

**ВОДНИЙ РЕЖИМ МОХУ *CERATODON PURPUREUS* (HEDW.) BRID.  
НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО  
ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ**

**С. Бешлей, Р. Соханьчак**

*Інститут екології Карпат НАН України  
вул. Стефаника, 11, Львів 79005, Україна  
e-mail: beshley.stepan@gmail.com*

Вивчено зміни водного режиму *Ceratodon purpureus* на різних елементах мезорельєфу відвалів вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району. Показано, що влітку водний дефіцит моху в основах, на терасах, схилі та вершинах досліджуваних відвалів становив 58–77 %, проте навіть у таких умовах рослини продовжували ріст і розвиток завдяки значній водоутримувальній здатності (94–99 %) та швидкому поновленню, яке становило 238–449 %. Восени водний дефіцит моху змінювався від 6 до 34 %, що є нормальним станом для функціонування рослинних організмів і пов'язано з наближенням до оптимуму умов існування виду, зокрема, за рахунок збільшення вологості повітря у 2–3 рази та зниження температури у 2 рази, порівняно з літніми місяцями. Висока водоутримувальна здатність та інтенсивні процеси поновлення гаметофіту цього моху зумовлює його стійкість до посухи внаслідок зменшення втрат води в умовах водного дефіциту. Такі особливості водного режиму *C. purpureus* дають йому змогу рости як у вогких затінених локалітетах, так і на освітлених відкритих місцях з меншою вологістю повітря й субстрату.

*Ключові слова:* *Ceratodon purpureus*, оводненість, водний дефіцит, водоутримувальна здатність, відвали вугільних шахт

Оптимальні умови росту й розвитку рослин на техногенно порушених територіях, зокрема, на відвалах вугільних шахт, залежать від багатьох чинників (кислотності субстратів, вмісту в них важких металів, вологозабезпеченості, інсоляції). На початкових стадіях поселення рослин на відвалах лімітаційним чинником є вологість, яка на більшості цих територій становить менше 3 % унаслідок висушування поверхневих шарів субстрату вітром і сонячною радіацією [2, 3]. Показниками, що характеризують водний режим рослин, є їхня оводненість, водний дефіцит, водоутримувальна здатність, поновлення тощо [5, 12, 18, 20]. Нормальне водозабезпечення необхідне рослинам не лише для підтримання основних фізіологічних процесів, а й тому, що у воді розчиняються майже всі необхідні рослинам сполуки та мінерали.

Мохоподібні, особливостями водного режиму яких є пойкилогідричність і високий вміст поверхневої води, на відміну від гомойогідричних рослин, відзначаються високою цитоплазматичною стійкістю як до тривалого водного стресу, так і до висушування, [21, 23, 24] і здатні пристосовуватися до різких змін водного режиму протягом сезону в місцях їхнього існування. Відомо, що за значного водного дефіциту (понад 40 %) відбувається загибель багатьох судинних видів рослин [19], тоді як мохи здатні витримувати значно більші його показники [16]. Ці властивості бріофітів дали їм змогу одними з перших заселити субстрати техногенного походження. Багато уваги було приділено вивченню стійкості мохів до водного дефіциту на девастованих територіях видобутку сірки, зокрема, проаналізовано морфологічну мінливість, зміну фізіолого-біохімічних показників і прове-

дено вивчення водного режиму в лабораторних умовах [10, 11]. Проте є недостатньо даних щодо вивчення водного обміну бріофітів в екстремальних умовах водного забезпечення на породних відвалах вугільних шахт, де проаналізовано лише вплив мохів на мікрокліматичні умови місць існування [9].

Метою дослідження є вивчення водного режиму моху *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. на різних ділянках мезорельєфу відвалів вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР), які характеризуються мозаїчними мікрокліматичними й едафічними умовами.

