



УДК 582.32: 662.271.4: 582.32. 551.525:551.579: 581.137.7

## ВПЛИВ МОХІВ НА МІКРОКЛІМАТИЧНІ УМОВИ ЕДАФОТОПІВ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ І ЇХНІ АДАПТАЦІЙНІ РЕАКЦІЇ

**Л. Карпінець<sup>1</sup>, О. Лобачевська<sup>2</sup>, В. Баранов<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Львівський національний університет імені Івана Франка  
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна

<sup>2</sup>Інститут екології Карпат НАН України, вул. Стефаника, 11, Львів 79000, Україна  
e-mail: [morphogenesis@mail.lviv.ua](mailto:morphogenesis@mail.lviv.ua)

Досліджено вплив бріофітного покриття на водний і температурний режими техносубстратів породних відвалів. Установлено, що влітку вміст вологи у субстраті під моховою дерниною підвищувався, а температура здебільшого була нижчою, порівняно з техноземом без мохового покриття. Водний режим субстрату на досліджуваних ділянках залежав від положення на відвалі, а також від ступеня його заростання вищими судинними рослинами. Відзначено, що під впливом негативних факторів трансформованого середовища (високих температур, інтенсивності освітлення та дефіциту вологи) вміст фенольних сполук, вільного проліну і розчинних цукрів у гаметофіті мохів підвищувався. У мінливих умовах існування механізми захисту мохів реалізувалися, насамперед, завдяки активному синтезу вільного проліну та фенолів. Виявлено, що кількість вуглеводів у тканинах рослин змінювалася з незначною різницею: ймовірно, їхня дія компенсувалася завдяки іншим біологічно активним сполукам (наприклад, вільного проліну). Вміст імінокислоти у рослинах *Ceratodon purpureus* залежав як від водно-температурного режиму у субстраті, так і від інших стресових абіотичних чинників середовища. Установлено, що вміст фенольних сполук був найбільшим на терасі відвалу Центральної збагачувальної фабрики в умовах високої температури технозему та значного впливу сонячного світла.

**Ключові слова:** відвали вугільних шахт, мохи, температура, вологість, розчинні вуглеводи, пролін, фенольні сполуки.

### ВСТУП

Унаслідок активного видобування вугілля в Червоноградському гірничопромисловому районі (ЧГПР) виникають численні трансформовані природні ландшафти зі зміненням гідротермічним режимом, деградований ґрунтовий покрив, забруднений невластивими для природних циклів хімічними елементами та сполуками. На таких територіях формування рослинного покриття починається із заселення субстратів толерантними рослинами, зокрема, мохоподібними.

Температура та вологість субстрату на відвалах ЧГПР є одними із визначальних чинників, які впливають на ріст і розвиток рослинних організмів. З'ясовано, що у липні за значної сонячної радіації темна шахтна порода швидко нагрівається, а це спричиняє дефіцит вологи у субстраті [2]. На техногенних територіях ЧГПР реакції бріофітів на дію негативних чинників середовища та їхній вплив на поверхневий шар субстрату залишаються маловивченими. Тому мета нашої роботи полягала в оцінці функціональної ролі мохового покриву у встановленні оптимальних мікрокліматичних умов едафотопу та їхніх механізмів адаптації.

## МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Об'єктом досліджень були: *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid.<sup>1</sup> та домінантні види мохоподібних, що формують стійкі угруповання на породних відвалах ЧГПР: рекультивованому (унаслідок нанесення шару ґрунтосуміші) діючої шахти "Надія", незарослому і частково рекультивованому Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) "Червоноградська" та природно зарослому недіючої шахти "Візейська".

Для визначення вмісту вологи за С.М. Польчиною [24] у межах дослідних ділянок у трьох місяцях відбирали зразки мохів і субстратів під ними, змішували їх та формували середню пробу. Контролем слугував оголений субстрат на вершинах, терасах і у підніжжях відвалів біля місцезростань мохів. Для досліджень використовували верхній шар субстрату на глибині до 2–3 см. Інтенсивність освітлення на досліджуваних ділянках визначали люксметром Ю116. Температурний режим субстратів під моховим покривом і без нього вимірювали за модифікованою методикою В. Іпатова і Т. Тархової [12], вологість повітря встановлювали гігрометром. У тканинах моху *Ceratodon purpureus* визначали: загальний вміст фенольних сполук, застосовуючи реактив Фоліна–Деніса [34], вуглеводи – спектрофотометрично за методом У. Дюбойса [23], пролін – за Л. Бейтсом з використанням кислого нітгидринового реагента [3]. Для контролю відбирали зразки моху з фонові території (ліс). Відбір матеріалу для лабораторних досліджень і визначення екологічних параметрів здійснювали у липні 2015 р. Результати досліджень опрацьовували статистично конкретніше [19].

## РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ І ЇХНЄ ОБГОВОРЕННЯ

Установлено, що мохоподібні, які приурочені до місцезростань із різними кліматичними умовами, здатні оптимізувати температурний мікрорежим як у дернині, так і у верхньому шарі ґрунту [9; 27]. Слугуючи своєрідним буфером між навколишнім середовищем і ґрунтом, бріофітний покрив нівелює добові та сезонні температурні флуктуації й у такий спосіб захищає від впливу екстремальних температур як насіння, так і проростки вищих судинних рослин [4; 25; 31].

Відзначено, що на досліджуваних ділянках відвалів температурний показник під дернинами мохоподібних був здебільшого нижчим, порівняно з оголеним субстратом (табл. 1). Різниця мінливості температур у техноземах під моховими дернинами і без них становила 0,1–2,7 °С. На вершині відвалу шахти "Надія" температурний показник у субстраті без бріофітного покриву максимально підвищувався до 37,1 °С, водночас під дернинкою моху *Polytrichastrum formosum* (Hedw.) G.L.Sm. знижувався на 2,2 °С.

<sup>1</sup>Назви видів мохів подано за М. Гіллом та ін. [11].

Під покривом *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. і *Ceratodon purpureus* температура знижувалась на 0,9 °С та 1,9 °С відповідно, порівняно з температурою у субстраті без мохів. Причому під *C. purpureus* було холодніше, ніж під *C. introflexus* (на 1,0 °С), що пов'язано, ймовірно, із біоморфологією мохових дернин. У *C. introflexus* пагони міцно з'єднані між собою ризоїдною повстю у щільні, іноді високі дернини, тоді як у низьких дернинах *C. purpureus* завдяки невеликим розмірам рослин створюються кращі умови для вільного проникнення повітря у поверхневий шар субстрату.

На відкритій терасі відвалу процеси окиснення породи, які супроводжуються горінням, і висока інсоляція (95–100 тис. лк) значно підвищили температуру техногенних субстратів, яка як під *Ceratodon purpureus*, так і в оголоному техноземі становила 46,0 °С та 44,1 °С відповідно (табл. 1).

Таблиця 1. Вплив бріофітів на температурний режим субстратів на відвалах вугільних шахт (липень 2015 р.)

Table 1. The effect of bryophyte on temperature regime of substrates on the dumps of coal mines (July 2015)

№ ділянки	Назва видів у бріофітних угрупованнях	Діапазон мінливості інсоляції, тис. лк	Відносна вологість повітря, %	Температура, °C		
				повітря	під мохом	в оголоному субстраті
„Надія” – вершина						
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	25,0–36,0	49,0±14,1	28,6±2,2	32,0±2,9	33,9±3,2
2	<i>Sciurohypnum starkei</i> (Brid.) Ignatov & Huttunen.	30,5–40,5	37,0±8,7	29,4±2,5	23,5±3,0	23,5±3,1
3	<i>Campylopus introflexus</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	86,0–91,0	39,0±10,4	28,8±1,5	22,5±2,8 22,2±2,1	23,0±3,2
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	81,0–90,0	38,0±11,3	28,8±1,3	23,0±1,5	23,0±2,5
Тераса						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	95,0–100,0	30,0±9,8	30,5±1,4	42,0±4,0	42,0±2,1
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	80,0–90,0	38,0±13,2	31,0±1,2	31,0±2,3	33,0±2,6
Підніжжя						
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	74,0–80,0	33,0±12,2	32,3±2,9	26,5±1,7	27,4±2,5
ЦЗФ – вершина						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	65,0–78,0	29,0±9,3	32,1±2,9	24,0±1,7	24,0±2,4
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	83,5–90,5	31,0±11,7	30,6±1,9	25,0±2,3	26,1±2,0
Тераса						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	95,0–100,0	30,0±9,5	29,5±2,2	33,0±1,5	34,0±3,2
„Візейська” – вершина						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	89,0–96,0	32,0±14,3	29,1±2,1	25,0±3,4 25,0±2,1	25,0±2,3
Тераса						
1	<i>Brachythecium glareosum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	72,0–84,0	33,0±10,0	29,9±2,6	23,0±1,2 22,1±2,0	24,0±2,2
Підніжжя						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	25,0–36,0	55,0±13,8	29,9±2,3	18,0±1,5 18,0±1,2	18,0±2,5

