



УДК 582.32:581.527.7+631.48

ВПЛИВ МОХУ *CAMPYLOPUS INTROFLEXUS* (HEDW.) BRID. НА ВІДНОВЛЕННЯ ТЕХНОГЕННИХ СУБСТРАТІВ ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ

Р. Р. Соханьчак, О. В. Лобачевська

*Інститут екології Карпат НАН України, вул. Стефаніка, 11, Львів 79000, Україна
e-mail: stentor62@gmail.com, morphogenesis@mail.lviv.ua*

Встановлено особливості поширення та життєдіяльності моху *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. залежно від мікрокліматичних умов на відвалах шахти „Надія” Червоноградського гірничопромислового району Львівської області. Досліджено зміни вмісту макро- та мікроелементів, органічного Карбону, показників рН у субстраті під моховими дернинками і в оголеному (без рослинності) субстраті на цих породних відвалах. Визначено участь мохового покриву *C. introflexus* у відновленні техногенних субстратів шахтних відвалів унаслідок покращення їхніх едафотопних властивостей.

Ключові слова: *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid., породні відвали, субстрат, кальцій, важкі метали, рН, органічний Карбон.

ВСТУП

Відвали вугільних шахт – це основні джерела забруднення води, ґрунту, повітря у районах добування кам’яного вугілля. Руйнування аргілітових порід відвалів, зокрема в результаті розкладу сірковмісного мінералу піриту тіоновими бактеріями з утворенням сірчаної кислоти і сульфатних розчинів, зумовлює відсутність органічних речовин, виділення тепла і підвищення сухості субстрату [1, 4]. Такі субстрати характеризуються підвищеною кислотністю і високим вмістом важких металів, який зазвичай значно перевищує гранично допустимі концентрації. Значне порушення водного і мінерального живлення внаслідок різкої зміни концентрації ґрунтового розчину негативно впливає на едафічні та мікрокліматичні умови формування рослинного покриву на шахтних відвалах. Одними із перших серед вищих рослин, які заселяють субстрат техногенно порушених земель, є мохоподібні. Відомо, що навіть незначна їхня біомаса істотно впливає на формування рослинного покриву та структуру його угруповань [14].

У 2009 році серед мохів, зібраних на відвалах шахти „Надія” (околиці м. Соснівки Сокальського р-ну Львівської обл.), вперше для бріофлори України виявили адвентивний вид моху *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. [7]. Відомо, що у Європі він колонізує відкриті порушені місця, переважно піщані субстрати морських берегів [15].

Мета дослідження – визначити особливості поширення моху *C. introflexus* на шахтних відвалах і природу його витривалості до негативних чинників техногенно трансформованого середовища.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень був адвентивний мох *C. introflexus*, зразки якого аналізували протягом 2010–2011 років на рекультивованих (унаслідок нанесення шару ґрунтосуміші) відвалах шахти „Надія” Червоноградського гірничопромислового району.

У досліджуваних місцезростаннях (підніжжя, тераса, схил і вершина) проводили аналіз морфометричних ознак *C. introflexus*: вимірювали загальну довжину пагонів, визначали співвідношення фотосинтезуючої (зеленої) та відмерлої (бурої) частин пагона, а також відзначали особливості його репродуктивної здатності.

Для визначення валового вмісту макро- та мікроелементів субстрат відбирали у трьох місцях в межах пробної ділянки, змішували і формували середню пробу. Потім проби спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 400–450°C протягом 4–6 годин до отримання однорідного кольору золи. Після цього золу обробляли сумішшю HCl та HNO₃ у співвідношенні 3:1. Вміст хімічних елементів у мохових дернинках також аналізували у середній пробі. Повітряно-сухий рослинний матеріал спалювали у муфельній печі за температури 450°C. Отриману золу після зважування розчиняли розведеною HNO₃. Вміст елементів визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі C115M1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [8]. Для кількісної оцінки нагромадження важких металів у дернинках моху зі субстрату використовували коефіцієнт біологічного нагромадження (КБН), який розраховували за формулою:

$$\text{КБН} = \frac{C_p}{C_n},$$

де: C_p – вміст елемента у фітомасі рослини, мг/кг; C_n – вміст елемента в субстраті, мг/кг.

Відносна похибка при визначенні вмісту макро- та мікроелементів за умов $P \leq 0,95$ не перевищувала 7%.

