

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ

Інститут екології Карпат

На правах рукопису

**КАРПІНЕЦЬ Людмила Іванівна**

УДК 582.32+570.84.2+662. 271.4+631.484

**БРІОФІТНІ УГРУПОВАННЯ ТА ЇХ РЕНАТУРАЛІЗАЦІЙНА РОЛЬ НА  
ПОРОДНИХ ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ  
ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ**

03.00.16 – екологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня  
кандидата біологічних наук

Науковий керівник:  
кандидат біологічних наук,  
старший науковий співробітник  
**Лобачевська Оксана Василівна**

Львів – 2017

**ЗМІСТ**

<b>ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ .....</b>	<b>4</b>
<b>ВСТУП .....</b>	<b>5</b>
<b>РОЗДІЛ 1. РОЛЬ МОХОВОГО ПОКРИВУ У РЕНАТУРАЛІЗАЦІЇ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА.....</b>	<b>10</b>
<b>РОЗДІЛ 2. ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ .....</b>	<b>14</b>
2.1. Типи досліджуваних породних відвалів вугільних шахт, способи та ступінь їх рекультивації .....	14
2.2. Опис шахтних відвалів: кліматичні умови та фізико-хімічні властивості субстратів .....	22
2.3. Особливості поширення мохоподібних на девастрованих територіях видобутку вугілля .....	30
<b>РОЗДІЛ 3. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ .....</b>	<b>34</b>
<b>РОЗДІЛ 4. СИСТЕМАТИЧНА, БІОМОРФОЛОГІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРИ МОХОПОДІБНИХ БРІОФІТНИХ СИНУЗІЙ НА ШАХТНИХ ВІДВАЛАХ.....</b>	<b>40</b>
4.1. Систематична структура мохоподібних .....	40
4.2. Аналіз структури життєвих форм бріофітних синузій.....	59
4.3. Екологічні групи бріофітів залежно від зволоженості, трофності та хімізму техногенного субстрату .....	60
4.4. Диференціація мохоподібних за географічними елементами у трансформованому середовищі .....	65
<b>РОЗДІЛ 5. ОЦІНКА ВПЛИВУ БРІОСИНУЗІЙ НА УМОВИ СУБСТРАТІВ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ .....</b>	<b>68</b>
5.1. Порівняльний аналіз сезонних змін едафічних умов (вологості, температури, рН) під моховими дернинами та у субстраті без	

	3
рослин залежно від положення на відвалах.....	68
5.2. Визначення рівня нагромадження біогенних елементів (N, P, K, Ca, Na) під бріофітним покривом та їх специфіка акумуляції у клітинах рослин .....	82
5.3. Оцінка вмісту органічного Карбону під моховою дерниною як показника ініціації формування акумулятивно-органічного шару...	90
5.4. Аналіз вмісту мікроелементів у мохових дернинах та техногенних субстратах в мінливих умовах існування .....	92
5.5. Дослідження еколого-трофічних груп мікробіоти під моховим покривом у мінливому середовищі шахтних відвалів.....	98
<b>РОЗДІЛ 6. БІОХІМІЧНІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БРІОФІТІВ У ТРАНСФОРМОВАНИХ УМОВАХ ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ .....</b>	<b>101</b>
6.1. Біохімічні аспекти пристосування мохоподібних до екологічних умов техногенного середовища .....	101
6.1.1. Сезонна динаміка вмісту пігментів фотосинтезу у пагонах <i>Ceratodon purpureus</i> залежно від умов місцезростання на відвалах .....	101
6.1.2. Визначення хлорофільного індексу як показника фотосинтетичної продуктивності бріофітних синузій.....	105
6.1.3. Оцінка вмісту біологічно активних речовин (фенольних сполук, розчинних цукрів та вільного проліну) у гаметофіті моху <i>Ceratodon purpureus</i> в мінливих умовах існування .....	109
6.2. Вплив екстрактів з мохових дернин та техногенних субстратів на проростання насіння в модельних біотестах .....	114
<b>РОЗДІЛ 7. УЧАСТЬ БРІОФІТНИХ СИНУЗІЙ У ВІДНОВЛЕННІ ДЕВАСТОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....</b>	<b>122</b>
<b>ВИСНОВКИ .....</b>	<b>129</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....</b>	<b>131</b>

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ЧГПР – Червоноградський гірничопромисловий район

ЦЗФ – Центральна збагачувальна фабрика

ГДК – гранично допустима концентрація

ФС – фенольні сполуки

XI – хлорофільний індекс

м. с. р. – маса сирої речовини

Xл *a* – хлорофіл *a*

Xл *b* – хлорофіл *b*

Xл/К – співвідношення хлорофілів до каротиноїдів

СБР – субстрат без рослин

ВЩД – висока щільна дернина

НЩД – низька щільна дернина

ПП – пухке плетиво

ЩП – щільне плетиво

О – однодомний

Д – дводомний

С – статеве (розмноження)

Б – безстатеве (розмноження)

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Економічний розвиток в Україні потребує залучення значних обсягів природних ресурсів, що призводить до дисбалансу в екологічних системах від найменшої – консорційної до біосфери в цілому. Надмірна антропогенна діяльність стала причиною для трансформації структурних компонентів екосистем, порушення їхніх трофічних зв'язків, функціональної здатності та речовинно-енергетичного обміну [32; 112].