На вершині відвалу ЦЗФ за відносної вологості повітря 31,0 % та інтенсивності освітлення в діапазоні 83,5–90,5 тис. лк температурний показник під дерниною *Polytrichum piliferum* Hedw., порівняно з оголеним субстратом, максимально був нижчим на 0,8 °С. Варто зазначити, що відкритість експозиції та висота відвалу ЦЗФ (вище 70 м) значною мірою впливали на вологість атмосферного повітря: його відсоток змінювався в межах 38,3–42,7 % і був найнижчим серед показників на інших досліджуваних териконах, окрім тераси відвалу шахти “Надія”.

На відвалі ЦЗФ, зокрема, на його терасі, за інтенсивності сонячної радіації 95–100 тис. лк встановлено температурний максимум в оголеному субстраті, який дорівнює 37,2 °С, водночас під дернинками моху *Ceratodon purpureus* температура була нижчою на 2,7 °С.

На відвалі шахти “Візейська” відзначено тенденцію до зниження температурного режиму субстрату (як під бріофітами, так і без них) від вершини до його підніжжя. Це пов'язано з поступовим збільшенням щільності рослинного покриву, унаслідок чого знижується інтенсивність освітлення поверхні технозему (з 89–96 до 25–36 тис. лк) та підвищується вологість атмосферного повітря (від 32,0 до 55,0 %). На терасі відвалу температурний показник в оголеному субстраті зростав до 26,2 °С, водночас під дернинками мохів *Brachythecium glareosum* (Bruch ex Spruce) Schimp. та *Ceratodon purpureus* температура була нижчою на 2,0 °С та 2,1 °С відповідно.

Мохоподібні є пойкилогідричними вищими рослинами, що здатні як до втрати води з тканин, так і до швидкої регідrataції [32]. Тобто водозабезпечення бріофітів значною мірою залежить від водного режиму навколишнього середовища.

Рослинкам моху притаманна висока поглинальна здатність, яка сприяє акумуляції вологи, котру бріофіти можуть отримувати не лише з опадів, а й із туману та роси [21]. Утворюючи густу ризоїдну повсть, мохоподібні утримують вологу в приповерхневому шарі субстрату, таким чином сприяючи оптимальному водно-температурному режимові [13; 25].

Нами досліджено, що у літній період вміст вологи під бріофітним покривом був вищим, порівняно з оголеним техноземом (табл. 2). На визначених ділянках відвалів показники водного режиму під дернинами мохоподібних змінювалися від 0,43 до 39,5 %, тоді як у субстраті без мохів – від 0,27 до 8,4 %.

Значну мінливість показників акумульованої вологи в задернованому техноземі виявлено на відвалі шахти “Надія”, де місцезростання мохів є досить гетерогенними – ксероморфні умови на терасі відвалу (відносний вміст вологи – 0,43 %) змінюються значно вологішими на вершині (39,5 %). Варто зазначити, що в таких умовах мікропонижень рельєфу гаметофіт верхоплідного виду моху *Polytrichastrum formosum* утримував 95,3 % води. Під дерниною моху було значно вологіше, ніж в оголеному субстраті (показник зволоження технозему, не заселеного мохом, був меншим у 4,8 разу).

У підніжжі відвалу різниця відносного вмісту вологи між субстратом, покритим мохом, і без нього становила 4,1 %. На вершині відвалу ЦЗФ за найменшого вмісту вологи в оголеному субстраті (0,23 %) її відсоток під покривом *Polytrichum piliferum* і в гаметофіті підвищувався в 4,6 і 13,5 разу відповідно. Під *Ceratodon purpureus* відносний вміст вологи підвищувався до 2,63 %, що в 1,5 разу більше, ніж у техноземі без мохових дернин. У ксероморфних умовах тераси відвалу показник водного режиму в субстраті без бріофітного покриву становив 0,5 %, під *C. purpureus* збільшувався до 0,63 %, у пагонах моху – до 2,1 %.

Таблиця 2. Вплив мохового покриву на вміст вологи (%) у верхньому шарі техногенного субстрату породних відвалів (липень 2015 р.)