Актуальну кислотність субстратів і вміст органічного Карбону аналізували під дернинками моху та в оголеному (без рослинного покриву) субстраті. Актуальну кислотність (рН) визначали потенціометрично у водній витяжці субстрат-дистилат (1:5), вміст органічного Карбону – спектрофотометрично за методикою І.В. Тюріна у модифікації Б.А. Нікітіна в результаті окиснення органічної речовини хромовою сумішшю у сильноокислому середовищі [9].

Усі результати досліджень опрацювали статистично [5].

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ І ЇХНЕ ОБГОВОРЕННЯ

Вищі рослини зрідка заселяють терикони вугільних шахт, їхній ріст і розвиток на відвалах сповільнений унаслідок високого напруження екологічних факторів: наявності токсичних речовин і кислотних випарів, різкої зміни вологості й температури, складного рельєфу, постійних осипів, зсувів і змивань породи. Окрім того, мікрокліматичні умови формування рослинного покриву на шахтних відвалах

є надзвичайно гетерогенними, оскільки розподіл сонячної радіації й атмосферних опадів, інтенсивність водної та вітрової ерозії залежать від ярусності й експозиції схилу відвалів [11].

Установлено, що на вершині й терасі відвалу *C. introflexus* утворює великі щільні дернинки (рис. 1) з вилчато розгалужених, жорстких, чорнуватих стебел, подекуди з коробочками і великою кількістю ясно-зелених виводкових пропагул. Дещо пухкішими і блискучішими дернинками оливкового кольору, без спорогонів і лише зрідка з виводковими верхівками пагонів, вкриті схили відвалу.



Рис. 1. Мох *C. introflexus* з опадаючими верхівками пагонів на терасі відвалу шахти „Надія” (околиці м. Соснівки Львівської обл.)

Fig. 1. Moss *C. introflexus* with deciduous stem tips on the terrace of dump of „Nadiia” mine (near Sosnivka, Lviv region)

Мабуть, поширення моху відбувалося з вершини відвалу до його основи внаслідок зсуву піщаних порід і переміщення зі стічними водами фрагментів дернин. Вважається, що *C. introflexus* швидко колонізує відкриті порушені місця завдяки високій репродуктивній здатності: утворенню великої кількості статевих і нестатевих діаспор [15]. Проте на відвалах мох розмножується лише вегетативно, формуючи щільні дернинки, очевидно, з опадаючих виводкових верхівок, відокремлених листків і пагонів. Поодинокі коробочки утворюються лише у двох місцезростаннях (на вершині й терасі), проте спори в них виявилися абортивними, мабуть, унаслідок високого рівня забруднення в умовах техногенного середовища (рис. 2).

Мох досить швидко поширюється на відкриті ділянки перегорілої та неперегорілої породи, каміння, піщані субстрати. Найпотужніші за біомасою та висотою дернинки *C. introflexus* виявлено у вогкій впадині на вершині відвалу серед дернин *Sphagnum girgensohnii* Russow, *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwaedgr., *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., *P. elongata* Hedw. та *P. sphagnicola* (Bruch & Schimp.) Broth. У породах відвалу міститься велика кількість здатних до самозаймання речовин,

які можуть тліти тривалий час, виділяючи велику кількість тепла, внаслідок чого температура поверхневого шару субстрату може становити протягом року 40–50°C [10]. Можна стверджувати, що такі мікроумови субстрату є характерними для *S. introflexus* і не лише на шахтних відвалах. Як відомо з літературних джерел [15], мох часто виявляли на геотермальних ділянках землі в Ісландії, Італії та на Сандвічевих островах.

