

УДК 662.271.4+581.5

Бешлей С.В.¹, Соханьчак Р.Р.¹, Баранов В.І.², Карпинець Л.І.²

ПІДБІР СТІЙКИХ РОСЛИН ДЛЯ БІОТИЧНОГО ЕТАПУ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛУ ЦЕНТРАЛЬНОЇ ЗБАГАЧУВАЛЬНОЇ ФАБРИКИ "ЧЕРВОНОГРАДСЬКА" (ЛЬВІВСЬКА ОБЛ.)

*Проаналізовано властивості субстрату та мікрокліматичні умови на різних елементах мезорельєфу відвалу Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська". Найбільш несприятливі умови для поселення та росту рослин виявлені на вершині та терасах відвалу, що зумовлено високою інтенсивністю освітлення, температурою, значним вмістом важких металів та актуальною кислотністю. Показано, що перспективними видами для використання під час біотичного етапу рекультивації для терас відвалів є *Pinus sylvestris* L. Для схилів рекомендовано використовувати багаторічні трав'яні рудеральні види рослин, зокрема *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та *Sorghum halepense* (L.) Pers. Для основ та мікропонижень відвалів із достатньою зволоженістю пропонується використовувати *Petasites hybridus* L і *Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud. Основними вимогами до рослин-фіторекультивантів на нерекультивованих відвалах має бути їх висока ремедіаційна здатність та приналежність за екологічними групами до геліофітів, термофілів, ацидофілів, оліготрофів і ксеромезофітів.*

Ключові слова: відвали вугільних шахт, мікрокліматичні умови, умови субстратів відвалів, стійкі види.

Негативно впливають на рослинні об'єкти такі чинники субстратів відвалів вугільних шахт: підвищена кислотність, значний вміст важких металів, практично відсутність поживних речовин, мала вологість та висока температура субстрату [2, 4, 15, 19]. У результаті цього ускладнюється процес рекультивації й озеленення цих територій. Для пришвидшення рекультиваційних робіт і зменшення фінансових затрат використовують дослідження пристосувальних механізмів рослин. Зокрема, здійснюється підбір стійких видів не лише прилеглої флори, а й видів із сільськогосподарським та лісогосподарським значенням, які можна використовувати для фіторекультивації [3]. Полігоном досліджень був породний відвал Центральної збагачувальної фабрики "Червоноградська" (ЦЗФ) загальною площею понад 78 га, який складається з 5 ярусів та має висоту 65 м. Фабрика розміщена за 7 км на південний схід від м. Червонограда і за 5 км на захід від м. Соснівки, у межиріччі річок Рата і Західний Буг [2] і займається збагаченням вугілля, яке добувається шахтами Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР). ЦЗФ була здана в експлуатацію ще у 1980 р. з потужністю 10,4 тис. тонн вугілля на рік. Відвал цієї фабрики є найбільшим на заході України. Метою роботи було підібрати стійкі до мінливих умов техногенного відвалу ЦЗФ види та охарактеризувати критерії оцінки перспективних для фіторекультивації шахтних відвалів видів рослин.

Матеріал і методика досліджень

Дослідження проводили протягом 2010-14 рр. Визначали фізико-хімічні властивості субстратів та мікрокліматичні умови техногенно зміненого середовища. Едафічні властивості субстратів (температуру, вологість, актуальну кислотність, валовий вміст важких металів) та мікрокліматичні умови техногенного екотопу

(температуру, вологість повітря на поверхні субстрату) визначали за загальноприйнятими методиками [1, 4; 13], інтенсивність освітлення вимірювали люксометром Ю116 із фотоелементом Ф-102. Проводили як польові, так і лабораторні дослідження на понад десяти модельних видах рослин. У лабораторії досліджували морфометричні, фізіолого-біохімічні показники проростків рослин, вирощених на водних витяжках із субстратів відвалу, використовуючи методи, традиційні у фізіології рослин [9, 10]. У польовому експерименті висаджували на терасі відвалу по 25-50 однорічних саджанців модельних деревних рослин, вирощених у лабораторних умовах на торф'яному ґрунті. Після висадки щороку проводили моніторинг ділянок, а саме: визначали приживлення саджанців і морфометричні показники (діаметр в кореневій шийці та висоту дерев). Отримані дані опрацьовували методами статистичного аналізу [12].