Table 2. The effect of moss cover on the moisture content (%) in the upper layer of technogenic substrate of rock dumps (July 2015)

№ ділянки	Назва видів мохів	Вміст вологи, %		
		мохова дернина	під моховою дерниною	оголений субстрат
„Надія” – вершина				
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	93,0±2,3	37,8±1,7	7,9±0,3
2	<i>Sciurohypnum starkei</i> (Brid.) Ignatov & Huttunen.	9,5±0,6	3,6±0,4	3,0±0,5
3	<i>Campylopus introflexus</i>	9,9±0,5	3,0±0,12	2,4±0,2
	<i>Ceratodon purpureus</i>	10,1±0,7	3,3±0,25	
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	11,6±0,4	3,4±0,1	2,5±0,2
Тераса				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	2,0 ±0,1	0,4±0,03	0,2±0,07
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	6,2±0,6	4,5±0,3	0,9±0,03
Підніжжя				
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	8,6±0,9	5,9±0,2	1,8±0,2
ЦЗФ – вершина				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	3,4±0,09	2,3±0,33	1,6±0,15
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	2,9±0,2	1,0±0,07	0,2±0,03
Тераса				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	1,9±0,2	0,6±0,03	0,4±0,1
„Візейська” – вершина				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	3,1±0,4	2,5±0,2	1,1±0,07
	<i>Ceratodon purpureus</i>	2,3±0,1	1,9±0,3	
Тераса				
1	<i>Brachythecium glareosum</i>	13,6±0,7	10,1±0,7	2,7±0,3
	<i>Ceratodon purpureus</i>	14,9±0,6	11,2±0,8	
Підніжжя				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	30,7±0,6	11,6±0,8	7,6±0,8
	<i>Ceratodon purpureus</i>	31.4±2.1	10,2±1.2	

На відвалі шахти “Візейська” мінливість показників відносного вмісту вологи в оголеному субстраті становила 1,17–8,4 %, під мохоподібними – 2,2–12,4 %. Найбільшу кількість вологи (33,5 %) утримував *C. purpureus* у підніжжі відвалу в асоціації з деревними рослинами, найменшу (2,4 %) – на вершині, де місцезростання моху є більш відкритим для впливу сонячної радіації та підвищеного вітрового режиму.

Рослини впродовж життєвого циклу зазнають впливу стресових чинників різної природи, на які вони реагують низкою адаптаційних перебудов (фізіологічні, біохімічні та молекулярні). Такі механізми захисту у рослин спрямовані на збереження життєздатності організму в екстремальних умовах середовища існування та реалізуються завдяки активації біосинтезу у клітинах вуглеводів, вільного проліну [1; 17; 20; 30] і фенольних сполук [35].

Із літературних джерел відомо, що акумуляція фенольних сполук у клітинах рослин простежувалася за дії таких екзогенних чинників, як низькі та високі температури [26], важкі метали [5; 15]. Встановлено участь фенолів як ендогенних регу-

ляторів фізіологічних процесів, які впливають на активність антиоксидантної системи [8; 28]. Синтез вторинних метаболітів індукували не лише абіотичні, а й біотичні чинники. Досліджено, що стійкість моху роду *Sphagnum* L. до фітопатогенного гриба роду *Fusarium* spp. корелювала з високим вмістом у тканинах рослини фенольних сполук із фунгіцидними властивостями [6].

Встановлено, що на дослідних ділянках вміст фенолів у пагонах *Ceratodon purpureus* змінювався від 0,908 мг/г сирої маси (с. м.) у підніжжі відвалу шахти “Візейська” до 1,589 мг/г с. м. на терасі відвалу ЦЗФ (табл. 3). Відзначено, що кількість фенольних сполук у мохоподібних значною мірою залежала від інтенсивності освітлення відвалів і наявності вмісту вологи у субстратах. Синтез цих метаболітів певною мірою індукувала і температура технозему. Тобто на окремих положеннях відвалів активний біосинтез фенолів може відбуватися за впливу абіотичного стресу, який має багатофакторний характер. В умовах найвищої температури субстрату (44,1 °С – тераса відвалу шахти “Надія”) вміст фенолів у гаметофіті моху підвищувався до 1,48 мг/г с. м. На вершині та в підніжжі відвалу кількість фенольних сполук суттєво не відрізнялася (1,02 та 1,06 мг/г с. м. відповідно) та перевищувала контроль у 1,2 разу.

