |    |
|                    | Зразки погано закріпилися на схилі і значно засмічені частками породи. Рослинність дернових матів пригнічена, по контуру спостерігаються відмерлі рослини. Наноси родючого субстрату не виявлені. Рослинні форми, заселені природним шляхом, відсутні   |    |   |    |   |    |   |    |
|                    | Зразки практично не прижилися до породного субстрату, в значній мірі висушені або засипані частинками породи в результаті процесів водної ерозії. Наноси родючого субстрату і рослинні форми, занесені природним шляхом, відсутні   |    |   |    |   |    |   |    |

**Примітка:** N – північ; NE – північний схід; E – схід; SE – південний схід; S – південь; SW – південний захід; W – захід; SW – північний захід

Виходячи з результатів дослідження, потрібно відзначити, що нижні схили породного відвалу є потенційно родючим субстратом, але лише в тому випадку, якщо відвал не схильний до горіння і на ньому протягом тривалого часу не проводиться відсипання породи. Протягом декількох років після припинення експлуатації відвалу в поверхневому шарі породної маси, особливо на схилах, інтенсивно протікають процеси вилуговування кислотних і сольових компонентів, що присутні в породі. Наявність цих хімічних компонентів є основним лімітуючим фактором, що обмежує приживлюваність і ріст рослин. Згодом концентрація агресивних речовин зменшується в результаті процесів вилуговування та водної ерозії і породна маса поступово стає потенційно придатним середовищем для заселення і зростання різних форм рослинності. З моменту припинення відсипання породної маси пройшло 5 років і значну частину токсичних солей було вимито з поверхневого шару породи на схилах відвалу. Середні значення рН витяжки породного субстрату в різних точках відвалу варіюють в діапазоні 5,0–6,2, що загалом відповідає рівню кислотності потенційно родючих ґрунтів.

В результаті обстеження схилів відвалу виявилось, що на верхньому і нижньому ярусах умови зростання рослинності виявилися найбільш сприятливими, про що свідчить приживлюваність на рівні 53 % та 34 % відповідно (табл. 3). На середніх ярусах рослини прижилися слабо. Для південних укосів відзначено найбільш задовільні значення приживлюваності рослинних угруповань.

**Таблиця 3**

Результати експерименту з приживлюваності дернових матів на поверхні укосів породного відвалу

| Експозиція схилу | Кількість дернових матів, одиниць |               |              |
|------------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
|                  | Нижній ярус                       | Середній ярус | Верхній ярус |
| N                | 4*/1**                            | 4/0           | 4/0          |
| NE               | 4/0                               | 4/0           | 4/1          |
| E                | 4/0                               | 4/0           | 4/0          |
| SE               | 4/1                               | 4/1           | 4/2          |
| S                | 4/4                               | 4/2           | 4/3          |
| SW               | 4/4                               | 4/1           | 4/2          |
| W                | 4/4                               | 4/1           | 4/2          |
| SW               | 4/3                               | 4/0           | 4/1          |
| Всього           | 32/17                             | 32/5          | 32/11        |

**Примітка:** \*/\*\* – кількість зразків, що висаджені/прижились; N – північ; NE – північний схід; E – схід; SE – південний схід; S – південь; SW – південний захід; W – захід; SW – північний захід.

Верхній ярус рослинності проходить уздовж контуру верхньої основи відвалу, на вершині якого сформувався фітоценоз, характерний для болотних і

лугових екосистем. Потужність родючого шару на вершині коливається в межах 8–12 см. Приживлюваність рослинності на верхньому ярусі виявилася нижче, ніж на нижньому внаслідок недостатнього вмісту вологи в породному субстраті, але значно вище, ніж на середньому ярусі. Це пояснюється наявністю на вершині відвалу саморегулюючої, стійко функціонуючої екосистеми з великою видовою насиченістю флори і фауни, що зробило позитивний вплив на добру приживлюваність рослинних угруповань.