### Матеріали та методи

Об'єктом дослідження був щільнодернинний космополітний мох *C. purpureus*, який є доміантним видом серед інших бріофітів на девастованих територіях видобутку вугілля [15]. Для аналізів відбирали зразки рослин і проби субстрату (у 0–3 см шарі) та визначали умови екотопу подекадно на нерекультивованому відвалі Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» (ЦЗФ), рекультивованому (внаслідок нанесення на гірничо-технічній стадії рекультивації шару ґрунтосуміші) відвалі шахти «Надія» та природно зарослому відвалі шахти «Візейська», на якому сформувалися деревні фітоценози віком 25–30 років.

Оцінку оводненості й водного дефіциту гаметофіту моху *C. purpureus* здійснювали за класичними методиками [6, 17]. Коефіцієнти водоутримання та водовідновлення визначали ваговими і розрахунковими методами [8, 19]. Для цього відібрані зразки гаметофіту моху зважували та розміщували на стелажах у провітрюваному лабораторному приміщенні за температури 20 °C і залишали в цих умовах на 24 год. Після підсушування їх повторно зважували, а потім занурювали в ємності з водою також на одну добу. Після насичення водою зразки знову зважували і за формулами розраховували коефіцієнти водоутримання ( $K_{\text{вв}}$ ) та водовідновлення ( $K_{\text{вд}}$ ):

$$K_{\text{вв}} = \frac{m(c)}{m(z)} \times 100 \%,$$

$$K_{\text{вд}} = \frac{m(n)}{m(z)} \times 100 \%,$$

де:  $m(z)$  – маса свіжозібраних зразків;  $m(c)$  – маса зразків після підсихання;  $m(n)$  – маса зразків після насичення водою.

Показники температури, вологості субстрату й повітря визначали за загальноприйнятими методиками [1, 7], інтенсивність освітлення вимірювали люксметром Ю116 із фотоелементом Ф-102. Отримані дані опрацьовували методами статистичного аналізу [14] з використанням пакету програмного забезпечення Microsoft Excel 2003.

### Результати і їхнє обговорення

Мінливість водного режиму рослин зумовлена інтенсивністю освітлення, температурними градієнтами в системі «субстрат-рослина-атмосфера», відносною вологістю повітря, діапазоном активної вологи у субстраті [20]. Результати дослідження мінливості цих показників наведено в табл. 1.

Оскільки *C. purpureus* росте досить численними, густими дернинами (від 68 до 225 пагонів на 1 см<sup>2</sup>), його розвиток протягом сезону на відвалах вугільних шахт перш за все лімітується постачанням води, тривалістю періоду високого водного потенціалу, необхідного для фотосинтезу. Влітку найбільшу вологість як повітря, так і субстрату в екотопах існування моху зафіксовано в основах досліджуваних відвалів, менші значення зафіксовані на терасах і вершинах цих техногенних ландшафтів. На терасі відвалу шахти «Надія»

температура субстрату під *C. purpureus* сягала +35 °С, що зумовлено як нагріванням поверхневих шарів сонячною радіацією, так і продовженням процесів горіння в субстраті відвалу. Порівнюючи мікрокліматичні умови влітку на різних відвалах, встановили кращі гідротермічні умови для росту і розвитку рослин на природно зарослому відвалі шахти «Візейська» та рекультивованому відвалі шахти «Надія», порівняно з нерекультивованим відвалом ЦЗФ. Восени внаслідок значних атмосферних опадів вологість повітря зростає до 74–97 %, порівняно з 27–59 %, які були зафіксовані влітку. Температурні показники як повітря, так і субстрату знизилась удвічі, порівняно з літніми місяцями. Отже, зміни водно-температурного режиму на відвалах вугільних шахт як за елементами мезорельєфу, так і за порами року зумовлюють суттєву неоднорідність (мінливість) умов існування, що робить ці техногенні ландшафти зручним полігоном для дослідження змін різних фізіологічних процесів рослин, зокрема, їхнього водного режиму.