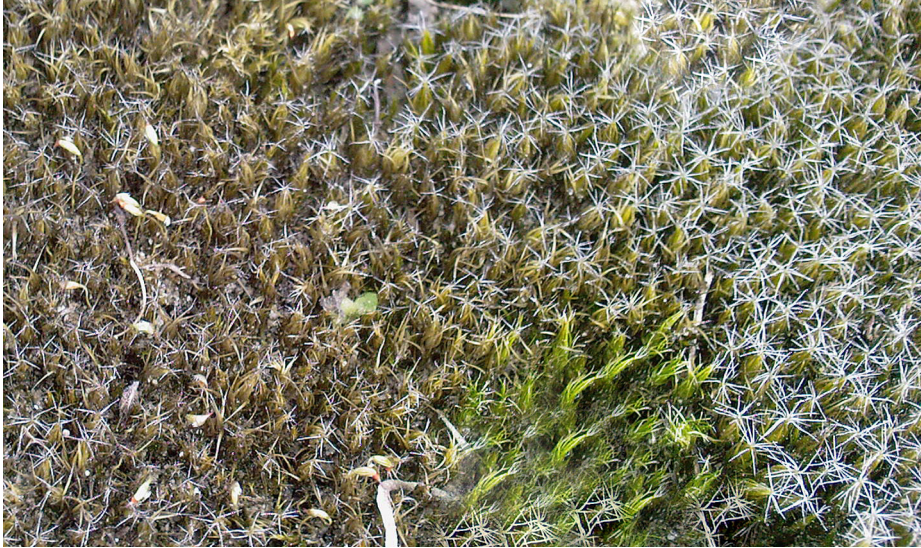


Рис. 2. Щільна фертильна дернинка *S. introflexus* на вершині породного відвалу шахти „Надія” (околиці м. Соснівки Львівської обл.)

Fig. 2. Dense fertile turf of *S. introflexus* on the top of rock dump of „Nadiia” mine (near Sosnivka, Lviv region)

Під час горіння відвалів відбувається розпад йонів NO_3^- , PO_3^3 , Fe^{2+} , збільшення кількості солей у 1,5-5 разів за рахунок йонів Ca^{2+} і Mg^{2+} та збільшення кількості аніонів SO_4^{2-} і HCO_3^- [2]. Залежно від співвідношення між кислотними й лужними компонентами у шахтній породі, рН окисненого субстрату змінюється у межах 4,25–5,8.

Нами встановлено, що показники рН субстрату як під покривом *S. introflexus*, так і в оголеному субстраті змінювались у межах 5,3–6,1. Під дернинками моху показники рН завжди були вищими, порівняно з оголеним субстратом, що свідчить про зниження кислотності і вплив моху на властивості едафотопу (табл. 1).

Очевидно, під впливом мохової дернинки встановлюються оптимальні слаболужні умови, які сприяють процесам руйнування породних мінералів, іонізації слабких кислот (наприклад, ростових речовин), поглинання і транспорту речовин. Такі умови поступово стають оптимальними для поселення та росту судинних рослин. Мабуть, під впливом опадів відбуваються сезонні зміни актуальної кислотності: в осінні місяці вимивання поверхневого шару субстрату із вершини, схилів і терас призводить до його підкислення у підніжжі відвалу, навіть під дернинками моху. Відомо, що значний вміст сірки в породах відвалів і перехід сульфідів у сульфати внаслідок її горіння сприяє формуванню кислих вод у підніжжі [1, 2].

Таблиця 1. Сезонна динаміка значень рН поверхневого шару субстрату на відвалі шахти “Надія”

Table 1. Seasonal dynamics of substrate pH of the dump of „Nadiia” mine

Місцезростання моху		Травень	Серпень	Листопад
Підніжжя	оголений субстрат	5,7	5,8	5,5
	під дернинками моху	5,9	6,1	5,6
Тераса	оголений субстрат	5,3	5,3	5,7
	під дернинками моху	6,1	6,0	5,9
Схил	оголений субстрат	5,5	5,6	5,7
	під дернинками моху	6,0	6,1	6,0
Вершина	оголений субстрат	5,3	5,4	5,5
	під дернинками моху	5,6	5,9	5,9

Порушення гідрохімічного режиму поверхневих і підземних вод, збільшення концентрації сульфатів та підвищення мінералізації шахтних відвалів призводять до зміни геохімічних процесів у породах, рН поверхневого шару субстрату, акумуляції важких і токсичних металів і їхніх сполук. Так, у крихких аргілітах відвалів виявлено підвищений рівень деяких хімічних елементів, зокрема Li, V, Zn, Pb, Bi, Co. Для алевролітів, які є перехідними між пісковиками й аргілітами, характерний підвищений вміст нікелю, високі концентрації W і Cr переважно властиві пісковикам, а Sr, Ba, Mn – вапнякам [6].

На підставі результатів атомно-абсорбційного аналізу проаналізовано вміст основних макро- і мікроелементів та їхній розподіл між субстратом і фітomasою *C. introflexus*. Встановлено, що у субстраті під моховим покривом валовий вміст досліджуваних елементів не перевищував гранично допустимих концентрацій (ГДК), окрім кадмію (> у 8 разів). Порівнюючи вміст елементів у породах відвалів із значеннями для фонові території, а саме у дерново-слабопідзолистих піщаних ґрунтах [13], відзначено збільшення вмісту міді у 9 разів, свинцю – у 2 рази, а цинку – у 3,5 разу. Отримані результати свідчать, що, за винятком калію, всі досліджувані макро- та мікроелементи нагромаджуються у бурій, відмерлій частині *C. introflexus*, яка є первинним бар’єром між субстратом та живою, фотосинтезуючою частиною гаметофіту моху (табл. 2).