## **7. SWOT-аналіз результатів дослідження**

*Strengths.* Описаний вище і випробувана на практиці методика фіторемедіації укосів породних відвалів дерновими матами з типовою для обраної місцевості рослинністю є перспективним напрямком фіторемедіації гірничопромислових земель. Застосування даної методики дозволить прискорити процес природного відновлення природно-техногенного ландшафту і мінімізувати викиди частинок пилу з поверхні породних відвалів.

*Weaknesses.* Недолік застосування методу інтродукції дернових матів полягає в тому, що при нанесенні на субстрат дернові мати спочатку недостатньо щільно пов'язані з нижнім породним субстратом, що може привести до сповзання їх зі схилів відвалу і розриву. Інший недолік полягає в потребі нанесення значної кількості дернового покриття на поверхню відвалів, що створює додаткову проблему щодо пошуку та вилучення рослинної сировини з природних фітоценозів.

*Opportunities.* Покриття порушених ділянок шаром дерновинних рослин, представлених переважно дикими злаками з потужними кореневими системами, дозволяє досить швидко встановити штучний фітоценоз на ділянках, позбавлених рослинного покриву.

*Threats.* Метод може бути взагалі непридатним для застосування в умовах надмірного вмісту токсичних сполук чи важких металів в породній масі, екстремальних значеннях рН ( $5,5 \leq \text{pH} \leq 8,5$ ), недостатнього чи надмірного зволоження породного субстрату тощо.

## **8. Висновки**

1. Досліджено рослинне різноманіття породного відвалу породного відвалу ліквідованої шахти «Селидівська» ДП «Селидіввугілля» та виявлено домінантні види для обґрунтування цільової фіторемедіації гірничопромислових територій. Встановлено, що завдяки вітровій ерозії частки чорнозему наносились на поверхню відвалу з прилеглих сільгоспугідь, що сприяло розвитку первинної рослинності. Видове різноманіття рослинності складають види сімейства Злаків, Бобових, Складноцвітних і Хрестоцвітних. Рослинне різноманіття варіює від 0–3 види на 1 м<sup>2</sup> (укоси) до 7–12 видів на 1 м<sup>2</sup> (вершина відвалу).

2. Обґрунтовано доцільність застосування методики фіторемедіації техногенних укосів породних відвалів дерновими матами в якості альтернативної екотехнології відновлення гірничопромислового ландшафту до природного стану. Встановлено, що на верхньому і нижньому ярусах поверхні

відвалу приживлюваність дерновинних зразків становить 53 % та 34 % відповідно.

### Подяка

The authors express gratitude to DAAD (Deutscher Akademischer Austauschdienst, German Academic Exchange Service) for opportunity to carry out presented above research in the framework of joint educational project «EcoMining: Development of Integrated PhD Program for Sustainable Mining & Environmental Activities» between Technical University «Bergakademie Freiberg» (Germany) and Dnipro University of Technology (Ukraine).

### Література

1. Panas, R. M. (2005). *Rekultyvatsiia zemel*. Lviv: Novyi svit, 224.
2. Desai, M., Haigh, M., Walkington, H. (2019). Phytoremediation: Metal decontamination of soils after the sequential forestation of former opencast coal land. *Science of The Total Environment*, 656, 670–680. doi: <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.11.327>
3. Pandey, V. C., Bajpai, O., Singh, N. (2016). Energy crops in sustainable phytoremediation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54, 58–73. doi: <http://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.078>
4. Yildirim, D., Sasmaz, A. (2017). Phytoremediation of As, Ag, and Pb in contaminated soils using terrestrial plants grown on Gumuskoy mining area (Kutahya Turkey). *Journal of Geochemical Exploration*, 182, 228–234. doi: <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2016.11.005>
5. Zástěrová, P., Marschalko, M., Niemiec, D., Durd'ák, J., Bulko, R., Vlček, J. (2015). Analysis of Possibilities of Reclamation Waste Dumps after Coal Mining. *Procedia Earth and Planetary Science*, 15, 656–662. doi: <http://doi.org/10.1016/j.proeps.2015.08.077>
6. Álvarez-Mateos, P., Alés-Álvarez, F.-J., García-Martín, J. F. (2019). Phytoremediation of highly contaminated mining soils by *Jatropha curcas* L. and production of catalytic carbons from the generated biomass. *Journal of Environmental Management*, 231, 886–895. doi: <http://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.052>
7. Banerjee, R., Goswami, P., Lavania, S., Mukherjee, A., Lavania, U. C. (2019). Vetiver grass is a potential candidate for phytoremediation of iron ore mine spoil dumps. *Ecological Engineering*, 132, 120–136. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.10.012>
8. Arshi, A. (2017). Reclamation of coalmine overburden dump through environmental friendly method. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24 (2), 371–378. doi: <http://doi.org/10.1016/j.sjbs.2015.09.009>
9. Midhat, L., Ouazzani, N., Hejjaj, A., Ouhammou, A., Mandi, L. (2019). Accumulation of heavy metals in metallophytes from three mining sites (Southern Centre Morocco) and evaluation of their phytoremediation potential. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 169, 150–160. doi: <http://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.11.009>