Таблиця 1

Характеристики екотопу місць існування моху *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району (липень, жовтень 2016 р., n=10) \*

Елемент мезорельєфу	Мікрокліматичні умови			Едафічні умови	
	Температура повітря, °С	Вологість повітря, %	Освітлення, тис. лк	Температура субстрату, °С	Вологість субстрату, %
	Відвал шахти «Надія»				
Основа	<u>27,1-28,2</u> 12,1-13,2**	<u>42-45</u> 90-95	<u>25-35</u> 20-25	<u>18-20</u> 9-11	<u>7,5-8,9</u> 15,2-16,7
Тераса	<u>28,9-29,9</u> 14,3-15,1	<u>32-34</u> 82-85	<u>40-60</u> 30-40	<u>32-35</u> 17-19	<u>5,2-5,4</u> 8,2-8,9
Вершина	<u>29,5-30,6</u> 13,8-14,2	<u>39-41</u> 85-87	<u>25-40</u> 30-40	<u>22-25</u> 10-15	<u>6,4-6,9</u> 13,1-14,5
	Відвал ЦЗФ				
Основа	<u>29,5-30,4</u> 13,7-14,5	<u>30-32</u> 75-79	<u>30-45</u> 20-25	<u>21-23</u> 9-11	<u>6,9-7,6</u> 19,3-22,4
Схил	<u>30,1-31,2</u> 13,3-14,2	<u>27-29</u> 74-76	<u>20-35</u> 25-30	<u>18-22</u> 10-12	<u>5,8-7,2</u> 13,2-15,1
	Відвал шахти «Візейська»				
Тераса	<u>28,5-29,4</u> 13,7-14,2	<u>53-59</u> 92-97	<u>25-35</u> 20-25	<u>21-24</u> 11-13	<u>16,1-17,9</u> 25,4-27,3
Вершина	<u>30,6-31,1</u> 13,4-15,1	<u>40-43</u> 83-87	<u>30-40</u> 30-40	<u>21-25</u> 11-17	<u>11,2-13,7</u> 18,4-20,6

**Примітки:** \* похибка вимірювань не перевищувала 15 %; \*\* діапазон мінливості показників: над ризикою – у липні, під ризикою – у жовтні

Встановлено, що водний дефіцит моху *C. purpureus* на різних відвалах і їхніх елементах мезорельєфу змінювався у літні місяці від 57,9 % в основі відвалу шахти «Надія» до 77,3 % на схилі відвалу ЦЗФ і перебував у оберненій залежності від вологості повітря над дерниною моху (табл. 2). В осінні місяці водний дефіцит *C. purpureus* становив 5,9–34,0 %, що пов'язано зі скороченням витрат води гаметофітом моху в процесі випаровування та збільшенням його оводненості. Отже, протягом сезонних досліджень менший водний дефіцит *C. purpureus* встановлено в основі та на терасах відвалів (окрім тераси на відвалі шахти «Надія», де внаслідок інтенсивного освітлення і висушування породи через горіння водний дефіцит був на рівні з вершиною), порівняно з їхніми вершинами, що зумовлено кращими мікрокліматичними умовами на цих формах мезорельєфу: меншою інтенсивністю освітлення (на 10–20 тис. лк), температурою (на 1–2 °С) та більшою вологістю повітря як над дерниною моху (на 3–13 %), так і субстрату під нею (на 5–11 %).

Денні та сезонні зміни вмісту води у тканинах характеризують стан рослин у конкретних умовах існування. Вміст води у клітинах пойкилогідричних мохоподібних є нестійким і великою мірою залежить від ступеня зволоженості середовища.