У низці наукових публікацій екологічного спрямування за останні роки переважають глобальні та національні прогнози, спрямовані на оцінку майбутнього стану біосфери і значно менше програм досліджень територій регіонального і, особливо, локального значення, які приурочені до конкретних антропогенно змінених територій, до яких належать і породні відвали вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР). Оскільки рослинний покрив виконує визначальну роль у функціональній здатності трансформованого середовища до відновлення, вагомим аспектом є запровадження методів, які передбачають біологічну рекультивуацію порушених територій [87; 30]. Як правило, такі методи спрямовані на проведення штучних насаджень деревними та трав'яними рослинами. Однак досить мало уваги приділяється участі самовідновлюваних, адаптованих до антропогенно трансформованого середовища компонентів нових екосистем, які здатні якісно та кількісно змінити властивості техногенних субстратів.

У дослідженнях, присвячених рекультивації трансформованих територій, а саме біологічній рекультивації, основна увага спрямована на вищі судинні рослини як домінанту фітомеліорації. Дослідженню бріофітів, як піонерній компоненті ренатуралізації, присутній майже в усіх едафотобах, приділено значно менше уваги. Окремі дослідження приурочені вивченню видового складу мохоподібних на шахтних відвалах [98; 92; 84], динаміки заростання кар'єрних відслонень [129] та антропогенно змінених територій

видобутку сірки [124; 125], однак участь мохоподібних у сукцесії рослинного покриву, зокрема на породних відвалах вугільних шахт, та їх роль у трансформації девастрованих територій досі залишається мало вивченою.

Тому існує нагальна потреба у поглибленому аналізі відновного потенціалу мохових угруповань в антропогенно змінених екосистемах для прогнозу динаміки та інтенсивності процесів їх ренатуралізації.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дослідження за темою дисертації виконано у відділі екоморфогенезу рослин Інституту екології Карпат НАН України в межах держбюджетних наукових тем: “Фенотипна пластичність та адаптивна здатність мохів, їх роль у ренатуралізації антропогенно трансформованого середовища” (№ державної реєстрації РК 0110U000206) та “Стійкість та адаптивні структурно-функціональні зміни мохів під впливом абіотичних стресорів в умовах антропогенно трансформованого середовища” (№ державної реєстрації РК 0115U002646).

**Мета і завдання дослідження.** Мета роботи – визначення участі бріофітних угруповань у сукцесії рослинного покриву та їх ренатуралізаційної ролі на породних відвалах вугільних шахт різного ступеня рекультивзації на території Червоноградського гірничопромислового району.

Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

- Встановити ранг бріофітних угруповань та їх видовий склад, еколого-біоморфну та географічну структури бріофлори залежно від положення та ступеня рекультивзації на породних відвалах вугільних шахт.
- Визначити участь бріофітів у стабілізації водно-температурного мікрорежиму та кислотності верхнього шару техногенних субстратів.
- З'ясувати роль мохоподібних у нагромадженні біогенних елементів (N, P, K, Ca, Na) та органічного Карбону у верхньому шарі субстрату як показника ініціації формування органо-аккумулятивного шару субстрату.
- Дослідити рівень нагромадження моховим покривом та у субстраті під ним важких металів залежно від положення на шахтних відвалах.

- Визначити сезонну динаміку вмісту пігментів фотосинтезу та показники хлорофільного індексу бріосинузій в антропогенно трансформованому середовищі.

- Проаналізувати вміст біологічно активних речовин (вуглеводів, фенолів, вільного проліну) у клітинах бріофітів залежно від сезонних змін та умов їх існування.

*Об'єкт дослідження* – бріофітні синузії породних відвалів вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району.

*Предмет дослідження* – видовий склад, структура бріофітних синузій та їх ренатуралізаційна роль на породних відвалах ЧГПР.

*Методи досліджень* – систематичний аналіз бріофлори, фізіологічні, екологічні, хімічні, біохімічні, статистичні.