Результати дослідження та їх обговорення

Різні елементи мезорельєфу відвалів характеризуються мінливими едафічними та мікрокліматичними умовами. У таблиці 1 подано результати вимірювань цих показників у липні, оскільки саме тоді на відвалі зафіксовані стресові для росту і розвитку рослин умови. Показано, що найсприятливіші мікрокліматичні умови для поселення, росту і розвитку рослин були на підніжжі та терасах відвалу. Протилежну тенденцію відзначено для вершини відвалу, де інтенсивність освітлення становила понад 100 тис. лк. в обідні години світлового дня, температура повітря сягала 40°C, а субстрат нагрівався до 46°C.

Таблиця 1

Мікрокліматичні умови та едафічні властивості субстратів відвалу за елементами мезорельєфу у липні 2014 року, (n=25)*

Характерис- тики	Мікрокліматичні умови (повітря)**			Едафічні властивості (субстрату)**				
	Місце відбору проб	t, °C	Відносна вологість, %	Освіт- лення, тис. лк	t, °C	Воло- гість,%	pH(H ₂ O)	Вміст орг. С.
Основа		35-38	26-33	80-100	26-30	13,2-15,4	4,3-4,5	1,1-1,8
Схил		39-40	21-23	90-100	39-41	2,9-3,3	3,7-3,9	0,7-0,9
Тераса		37-39	23-29	85-90	37-39	4,5-5,7	3,9-4,1	1,1-1,5
Вершина		39-40	19-21	>100	43-46	1,8-1,9	3,5-3,6	0,5-0,6

Примітки: * – у таблиці подано діапазони вимірюваних величин; ** – похибка вимірювань не перевищувала 15%.

Показано, що субстрати основи і тераси відвалу були краще забезпечені вологою, порівняно із вершиною і схилами, внаслідок швидкого стікання води як вздовж схилу, так і в глибинні шари породи. Вологість субстрату у 10-15-см шарі на різних елементах мезорельєфу відвалу змінювалася від 1,1% на вершині до 7,2% у його підніжжі. Вміст органічної речовини на різних ділянках породного відвалу варіював від 0,5-1,8%, що є незначною кількістю для формування гумусово-аккумулятивного горизонту, необхідного для поселення та нормального росту і розвитку рослин. Актуальна кислотність відвальної породи перебувала в межах 3,5-4,5, була мозаїчною та залежала від типу субстрату (перегоріла чи неперегоріла порода), експозиції, елементів мезорельєфу (основа, тераса, схил, вершина), стадії сукцесії і типу рослинного покриву

на відвалі. Окрім того, вона може змінюватися протягом сезону як в слабколужний, так і в кислий бік внаслідок випадання опадів, формування гумусового горизонту під рослинним покривом чи продовженням процесів окиснення породи. Отже, найнесприятливіші мікрокліматичні умови та властивості субстратів техногенного середовища зафіксовано на вершині відвалу. У напрямку до основи відвалу вони дещо покращувалися. Проаналізовані вище параметри середовища мають бути в основі підбору стійких видів рослин. А саме пристосованість рослин до значної інсоляції, високої температури як субстрату так і повітря, малої вологості та вмісту органічної речовини в відвальній породі.

Одним із основних негативних чинників відвалів вугільних шахт є значний вміст важких металів у породі, яка складається з крихких аргілітів та алевролітів, що легко подрібнюються та можуть розноситися внаслідок вимивання та вивітрювання породи на значні відстані. Це спричиняє забруднення повітря, водного басейну і ґрунтового покриву району, негативно впливаючи не лише на суміжні екосистеми, а й на здоров'я жителів прилеглих міст і сіл. Тому особливо важливо в цьому аспекті було розглянути особливості розподілу важких металів у субстраті відвалів за елементами мезорельєфу для з'ясування їх локалізації, щоб у майбутньому рекомендувати заходи з їх детоксикації завдяки використанню рослин-фіторемедіантів [20]. Встановлено, що вміст важких металів у субстраті відвалу є мозаїчним (табл. 2).