Таблиця 2

Інтегральні показники водного режиму *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid.  
на відвалах вугільних шахт (%),  $M \pm m$ ,  $n=5$ )

Елемент мезорельєфу	Оводненість гаметофіту	Водний дефіцит	Коефіцієнт водоутримування	Коефіцієнт водовідновлення
Відвал шахти «Надія»				
Основа	6,7±0,4	57,9±1,5	98,7±3,4	237,6±13,8
	64,8±1,6	19,7±0,6	38,2±0,7	124,5±6,8
Тераса	6,3±0,3	67,9±1,9	97,5±2,9	311,6±14,1
	57,0±1,4	25,5±0,9	48,4±1,1	134,2±5,9
Вершина	10,2±0,7	70,4±1,8	98,0±3,8	337,9±13,4
	74,2±1,9	20,3±0,8	29,9±0,8	125,4±7,8
Відвал ЦЗФ				
Основа	10,2±0,5	70,2±2,1	97,5±3,5	335,1±12,4
	75,3±2,1	13,6±0,5	28,2±1,0	115,8±6,8
Схил	6,9±0,8	77,3±1,2	95,2±3,1	350,4±14,7
	65,7±1,9	5,9±0,3	37,8±1,3	106,3±6,0
Відвал шахти «Візейська»				
Тераса	13,7±0,7	61,6±2,2	94,1±4,1	352,1±15,4
	74,5±1,8	34,0±1,3	29,5±1,4	151,6±6,6
Вершина	8,3±0,6	70,7±1,9	97,9±3,8	449,0±15,8
	74,9±2,0	11,3±0,5	31,4±1,6	112,8±5,4

**Примітка:** значення показника над рискою – у липні, під рискою – у жовтні

За оводненості гаметофіту *C. purpureus* 6,3–13,7 % (у літні місяці) коефіцієнти водоутримування становили 94–99 %. За досягнення такої оводненості втрат води практично не відбувається. Очевидно, це мінімальна кількість води, яка необхідна для підтримання основних фізіологічних процесів у організмі. Окрім того, коефіцієнти водоутримування більшою мірою залежали від вологості повітря ( $r=0,98$ ), ніж від температури, вологості субстрату й освітлення, оскільки мохи поглинають воду всією поверхнею гаметофіту. Восени коефіцієнти водоутримування перебували в межах 28–48 %.

Експериментами, проведеними у лабораторних умовах, показано, що за оводненості *C. purpureus* до 10 % за вологості повітря понад 80 % і температури +25 °C втрат води рослинами практично немає, а за збільшення вологості повітря до 90–100 % відзначено переважання поглинання води мохом, а відтак і збільшення маси його гаметофіту. У процесі водовідновлення кількість поглинутої води дернинами моху перевищувала у 2,4–4,5 разу його абсолютно суху масу, що зумовлено його анатомо-морфологічною будовою та фізіолого-біохімічними пристосуваннями залежно від едафо-мікрокліматичних умов існування. Це узгоджується з літературними даними [22].

Окрім інтегральних розрахункових параметрів, які характеризують водний баланс рослин, важливе значення має і динаміка зміни маси гаметофіту (втрати води) під час висушування, яка наведена на рис. 1.

Відомо, що посухостійкі види, порівняно з недостатньо пристосованими, повільніше реагують на зміни водного балансу і в умовах зниженої вологозабезпеченості поступово втрачають воду [13]. У результаті проведеного дослідження встановлено, що понад 70 % водовідновлення *C. purpureus* відбувається у перші 30 хв регідратації, тоді як під час висушування протягом перших 30 хв втрати води становлять лише 9–16 %. Залежність втрати води гаметофітом моху від часу описується лінійною функцією, про що свідчить величина

вірогідної апроксимації, яка становить  $R^2=0,98\pm 0,01$ , що вказує на суттєву відповідність лінії даним. Протягом спекотного дня мох втрачає воду поступово, проте під час випадання роси чи атмосферних опадів швидко відбувається регідратація структур гаметофіту й відновлення його функціонування. Окрім того, встановлено, що втрата і поглинання води гаметофітом моху є видоспецифічною ознакою, яка значною мірою визначається формою росту дернин. Порівняння результатів досліджень із літературними даними показало, що особливості водообміну *C. purpureus* загалом нагадують толерантний до висушування мох *B. argenteum*, який здатний не лише до значного утримування води, а й до інтенсивного відновлення вологості тканин унаслідок регідратації [4].