**Наукова новизна отриманих результатів.** Уперше проведено аналіз стійких бріофітних угруповань на шахтних відвалах ЧГПР залежно від положення та ступеня рекультивації відвалів. Встановлено ранг мохових угруповань як епігейних синузій, співвідношення біоморф та екоформ, диференціацію бріофлори за еволюційно-географічними елементами на території породних відвалів, оцінено участь бріофітних заростань в оптимізації водно-температурного режиму та актуальної кислотності, депонуванні органіки, стимуляції розвитку і збільшення різноманіття гетеротрофної та азотфіксуючої мікрофлори у верхньому шарі субстрату. Досліджено роль мохового покриву у збагаченні техногенного субстрату елементами живлення та їх особливості акумуляції у гаметофіті моху. Вперше оцінено внесок бріофітних синузій у первинну продуктивність техногенних ландшафтів видобутку вугілля і встановлено особливості функціонування фотосинтетичного комплексу мохоподібних залежно від умов локалітетів у техногенному середовищі. Визначено адаптивні стрес-реакції мохів у бріосинузіях в умовах шахтних відвалів.

**Практичне значення.** Отримані результати поглиблюють знання про участь бріосинузій у відновленні субстратів техногенних ландшафтів

видобутку вугілля залежно від ступеня їх рекультивації. Вивчення адаптивної здатності мохів до дії стресових чинників в умовах шахтних відвалів може слугувати теоретичною базою для фіторемедіації та підвищення стійкості фітоценозів на техногенних територіях видобутку вугілля. Будуть розроблені методичні підходи щодо комплексної оцінки участі бріофітних синузій у сукцесіях рослинного покриву на субстратах породних відвалів вугільних шахт, визначені критерії їх ренатуралізаційної ролі, які стануть основою для розробки програми моніторингу відновлення техногенних територій.

Результати дисертаційної роботи використовуються у наукових дослідженнях, при виконанні курсових і дипломних робіт, навчальному процесі кафедри фізіології та екології рослин Львівського національного університету імені Івана Франка у викладанні спецкурсів “Екологія рослин та ґрунтів” і “Фітоімунологія”.

**Особистий внесок здобувача.** Основні результати дисертаційної роботи отримано здобувачем самостійно. Протягом 2012-2016 років дисертант особисто здійснила основний обсяг експериментальної частини дисертації, статистичної обробки результатів, підбору й опрацювання літературних джерел. За участю наукового керівника визначено напрямки та розроблено схеми польових досліджень, а також спільно із співавторами проведено аналіз та інтерпретацію отриманих результатів. Права співавторів публікацій при написанні дисертації та автореферату не порушено. В опублікованих у співавторстві працях частка особистої участі автора становить 45 – 80 %.

**Апробація результатів.** Основні положення дисертаційної роботи представлено у доповідях на IX, X, XI Міжнародних наукових конференціях студентів і аспірантів “Молодь і поступ біології” (Львів, 2013, 2014, 2015); наукових конференціях “Стан та біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку” (Шацьк, 2013, 2014, 2015); II Міжнародній науково-практичній конференції “Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи” (Львів, 2015); 65



науково-технічній конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2014 році “Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем” (Львів, 2015); IV Международной научной экологической конференции “Проблемы рекультивации отходов быта, промышленного и сельскохозяйственного производства” (Краснодар, 2015); Міжнародній науково-практичній конференції “Актуальні питання розвитку біології та екології” (Вінниця, 2016 р.); Всеукраїнській науково-практичній конференції “Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України” (Полтава, 2016).

**Публікації.** За матеріалами дисертації опубліковано 17 наукових праць, у тому числі 6 статей у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних (Біологічні студії / *Studia Biologica*; Вісник Львівського університету. Серія біологічна; Вісник Харківського університету. Серія: біологія) та 11 тез доповідей.

**Структура та обсяг дисертації.** Дисертаційну роботу викладено на 130 сторінках машинописного тексту. Робота складається із вступу, 7 розділів, що містять 26 таблиць, 19 рисунків, висновків та списку використаних джерел. Список літератури налічує 208 найменувань, з них 54 – латиницею. Загальний обсяг дисертації разом із списком використаної літератури становить 153 сторінки.

## РОЗДІЛ 1

### РОЛЬ МОХОВОГО ПОКРИВУ У РЕНАТУРАЛІЗАЦІЇ АНТРОПОГЕННО ТРАНСФОРМОВАНОГО СЕРЕДОВИЩА

В процесі еволюції мохоподібні сформували альтернативні стратегії для збереження життєдіяльності та ефективного поширення на планеті, розвиваючись окремим від судинних рослин самостійним філогенетичним напрямом [93].