Таблиця 2

**Валовий вміст важких металів (мг/кг золи) у субстраті відвалу
за елементами мезорельєфу**

Елемент мезорельєфу	Вміст важких металів у мг/кг золи					
	Mn	Pb	Ni	Cu	Zn	Co
Основа	<u>7594/372,8</u> 1798,7	<u>75,9/3,8</u> 18,3	<u>75,9/11,2</u> 38,7	<u>151,9/39,5</u> 89,8	<u>47,8/0</u> 35,3	<u>38,0/3,9</u> 18,3
Схил	<u>2358,8/528,8</u> 1208,7	<u>20,9/16,6</u> 18,8	<u>75,5/26,9</u> 40,4	<u>94,3/12,6</u> 48,3	<u>52,3/41,5</u> 44,9	<u>23,6/0</u> 8,9
Тераса	<u>7425/1152,2</u> 3802,8	<u>74,3/3,6</u> 28,2	<u>79,5/30,7</u> 56,1	<u>244,2/30,7</u> 158,5	<u>61,0/27,2</u> 42,5	<u>37,1/15,3</u> 24,9
Вершина	<u>3504/86,7</u> 1052,3	<u>273,3/13,9</u> 49,0	<u>77,5/16,5</u> 37,5	<u>155,2/12,1</u> 51,5	<u>62,1/34,8</u> 43,1	<u>52,7/0</u> 13,2
ГДК	1500	30	85	100	100	50
Кларк за А.П. Виноградовим	850	10	40	20	50	8
Фоновий вміст [16]	207	11	3,8	5	13,6	13

Примітка: над ризикою подано максимальне / мінімальне значення, а під ризикою – середнє значення.

Перевищення гранично допустимої концентрації елементів спостерігали на вершині відвалу за Pb у 1,5 рази і на терасі за Mn, Cu у 1,5-2,5 рази. Порівнюючи вміст важких металів із фоновим вмістом на цій території, встановлено перевищення вмісту досліджуваних елементів у рази чи десятки разів. За елементами мезорельєфу найбільший вміст таких елементів як Mn, Ni, Cu, Co зафіксовано на терасі відвалу, а Zn і Pb – на його вершині. Таким чином, рослини-ремедіатори необхідно використовувати для терас і вершини, де сконцентрована найбільша сумарна кількість токсичних елементів.

Під час польового експерименту, проведеного з деревними рослинами на терасі відвалу (табл. 2), встановлено, що $92\pm 7\%$ однорічних саджанців *Pinus sylvestris* L., $50\pm 4\%$ саджанців *Betula pendula* Roth. та $59\pm 4\%$ саджанців *Phellodendron amurense* Rupr. прийнялися і росли на терасах відвалу. Кращу здатність виживати у стресових умовах техногенного середовища показали саджанці сосни звичайної, а найнижчу – берези повислої. Сосна та береза включені в списки деревних рослин, які використовуються при фіторекультивациі відвалів вугільних шахт України [14], тоді як даних про можливість використання бархату амурського немає у сучасній науковій літературі, проте його використовують для посадки в захисні лісосмуги і штучні лісові насадження [17, 18]. Тому нами вперше проведено посадку *Phellodendron amurense* на відвалі ЦЗФ і показано, що понад 50% його саджанців прийнялися і росли протягом чотирьох років спостережень, що дає підстави в подальшому вивчати його фіторекультивацийні властивості та можливості використання для рекультивациі відвалів.

Виявлено, що на початкових етапах приживлення саджанців (перші 1-2 роки) сповільнюються ростові процеси у рослин та відбувається пристосування організму до стресових умов техногенно зміненого середовища (табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка ростових параметрів однорічних саджанців деревних рослин на терасі відвалу Центральної збагачувальної фабрики ($M\pm m$, $n=25-50$)

Рік	<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.		<i>Pinus sylvestris</i> L.		<i>Betula pendula</i> Roth.	
	d (мм.)	L (см.)	d (мм.)	L (см.)	d (мм.)	L (см.)
2010	0,40 \pm 0,01	40,2 \pm 3,1	0,32 \pm 0,01	17,8 \pm 0,8	0,97 \pm 0,06	101,7 \pm 6,6
2011	6,4 \pm 0,6	43,5 \pm 4,1	10,6 \pm 1,0	28,8 \pm 1,0	24,2 \pm 1,4	135,9 \pm 8,8
2012	9,2 \pm 1,0	60,3 \pm 3,6	13,9 \pm 0,6	42,4 \pm 1,5	26,9 \pm 1,5	169,1 \pm 9,4
2014	33,6 \pm 2,4	140,0 \pm 5,7	55,1 \pm 2,2	183,7 \pm 4,3	67,7 \pm 2,7	237,9 \pm 26,6