Для характеристики біогеохімічних особливостей нагромадження рослинами досліджуваних елементів часто використовують не лише показник їхнього абсолютного вмісту, а й коефіцієнт їхнього біологічного нагромадження, значення якого є відображенням біогеохімічної активності рослин у кругообігу елементів в екосистемі. Результати наших досліджень засвідчують, що *C. introflexus* є акумулятором кальцію та магнію, оскільки він нагромаджує їх у концентраціях, вищих від фонових. Кальцій завдяки активній участі у збалансуванні проникнення і нагромадження йонів у клітинах рослин знижує кислотність субстрату й підвищує їхню стійкість до підвищених концентрацій токсичних елементів. Отже, нагромадження кальцію та магнію рослинами моху в умовах підвищеного рівня забруднення важкими металами, очевидно, є адаптивною реакцією, що забезпечує можливість заселення *C. introflexus* девастрованих територій і збільшення його ареалу.

Таблиця 2. Вміст макро- та мікроелементів у субстраті й рослинах моху *C. introflexus*, мг/кг сухої масиTable 2. The content of macro- and micronutrients in substrate and in moss plants *C. introflexus*, mg/kg dry weight

Досліджувані зразки	Валовий вміст досліджуваних елементів, мг/кг сухої маси									
	K	Na	Ca	Mg	Fe	Zn	Mn	Cd	Pb	Cu
Жива частина	1681	145	4800	1000	365	5,2	29	0,6	0,9	5,7
Відмерла частина	680	159	5700	1100	942	12,3	31	6,1	6,6	11,6
Загальний вміст	2371	279	10500	2150	1307	15,7	59	6,7	7,8	18,1
Субстрат	2359	207	1600	600	2821	48,1	46	24,9	22,5	48,8
Фоновий вміст*	12500	6200	13700	6300	8112	13,6	207	3,0**	11,0	5,0
КБН	1,01	1,33	6,56	3,58	0,46	0,33	1,29	0,27	0,35	0,37

Примітки. * – середній фоновий вміст елементів у ґрунті [12, 13], ** – гранично допустима концентрація валового вмісту Cd у ґрунті.

Після окиснення та вивітрювання породи техногенні субстрати стають придатними для заселення рослинами, у них стабілізується рівень рН, зменшується вміст важких металів. На цій стадії основним лімітаційним чинником є вміст органічної речовини у субстраті.

На підставі порівняння вмісту органічного Карбону в оголеному субстраті та під дернинками моху (табл. 3) виявлено статистично достовірне збільшення його вмісту під рослинами, що свідчить про формування органічно-аккумулятивного шару в субстраті відвалу, утвореного продуктами розкладу мохової дернинки [3]. Окрім того, встановлено, що вміст органічного Карбону в субстраті залежав від елементів рельєфу відвалу: найнижчі показники були визначені в підніжжі відвалу та у 5 і 3 рази вищі на його вершині й терасі відповідно. За найсприятливіших для росту і розвитку *C. introflexus* мікроумовах (зволоження, освітлення і стабільності субстрату) вершини відвалу дернинки моху утворюють оптимальну за співвідношенням потужну фотосинтезуючу частину та значний підстилаючий шар, що істотно впливає на хід первинних ґрунтоутворювальних процесів.

Таблиця 3. Вміст органічного Карбону в субстраті під моховим покривом на території відвалу

Table 3. Content of organic carbon in substrate under the moss cover on the territory of dump

Місце-зростання	Довжина живої частини, мм	Загальна довжина стебла, мм	Вміст органічного вуглецю у субстраті, мг/кг	
			оголеному	під дернинками
Підніжжя	3,34±0,11	10,38±0,26	3,86±0,15	4,66±0,33
Тераса	4,24±0,10	22,89±0,46	11,30±0,46	14,51±0,23
Схил	3,74±0,41	12,17±0,28	8,38±0,31	9,51±0,59
Вершина	11,96±0,20	45,60±0,67	17,77±0,51	24,6±1,12

ВИСНОВКИ

Встановлено особливості поширення та розмноження *C. introflexus* залежно від мікрокліматичних умов на вершині, схилах, терасі та на підніжжі відвалів шахти „Надія”. Виявлені закономірності поглинання і розподілу макро- та мікроелементів у біомасі *C. introflexus*, зміни рН і формування органічно-аккумулятивного шару в субстраті під впливом мохових дернинок свідчать, що цей адвентивний вид моху з життєвою формою щільної дернинки, заселяючи шахтні відвали, покращує їхні едафотопні властивості, сприяє ренатуралізації техногенно девастованих територій і майбутньому розвитку судинних рослин.