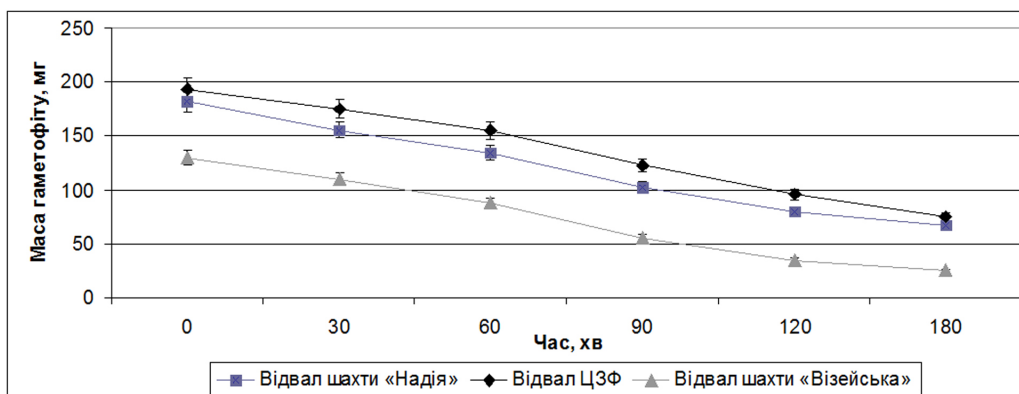


Рис. 1. Динаміка втрати води рослинами *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. із різних відвалів вугільних шахт після насичення водою під час експозиції зразків на повітрі

Отже, у стресових умовах водного забезпечення на шахтних відвалах завдяки своїй водоутримувальній здатності та швидкій регідратації *C. purpureus* існує не лише в затінених місцях, а й на відкритих ділянках різних елементів мезорельєфу відвалів вугільних шахт.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.
2. Башуцька У. Б. Мікрокліматичні умови породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району // Лісове господарство, лісова, паперова, деревообробна промисловість: міжвід. наук-техн. зб. Львів, 2006. Вип. 32. С. 48–51.
3. Бешлей С. В., Соханьчак Р. Р., Баранов В. І. Зміни гідротермічного режиму субстратів у заростях куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району // Наук. записки ДПМ. 2014. Вип. 30. С. 137–142.
4. Бойко І., Лобачевська О. Мінливість вмісту водню пероксиду та вуглеводів у мохів із різною стійкістю до висушування в умовах дегідратації та регідратації // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2016. Вип. 71. С. 238–244.
5. Гусев Н. А. Некоторые закономерности водного режима растений. М.: Изд-во АН СССР, 1959. 158 с.
6. Екологія рослин: методичні вказівки до лабораторних занять і організації самостійної роботи для студентів напрямів підготовки 6.040102 – біологія та 6.040106 – екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування / укл.: О.І. Пацула, Н.Д. Романюк. Львів: Львів. нац. ун-т імені Івана Франка, 2015. 100 с.