На вершині відвалу ЦЗФ вміст вторинних метаболітів перевищував контроль у 1,2 разу, водночас на терасі їх вміст зростав в 1,8 разу, порівняно з контролем. Імовірно, акумуляція фенолів у клітинах моху відбувалась унаслідок безпосередньої дії сонячного світла значної інтенсивності.

Встановлено, що в підніжжі відвалу шахти “Візейська” вміст фенольних сполук у гаметофіті моху (0,908 мг/г с. м.) суттєво не відрізнявся від їхнього вмісту в контролі (0,880 мг/г с. м.), що можна пояснити подібними умовами місцезростання бріофітів до умов фонові території (ліс).

За дії стресових чинників зміна водного потенціалу у клітинах рослин відбувається завдяки нагромадженню осмотично активних речовин, зокрема, розчинних цукрів і вільного проліну. Накопичення у рослинах цих метаболітів сприяє підтримці осмотичного балансу клітин, запобігає дезінтеграції мембран, інактивації ферментів і денатурації білків, знижує водний потенціал клітини, перешкоджаючи її інтенсивній дегідратації, й активує захисну антиоксидантну систему [10; 16; 22; 29].

Досліджено, що в умовах осмотичного стресу (наприклад, унаслідок нафтового забруднення середовища) адаптаційні реакції *Bryum argenteum* Hedw. реалізувалися завдяки збільшенню вмісту у тканинах осмопротекторів – розчинних цукрів і вільного проліну [18].

Результати нашого аналізу доводять, що на терасі відвалу шахти “Надія” кількість розчинних цукрів у пагонах *Ceratodon purpureus* була максимальною – 36,0 мг/г с. м., тоді як у зразках моху, відібраного в лісі (контроль), цей показник становив 23,62 мг/г с. м. (табл. 3). На вершині відвалу вміст вуглеводів підвищувався в 1,3 разу, порівняно з контролем, у підніжжі, в умовах більшого зволоження субстрату, вміст первинного метаболіту перевищував контроль у 1,2 разу.

На вершині відвалу ЦЗФ кількість розчинних цукрів у гаметофіті моху становила 32,33 мг/г с. м. На терасі вміст метаболітів зростав до 35,58 мг/г с. м. і перевищував контроль у 1,5 разу. Зі збільшенням вологи у субстраті відвалу шахти “Візейська” від вершини до підніжжя кількість вуглеводів у пагонах моху знижувалася майже до показника контролю – від 33,08 до 24,42 мг/г с. м.

Досліджено, що влітку на вершині відвалу шахти “Надія” вміст вільного проліну в пагонах *C. purpureus* підвищувався в 3,2 разу, порівняно з контролем, на терасі –



в 6,3 разу, що є проявом адаптативної реакції моху на вплив стресових гідротермічних умов та екстремальної сонячної радіації. У трохи вологіших умовах підніжжя відвалу та меншій інтенсивності освітлення вміст імінокислоти в гаметофіті моху знижувався в 1,5 разу, порівняно з її вмістом на терасі.

**Таблиця 3. Вміст фенолів, вільного проліну та розчинних цукрів у гаметофіті *Ceratodon purpureus* із різних місцезростань вугільних відвалів (липень 2015 р.)**

**Table 3. The content of phenolic, free proline and soluble sugars in moss gametophyte *Ceratodon purpureus* from different habitats of coal dumps (July 2015)**

Місцезростання моху	Вміст фенольних сполук, мг/г сирової маси	Вміст розчинних цукрів, мг/г сирової маси	Вміст вільного проліну, мг/г сирової маси
Контроль: ліс	0,88±0,02	23,62±1,31	0,039±0,003
„Надія” – вершина	1,02±0,06	31,75±2,0	0,125±0,015*
Тераса	1,48±0,10*	36,0±2,47*	0,244±0,013*
Підніжжя	1,06±0,05*	29,17±2,8	0,167±0,013*
ЦЗФ – вершина	1,089±0,11	32,33±2,09*	0,118±0,01*
Тераса	1,59±0,08*	35,58±2,76*	0,192±0,016*
„Візейська” – вершина	1,13±0,04*	33,08±2,06*	0,149±0,01*
Тераса	1,09±0,06*	27,68±1,56	0,259±0,029*
Підніжжя	0,908±0,05	24,42±1,13	0,048±0,004

**Примітка:** \* – різниця порівняно з контролем статистично достовірна при  $p < 0,05$

**Comment:** \* – difference compared with the control statistically significant at  $p < 0.05$

На проаналізованих ділянках відвалу ЦЗФ (вершина і тераса) встановлено обернену кореляцію між вмістом осмолітика у клітинах моху та відносною вологістю техногенного субстрату: зі збільшенням показника вмісту води кількість вільного проліну зменшувалась.