1. Баранов В.І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ „Львівсистеменерго” як об’єкта для озеленення. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол.** 2008, 46: 172–178.
2. Башуцька У.Б. **Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району**: монографія. Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. 180 с.
3. Кияк Н.Я., Баїк О.Л. Участь бріофітів у відновленні девастованих територій сірчаного видобутку. **Біологічні Студії / Studia Biologica**, 2011, 5(2): 131–140.
4. Книш І.Б., Харкевич В.В. Розподіл вмісту хімічних елементів у породах териконів Червоноградського гірничо-промислового району. **Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол.** 2003, 17: 148–158.
5. Лакін Г.Ф. **Биометрия**: учеб. пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.
6. Лелик Б.И. **Геологические особенности распространения редких и рассеяных элементов в угленосных отложениях Львовско-Волынского бассейна**: автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Львов, 1990. 19 с.
7. Лобачевська О.В., Соханьчак Р.Р. *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. – новий адвентивний вид моху для флори України. **Укр. ботан. журнал**, 2010, 67(3): 432–437.
8. **Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами**. М.: Гидрометеоиздат, 1981: 9–33.
9. Никитин Б.А. Определение содержания гумуса в почве. **Агрохимия**, 1972; 3(3): 123–125.
10. Попович В.В. Характеристика осередків самозаймання породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового регіону. **Наук. вісник УкрДЛТУ**. Львів: УкрДЛТУ, 2009, 19.12: 77–82.
11. Сетт І.В. До вивчення агрохімічних властивостей едафотопу та щільності популяцій рослин на териконниках Донбасу. **Промышленная ботаника**, 2002, 2: 218–221.
12. Скальный А.В. **Химические элементы в физиологии и экологии человека**. М.: Издательский дом „Оникс 21 век”: Мир, 2004. 216 с.
13. Фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України / За ред. А.І. Фатєєва, Я.В. Пашенка. Харків, 2003. 117 с.
14. During H.J., Tooren van B.F. Bryophyte interactions with other plants. **Bot. J. Linn. Soc.** 1990, 104: 79–98.
15. Hasse T. *Campylopus introflexus* invasion in a dune grassland: Succession, disturbance and relevance of existing plant invader concepts. **Herzogia**, 2007, 20: 305–315.

INFLUENCE OF MOSS *CAMPYLOPUS INTROFLEXUS* (HEDW.) BRID. ON RESTORATION OF TECHNOGENIC SUBSTRATES OF MINE DUMPS

R. R. Sokhan'chak, O. V. Lobachevska

*Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine, 11, Stefanyk St., Lviv 79000, Ukraine
e-mail: stentor62@gmail.com, morphogenesis@mail.lviv.ua*

The peculiarities of distribution and viability of moss *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. have been established depending on the microclimatic conditions on the dump of „Nadiia” mine in Chervonohrad mining area (L'viv region). Changes of content macro- and microelements, organic carbon, pH were investigated in substrate under moss cover and in uncovered substrate without plants of these rock dumps. Participation of moss cover *C. introflexus* on the restoration of technogenic substrates of mine dumps was stated as a result of improvement of their edafotop properties.

Keywords: *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid., rock dumps, substrate, calcium, heavy metals, acidity, organic carbon.

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ МХА *CAMPYLOPUS INTROFLEXUS* (HEDW.) BRID НА ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТЕХНОГЕННЫХ СУБСТРАТОВ ШАХТНЫХ ОТВАЛОВ

Р. Р. Соханьчак, О. В. Лобачевская

*Институт экологии Карпат НАН Украины, ул. Стефаныка, 11, Львов 79000, Украина
e-mail: stentor62@gmail.com, morphogenesis@mail.lviv.ua*

Установлены особенности распространения и жизнедеятельности мха *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. в зависимости от микроклиматических условий на отвалах шахты „Надежда” Червоноградского горнопромышленного района Львовской области. Исследованы изменения содержания макро- и микроэлементов, органического углерода, значений pH в субстрате под моховыми дерновинками и в субстрате без растительного покрова на этих породных отвалах. Определено участие мохового покрова *C. introflexus* в восстановлении техногенных субстратов шахтных отвалов путем улучшения их эдафотопных характеристик.

Ключевые слова: *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid., породные отвалы, субстрат, тяжелые металлы, кислотность, органический углерод.

Одержано: 01.02.2012