7. *Ипатов В. С., Тархова Т. Н.* Микроклимат моховых и лишайниковых синузий в сосняке зеленомошно-лишайниковом // Экология. 1982. № 4. С. 27.
8. *Іванюк І. В.* Інтенсивність транспірації листя в ландшафтних лісових культурах зеленої зони м. Києва // Наук. доп. НАУ. 2006. № 2(3). С. 1–4.
9. *Карпінєць Л., Лобачевська О., Баранов В.* Вплив мохів на мікрокліматичні умови едафотопів породних відвалів і їхні адаптаційні реакції // Біологічні Студії / Studia Biologica. 2016. Т. 10/№ 3–4. С. 119–128.
10. *Кияк Н. Я., Хоркавців Я. Д.* Адаптація бріофітів до водного дефіциту на території відвалу в місцях видобутку сірки // Укр. ботан. журнал. 2015. Т. 72. № 6. С. 566–573.
11. *Кім Н. А.* Особливості стійкості мохів до водного дефіциту на девастованих територіях видобутку сірки // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. 2012. Т. 3(10). № 1. С. 191–198.
12. *Крамер П., Козловский Т.* Физиология древесных растений. М.: Лесн. пром-сть, 1983. 252 с.
13. *Кушніренко М. Д.* Методи оцінки засухоустойчивости плодовых растений. Кишинев: Штиинца, 1975. 22 с.
14. *Лакін Г. Ф.* Биометрия: учеб. пособие для биол. спец. вузов. 4-е изд. М.: Высш. школа, 1990. 352 с.
15. *Лобачевська О. В.* Мохоподібні породних відвалів Червоноградського гірничо-промислового району // Чорноморськ. ботан. журнал. 2012. Т. 8. № 1. С. 67–76.
16. *Лобачевська О. В.* Мохоподібні як модель дослідження екофізіологічної адаптації до умов природного середовища // Чорноморськ. ботан. журнал. 2014. Т. 10 № 1 С. 48–61.
17. *Ніколайчук В. І., Белчгазі В. Й., Білик П. П.* Спецпрактикум з фізіології і біохімії рослин. Ужгород, 2000. 210 с.
18. *Нестерова Н. Г.* Особливості водного режиму декоративних деревних рослин у м. Київ // Садівництво. 2012. Вип. 66. С. 168–172.
19. *Нестерова Н. Г., Григорюк І. П.* Особливості водного режиму деревних видів рослин в екологічних умовах м. Київ // Збалансоване природокористування. 2013. № 2–3. С. 89–95.
20. *Слейчер Р.* Водный режим растений. М.: Мир, 1970. 265 с.
21. *Chapin F. S., Shaver G. R.* Individualistic growth response of tundra plant species to environmental manipulations in the field // Ecology. 1985. Vol. 66. P. 564–576.
22. *Glime G. M.* Bryophyte ecology // 2006. <http://www.bryoecol.mtu.edu>
23. *Proctor M. C. F., Tuba Z.* Poikilohidry and homoiohydry: antithesis or spectrum of possibilities New Phytologist. 2002. Vol. 156. P. 327–349.
24. *Turetsky M. R.* The Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling // The Bryologist. 2003. Vol. 106. N 3. P. 395–409.

Стаття: надійшла до редакції 14.09.17

доопрацьована 22.11.17

прийнята до друку 12.12.17



**WATER REGIME OF THE MOSS *CERATODON PURPUREUS* (HEDW.)  
BRID. ON THE COAL MINES DUMPS OF THE CHERVONOHRAD  
MINING-INDUSTRIAL AREA**

**S. Beshley, R. Sokhanchak**

*Institute of Ecology of the Carpathians, NAS of Ukraine  
11, Stefanyk St., Lviv 79005, Ukraine  
e-mail: beshley.stepan@gmail.com*

Changes of the water regime of the moss *Ceratodon purpureus* on various elements of the mesorelief of the coal mines dumps in the Chervonohrad mining-industrial area have been studied. It was shown that the water shortage of the moss in the base, on terraces, slope and at the top of the investigated dumps was 58–77 % in the summer, however, plants continued their growth and development under such conditions due to the high water retention capacity (94–99 %) and rapid water regeneration (238–449 %). The water deficit of the moss varied from 6 % to 34 % in the autumn. Such state is normal for the plant organisms functioning and it is associated with the approach to the optimum conditions of species existence, in particular, the increase in humidity 2–3 times as much and the decrease in temperature by 2 times compared to the summer months. High water retention capacity and intensive processes of water regeneration of this moss gametophyte cause its resistance to drought as a result of reduction of water losses under conditions of water deficit. Such features of the water regime of *C. purpureus* allow it to grow both in the damp shady localities, and in open light areas with less humidity of the air and the substrate.

*Keywords: Ceratodon purpureus, water level, water shortage, water retention capacity, dumps of coal mines*