Після цього (на 3-4 рік) спостерігається нормалізація ростових процесів, нагромадження фітомаси та адаптація особин до едафічних і мікрокліматичних умов відвальних відслонень. Порівнюючи досліджувані деревні види, показано, що у ході онтогенезу особин *Betula pendula* спостерігали інтенсивніші ростові процеси, порівняно із *Phellodendron amurense* та *Pinus sylvestris* відповідно. Отже, приживання саджанців є кращим у сосни, але кращі ростові параметри зафіксовані в берези.

Попередні дослідження [3] показали, що сосна звичайна здатна нагромаджувати значну кількість важких металів у надземній фітомасі, тому вона може бути використана як фіторемедіатор субстрату терас і вершини відвалу, де також виявлено її самосів із прилеглих лісових екосистем (рис.).

Схили відвалів рекомендуємо засаджувати довгокореневищними видами *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Sorghum halepense* (L.) Pers. для їх укріплення і запобігання повітряній і водній ерозії, покращення ґрунтоутворних процесів. Результати досліджень фіторекультивацийних властивостей цих рослин представлено у наших попередніх роботах [5, 6, 7].

Проведені польові дослідження показали, що перспективними видами для фіторекультивациі основи відвалу та дренажних каналів є *Petasites hybridus* L. та *Phragmites australis* Cav. Trin. ex Steud, адже основним лімітаційним чинником для них є вологість субстрату [8].



Рис. Самосів сосни звичайної на терасі (А) і вершині (Б) відвалу.

Стійкими видами із сільськогосподарським значенням у лабораторних умовах виявились *Brassica napus* L. *Oleifera annua* Metzg. сорту "Микитинецький", *Brassica campestris* f. *biennis* DC. x *B. rapa* L. сорту "Оракам", *Sinapis alba* L., *Rumex patientia* L. x *R. tianschanicus* A. Los., проте вони потребують апробації в польових умовах.

Висновки

Отже, на нашу думку, в основу критеріїв відбору стійких видів рослин необхідно покласти концепцію мікрокліматичного та едафічного компоненту за елементами мезорельєфу відвалу. Основними вимогами до рослин-фіторекультивантів нерекультивованих відвалів має бути їх висока ремедіаційна здатність та приналежність за екологічними групами до геліофітів, термофілів, ацидофілів, оліготрофітів і ксеромезофітів.

1. Аринушкина Е.В. Руководство по химическому анализу почв. – М.: Изд-во МГУ, 1970. – 488 с.
2. Баранов В.І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ "Львівсистеменерго" як об'єкта для озеленення // Вісн. Львів. ун-ту, сер. біол. – 2008. – Вип. 46. – С. 172-178.
3. Баранов В.І., Гузь М.М., Гавриляк М., Ващук С.П. Вивчення вмісту важких металів у деревних рослин на дегазованих ґрунтах породного відвалу вугільних шахт // Наук. вісн. УкрДЛТУ // 36. наук.-техн. праць. – Л.: УкрДЛТУ. – 2010. – Вип. 20.1. – С. 68-72.
4. Башуцька У.Б. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. – 178 с.
5. Бешлей С.В., Баранов В.І., Микієвич І.М. Зміна субстратів відвалів породи Червоноградського гірничопромислового району при заростанні куничником наземним (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) // Біологічні студії / *Studia Biologica*. – 2010. – Т. 4(№ 2). – С. 75-82.
6. Бешлей З., Бешлей С., Баранов В., Терек О. Вплив субстратів відвалу вугільних шахт на вміст пероксиду водню та активність пероксидази у *Sorghum halepense* (L.) Pers // Наук. вісн. Чернів. ун-ту. Біологія (Біологічні системи). – 2014. – Т. 6, Вип. 2. – С. 185-189.
7. Бешлей З., Бешлей С., Баранов В., Терек О. Поглинання важких металів *Sorghum halepense* із субстратів породного відвалу // Вісн. Харків. нац. аграр. ун-ту. Сер. Біологія. – 2014. – Вип. 2. – С. 97-100.