На вершині відвалу шахти “Візейська” вміст імінокислоти перевищував контроль у 3,8 разу. На його терасі в оптимальніших мікрокліматичних умовах місцезростання моху кількість вільного проліну в гаметофіті *C. purpureus* збільшувалась до 0,259 мг/г с. р. і була найвищою, порівняно зі зразками моху, відібраними на інших положеннях відвалів. Імовірно, в цьому випадку активацію синтезу імінокислоти індукували чинники, не пов’язані з осмотичними ефектами. Адже відомо, що підвищення біосинтезу вільного проліну відбувається за впливу таких абіотичних чинників як засоленість, важкі метали [7; 20]. Окрім того, на накопичення у гаметофіті імінокислоти могли впливати іони екзогенного  $\text{Ca}^{2+}$  [14], виконуючи роль сигнальних посередників у клітинах рослин у разі стресового впливу середовища [33].

У підніжжі відвалу вміст вільного проліну в гаметофіті моху стосовно контролю підвищувався з незначною різницею.

Отже, отримані результати свідчать, що у відповідь на дію таких стресових чинників породних відвалів як нестача води, висока інсоляція та високі температурні показники, мохоподібні реагували низкою адаптаційних перебудов – активацією синтезу розчинних цукрів, вільного проліну та фенолів. У модифікованих умовах існування мохів механізми захисту реалізувалися, насамперед, завдяки активному синтезу вільного проліну та фенольних сполук. Оптимізуючи екстремальні мікрокліматичні умови едафотопів, бріофіти в такий спосіб сприяють підвищенню

життєздатності насіння та проростків судинних рослин. У ксероморфних умовах породних відвалів збільшення відсотка вологи у субстраті під моховим покривом, особливо влітку, пришвидшує деструкцію органічної речовини та процеси мінералізації продуктів розпаду, що, у свою чергу, призводить до збагачення технозему біогенними елементами (фосфор, калій) і органічним вуглецем [14].

1. Arabzadeh N. The Effect of Drought Stress on Soluble Carbohydrates (Sugars) in Two Species of *Haloxylon persicum* and *Haloxylon aphyllum*. **Asian Journal of Plant Sciences**, 2012; 11: 44–51.
2. Bashutska U. **Succession of vegetation of rock dumps of mines of the Chervonohrad mining region**. Lviv, 2006. 178 p. (In Ukrainian).
3. Bates L.S., Walden R.P., Tear G.D. Rapid determination of free proline for water stress studies. **Plant Soil**, 1973; 39: 205–210.
4. Delah A., Kimmerer R.W. The effect of *Politrichum piliferum* on Seed Germination and Establishment on Iron Mine Tailings in New York. **Bryologist**, 2002; 105(2): 249–255.
5. Chechui H.F. The phenolic compounds content in germinating soybean seeds under oxidative stress caused by cobalt and cadmium ions. **Physiology and Biochemistry of Cultural Plants**, 2011; 43(4): 362–366. (In Ukrainian).
6. Drazhnikova A.M. The fungicidal properties of phenolic compounds extracts of the moss genus *Sphagnum* L. **Advances in Botany and Ecology**. Materials of the International Conference of Young Scientists. Berezne, 2011: 25–26. (In Ukrainian).
7. Farkhondeh R., Nabizadeh E., Jalilnezhad N. Effect of salinity stress on proline content, membrane stability and water relations in two sugar beet cultivars. **International Journal of AgriScience**, 2012; 2(5): 385–392.
8. Gill S.S., Tuteja N. Reactive Oxygen Species and Antioxidant Machinery in Abiotic Stress Tolerance in Crop Plants. **Plant Physiol. Biochem**, 2010; 48: 909–930.
9. Glime J.M. Bryophyte Ecology, 2006. <<http://www.bryoecol.mtu.edu/>>
10. Hessini K., Martinezc J.P., Gandour M. et al. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora*. **Environmental and Experimental Botany**, 2009; 67: 312–319.
11. Hill M.O., Bell N., Bruggeman-Nannenga M.A. et al. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia. **Journal of Bryology**, 2006; 28: 198–267.
12. Ipatov V.S., Tarkhova T.N. Microclimate of moss and lichen synusia in a green-moss-lichen pinery. **Ecology**, 1982; 4: 27–32. (In Russian).
13. Ipatov V.S., Trophimets V.I. Influence of lichen and green-moss carpets on the water regime of the upper root layer of soil in dry pinery. **Ecology**, 1988; 1: 19–23. (In Russian).
14. Karpinets L., Lobachevska O., Baranov V. The influence of the bryophytes on the content of macroelenemts and organic carbon in technozems of the dumps of the Chervonograd mining industrial complex. **Visnyk of the Kharkiv National Agricultural University. Series Biology**. 2014; 3(33): 52–59. (In Ukrainian).
15. Kobyletska M.S., Terek O.I. Influence of cadmium ions on content of phenolic compounds and proline accumulation in maize plants. **Visnyk of Lviv University. Biology Series**, 2002; 28: 311–316. (In Ukrainian).
16. Kolupaev Yu.Ye., Karpets Yu.V. Participation of soluble carbohydrates and low-molecular nitrogen compounds in adaptive reactions of plants. **Visnyk of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology**, 2010; 2(20): 36–53. (In Ukrainian).
17. Kolupaev Yu.E., Vayner A.A., Yastreb T.O. Proline: physiological functions and regulation of its content In plants under stress conditions. **Visnyk of Kharkiv National Agrarian University. Series Biology**, 2014; 2 (32): 6–22. (In Ukrainian).
18. Kyvak N.Ya. Morpho-physiological adaptation of the moss *Bryum argenteum* Hedw. to oil pollution. **IV<sup>th</sup> opened Congress phitobiologists Black Sea region**. Kherson, 2012: 16–17. (In Ukrainian).
19. Lakin H.F. **Biometrics: Tutorial for Biologically Specialized Schools**. M.: High School, 1990. 352 p. (In Russian).