10. Kovalchuk, I. P., Ivanov, Ye. A., Andreichuk, Yu. M. (2016). Aktualni problemy optymizatsii postmaininhovykh heosystem. *Zemleustrii, kadastr ta okhorona zemel v Ukraini: suchasnyi stan, yevropeiski perspektyvy*. Kyiv, 202–206.

11. Henyk, Ya. V. (2013). Tekhnolohichna klasyfikatsiia porushenykh ekosystem z metoiu yikh revitalizatsii. *Naukovyi visnyk NLTU Ukrainy*, 23.3, 103–108.

12. Kovrov, A. S. (2000). Issledovanie vidovogo raznoobraziiia rastitelnosti porodnogo otvala likvidirovannoi shakhty «Selidovskaia». *Sbornik nauchnykh trudov NGA Ukrainy*, 10, 78–83.

13. Kovrov, O. S. (2001). Issledovanie prizhivaemosti iskusstvenno introducirovannykh rastitelnykh soobschestv na sklonakh porodnykh otvalov. *Sbornik nauchnykh trudov NGA Ukrainy*. Dnepropetrovsk: Nacionalnaia gornaia akademiia Ukrainy, 1 (11), 113–119.

*The object of research is the development of natural and survival of artificial plant communities on the surface of the waste dump of the liquidated «Selydivska» coal mine of the State Enterprise «Selydiv coal» (SE «Selydiv coal», Selydove, Ukraine).*

*Phytoremediation of degraded mining lands, in particular rock dumps, aimed at creating a sustainable vegetation cover on the surface of technogenic rock masses. The biggest problem of the biological stage of landfill reclamation is the correct selection of the assortment of trees and shrubs and the creation of plant communities that are resistant to prolonged exposure to toxic substances of rock massifs. Self-breeding of waste dumps continues during their operation, and the dominant species are plants typical of the steppe and forest-steppe zones. The identification of dominant vegetation species on the surface of rock dumps is a source of important information for substantiating targeted phytoremediation of mining landscapes.*

*During 1996-2016 the plant diversity of the waste dump was investigated. It was established that plant groups are predominantly represented by the families of Cereals, Legumes, Asteraceae, and Cruciferous, and the largest number of species is observed along the lower base of the dump and at the top. The expediency of applying the method of phytoremediation of technogenic slopes of waste dumps with sod mats as an alternative environmental technology to restore the mining landscape to the state of the natural ecosystem is substantiated. According to the results of field studies, the survival rate of sod mats on the upper and lower tiers of the surface of the dump is the highest and makes up 53 % and 34 % of the total number of planted samples of plant communities.*

*The proposed method for phytoremediation of slopes of waste dumps with sod mats with vegetation typical of the selected area is a promising area for accelerated phytoremediation of mining lands.*

**Keywords:** *phytoremediation of degraded lands, waste dump, plant diversity, mining landscape, sod mat.*