8. Ващук С., Баранов В., Бая А., Фецько З., Карпинець Л. Накопичення важких металів у органах рослин гірчака японського (*Polygonum cuspidatum* Sieb. et Zucc) та кремені гібридної (*Petasites hybridus* L.) за дії витяжок субстратів відвалу вугільних шахт // Вісн. Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2012. – Вип. 60. – С. 182-189.
9. Войцехівська О.В., Капустян А.В., Косик О.І. та ін. Фізіологія рослин: практикум. – Луцьк: Терен, 2010. – 420 с.
10. Гавриленко В.Ф., Ладыгина М.Е., Хандобина Л.М. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учебное пособие. – М.: Высш. шк., 1975. – 392 с.
11. Ипатов В.С., Тархова Т.Н. Микроклимат моховых и лишайниковых синузий в сосняке зеленомошно-лишайниковом // Экология. – 1982. – № 4. – С. 27.
12. Лакин Г.Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов // 4-е изд. М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
13. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Гидрометеиздат, 1981.
14. Правила проведення біологічної рекультивациі породних відвалів вугільних шахт України. Видання офіційне. – К.: Вид-во "Мінвуглепром України". – 2007. – 30 с.
15. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, Р. И. Бурда и др. – К.: Наук. думка, 1980. – 260 с.
16. Фононий вміст мікроелементів у ґрунтах України // За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пащенко. – Харків. – 2003. – 117 с.
17. Юрків З.М. Бархат амурський як високопродуктивна порода в лісових культурах Розточчя та Опілля // Наук. вісн. / Зб. наук-техн. праць: Лісівничкі дослідження в Україні. ІХ Погребняківські читання. – Львів: УкрДЛТУ. – 2003. – Вип. 13.3. – С.253-257.
18. Юрків З.М. Поширення бархата амурського у лісових насадженнях України // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Стан і тенденції розвитку лісівничої освіти, науки та лісового господарства в Україні. – Львів: Вид-во УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.6. – С. 180-186.
19. Jiang, X., Lu, W. X., Zhao, H. Q., Yang, Q. C., and Yang, Z. P.: Potential ecological risk assessment and prediction of soil heavy-metal pollution around coal gangue dump // Nat. Hazards Earth Syst. Sci. – Vol. 14, is. 6. – P. 1599-1610.
20. Rana V., Maiti SK. Differential distribution of metals in tree tissues growing on reclaimed coal mine overburden dumps, Jharia coal field (India) // Environmental Science and Pollution Research. (ESPR). – 2018. – Vol. 25. – P. 1-14.

¹ Інститут екології Карпат НАН України, м. Львів
e-mail: beshley.stepan@gmail.com

² Львівський національний університет імені Івана Франка

Beshley S.V., Sokhanchak R.R., Baranov V.I., Karpinets L.I.

Selection of resistant plants for the biotic stage of the recultivation of the dump of the Central concentrating mill "Chervonogradska" (Lviv region)

The properties of the substrate and microclimate conditions were analyzed on various elements of the mesorelief of the dump of Central concentration mill "Chervonogradska". The most adverse conditions were found at the top of the dump and its terraces due to high intensity of lighting, temperature, high content of heavy metals in substrates and their actual acidity. It was shown that *Pinus sylvestris* L. is a promising species for the biotic recultivation stage for terraces of dumps. We recommended to use perennial grass root species of plants, e.g. *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth and *Sorghum halepense* (L.) Pers., for recultivation a slopes of dumps. The *Petasites hybridus* L. and *Phragmites australis* Cav. Trin ex Steud. are offered for the renovation of the bases and microhardness of the dumps with sufficient moisture. The high remediation ability of plants and their affiliation by the environmental groups to heliophytes, thermophiles, acidophiles, oligotrophes and xeromezophytes are the main requirements for reclamation plants on the non-renovated dumps.

Key words: dumps of coal mines, microclimatic conditions, conditions of dumps substrates, resistant species