20. Lobachevska O.V. Content of free proline and activity of antioxidant protection in mosses under stress conditions. **Chornomorsk. Bot. Journal**, 2008; 4(2): 230–236. (In Ukrainian).
21. Lobachevska O.V. The impact of bryophytes on acidity and moisture content in the upper layer of technogenic soil. **The international scientific-practical conference**. Dnipropetrovsk, 2012: 235–237. (In Ukrainian).
22. Maevskaya S.N., Nikolaev M.K. Reaction of antioxidation and osmoprotective systems of the wheat seedlings on drought and rehydration. **Plant Physiology**, 2013; 60(3): 351–359. (In Ukrainian).
23. Plyeshkov B.P. **Accelerated polumikrometod determination of sugars. Workshop on plant biochemistry**. M.: Kolos, 1976. 115–117. (In Russian).
24. Polchyna S.M. **Methodical recommendations for laboratory and practical works on soil**. Chernivtsi, 1991. 60 p. (In Ukrainian).
25. Rahulina M.Ye., Vovk O.B., Orlov O.L. The functional role of bryophytes in renaturalization of technologically changed ecosystems in Volyn-Podillia. **Proceedings of the State Natural History Museum**, 2009; 25: 117–124. (In Ukrainian).
26. Rivero R.M., Ruiz J.M., García P.C. et al. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. **Plant Science**, 2001; 160: 315–321.
27. Shcherbachenko O.I., Rabyk I.V., Kit N.A. Effect of mosses on water and temperature regime of the substrate dump sulfur extraction. **IV-th opened Congress phitobiologists Black Sea region**. Kherson, 2012: 25. (In Ukrainian).
28. Shetty K. Role of proline-linked pentose phosphate pathway in biosynthesis of plant phenolics for functional food and environmental applications; a review. **Process Biochem**, 2004; (39): 789–803.
29. Sinay H., Karuwal R.L. Proline and total soluble sugar content at the vegetative phase of six corn cultivars from Kisar Island Maluku, grown under drought stress conditions. **International Journal of Advance Agricultural Research**, 2014; (2): 77–82.
30. Špoljarević M., Agić D., Lisjak M. et al. The relationship of proline content and metabolism on the productivity of maize plants. **Plant Signal Behav**, 2011; 6(2): 251–257.
31. Tooren van B.F. Microclimatological effects of the bryophyte layer. Ch. 7. **The ecological role of the bryophyte layer of Dutch chalk grasslands**. 1989: 59–63.
32. Turetsky M.R. Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling. **The Bryologist**, 2003; 106 (3): 395–409.
33. Yang S., Lan S., Deng F., Gong M. Effects of Calcium and Calmodulin Antagonists on Chilling Stress-Induced Proline Accumulation in *Jatropha curcas* L. **Journal of Plant Growth Regulation**, 2016; 35 (3): 815–826.
34. Zaprometov M.N. **Biochemical methods in plant physiology**. M.: Nauka, 1971. 191 p. (In Russian).
35. Zaprometov M.N. **Phenolic compounds: distribution, metabolism and function in plants**. M.: Nauka, 1993. 272 p. (In Russian).

## INFLUENCE OF MOSSES ON MICROCLIMATIC CONDITIONS OF EDAPHOTOP OF ROCK DUMPS AND THEIR ADAPTIVE RESPONSES

L. Karpinets<sup>1</sup>, O. Lobachevska<sup>2</sup>, V. Baranov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Ivan Franko National University of Lviv, 4, Hrushevskiyi St., Lviv 79005, Ukraine

<sup>2</sup>Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine, 11, Stefanyk St., Lviv 79000, Ukraine  
e-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua

Influence of the bryophyte cover on water and temperature regimes of technogenic substrates of the rock dumps was investigated. It was established that moisture content in the substrate under the moss turf increased and the temperature mostly decreased compared with the technogenic soil without moss cover in summer. Water regime of substrate on the studied areas depended on position on the dump and higher degree of

overgrowing by vascular plants. It is noted that under the impact of the negative factors of transformed environment (of high temperature and high light intensity, moisture deficiency) phenolic compounds, free proline and soluble sugars content in moss gametophyte increased. In the changing conditions of existence protection mechanisms of mosses implemented primarily through active synthesis of free proline and phenols. The number of carbohydrates in plant tissue changed with little difference: probably, their action was offset by other biologically active connections (for example, free proline). Iminoacid content in plants *Ceratodon purpureus* depended both on the water and temperature regime in substrate and other abiotic stress factors of environment. The content of phenolic compounds was the largest on the terrace of dump Central Enrichment Factory under high temperature of technozem and significant influence of the sunlight.

**Keywords:** dumps of coal mines, mosses, temperature, moisture, soluble carbohydrates, proline, phenolic compounds.

## ВЛИЯНИЕ МХОВ НА МИКРОКЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ЭДАФОТОПОВ НА ПОРОДНЫХ ОТВАЛАХ УГОЛЬНЫХ ШАХТ И ИХ АДАПТАЦИОННЫЕ РЕАКЦИИ

Л. Карпинець<sup>1</sup>, О. Лобачевская<sup>2</sup>, В. Баранов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Львовский национальный университет имени Ивана Франко  
ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина

<sup>2</sup>Институт экологии Карпат НАН Украины, ул. Стефаныка, 11, Львов 79000, Украина,  
e-mail: morphogenesis@mail.lviv.ua

Исследовано влияние бриофитного покрова на водный и температурный режимы техногенных субстратов породных отвалов. Установлено, что летом содержание влаги в субстрате под моховой дерновинкой повышалось, а температура в основном снижалась, по сравнению с техноземом без мохового покрова. Водный режим субстрата на исследуемых участках зависел от положения на отвале, а также от степени его зарастания высшими сосудистыми растениями. Отмечено, что при воздействии негативных факторов трансформированной среды (высоких температур и интенсивности освещения, дефицита влаги) содержание фенольных соединений, свободного пролина и растворимых сахаров в гаметофите мхов повышалось. В изменчивых условиях существования механизмы защиты мхов реализовались, прежде всего, благодаря активному синтезу свободного пролина и фенолов. Выявлено, что количество углеводов в тканях растений изменялось с незначительной разницей: вероятно, их действие компенсировалось благодаря другим биологически активным соединениям (например, свободного пролина). Содержание иминокислоты в растениях *Ceratodon purpureus* зависело как от водно-температурного режима в субстрате, так и от других стрессовых абиотических факторов среды. Установлено, что количество фенольных соединений было наибольшим на террасе отвала Центральной обогатительной фабрики в условиях высокой температуры технозема и значительного влияния солнечного света.

**Ключевые слова:** отвалы угольных шахт, мхи, температура, влажность, растворимые углеводы, пролин, фенольные соединения.

Одержано: 24.10.2016