Специфічність морфологічної будови дернин дає можливість бріофітам заселяти досить різні типи субстратів: каміння (епіліти), гнилу деревину (епіксили), дерева (епіфіти) та ґрунти (епігеї), а також значний арсенал пристосувань (форма росту, життєві стратегії, розмноження: статеве, безстатеве та ін.) робить їх надзвичайно пластичними, що сприяє їхньому поширенню у досить мінливих умовах середовища та участі як у формуванні поверхневого ґрунтового шару у первинних сукцесійних процесах, так і подальшому функціонуванні сформованих фітоценозів.

Встановлено, що моховий покрив сприяє нагромадженню органічної речовини у субстраті, а також відіграє важливу роль у колообігу поживних речовин в екологічних системах [194;135; 202].

Показано, що в екосистемах оліготрофних боліт середньої тайги Західного Сибіру запас Нітрогену як у живій фотосинтезуючій, так і бурій частинах сфагнових мохів, порівняно з зеленою фіто- та мортмасою трав та кущів, був найбільшим. Окрім того, відзначено найвище співвідношення C:N у сфагнових мохах, що вказує на здатність цих рослин накопичувати та тривалий час зберігати елементи живлення у формі торф'яного шару [106].

Одні із перших досліджень участі мохоподібних у відновних процесах трансформованих територій на Україні приурочені до відвалів вугільних шахт її південного сходу – Донбасу [98; 29].

В окремих публікаціях показано, що незалежно від механізму накопичення та кількості поглинутих металів, хімічний склад моху відображає вміст елементів у середовищі [189; 103]. Проведений аналіз на шахтних відвалах Донбасу підтвердив такі результати: рівень нагромадження елементів у мохах *Bryum argenteum* Hedw. та *B. caespiticium* Hedw., свідчив про ступінь забруднення техногенних територій. Тому ці токсикотолерантні види мохів рекомендовані як індикатори у системі моніторингу при вивченні стану середовища [98; 29]. Окрім того, іншими дослідниками встановлено, що гаметофіти моху здатні акумулювати в 5–10 разів більше важких металів, ніж вищі судинні рослини [171], що може бути адекватним показником ступеня забруднення трансформованих територій.

Деякі новіші роботи присвячені дослідженням ролі мохового покриву у відновленні субстратів на породних відвалах Червоноградського гірничопромислового району [136]. Встановлено, що мох *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. на відвалі шахти “Надія” значно впливав на хімічну реакцію субстрату. Мохова дернина завдяки специфічним особливостям її метаболізму знижувала кислотність техногенного субстрату до слабокислої реакції [136], що сприяло вивільненню у ґрунтові розчини мінеральних сполук [91;92], та, в свою чергу, зумовило більшу доступність поживних речовин для рослин, які оселяються на техногенних відслоненнях. Окрім того, *C. introflexus* сприяв накопиченню макроелементів у техногенному субстраті (K, Ca, Mg).

На основі аналізу ферментативної активності субстратів на відвалах вугільних шахт “Надія”, “Візейська” та ЦЗФ ЧГПР встановлено, що у пробах породи, взятої із субстрату без рослин, встановлено нижчу каталазну активність, порівняно із пробами, відібраних під мохом. Водночас активність каталази залежала і від віку терикону та значення рН водного ґрунтового розчину [86].

Результати досліджень функціональної ролі мохів на території відвалу №1 Язівського сірчаного родовища ДГХП “Сірка”, що на Яворівщині,

свідчать, що моховий покрив позитивно впливав на мінеральний склад технозему, збагачуючи його біогенними елементами, зокрема Нітрогеном та Фосфором. Також відзначений безпосередній вплив бріофітів на формування приповерхневого органічно-аккумулятивного шару внаслідок відмирання частин мохових дернинок [65;67], в якому можна розрізнити генетичні горизонти [118].

Проведений аналіз участі бріофітного покриву в стабілізації умов середовища на території Немирівського родовища сірки дав можливість встановити, що мох *Dicranella cerviculata* (Hedw.) Schimp. покращував умови субстрату (зниження кислотності, стабілізація водного режиму), тим самим сприяв нормальному функціонуванню та життєдіяльності ґрунтової біоти, а також формуванню рослинного покриву [153].

Оселяючись на субстратах, піонерні види мохоподібних чинять на нього не тільки хімічний, а й механічний вплив. Так, на вугільних та залізородних родовищах Північної Америки визначено, що бріофіти механічно фіксують нестійкий субстрат на схилах, перешкоджаючи розсіюванню його дрібних часток та зменшують прогресування ерозійних процесів [189]. Важлива роль у цих процесах належить бріофітам, які формують біоморфну структуру щільної дернини з густою ризоїдною повстю. Завдяки густій ризоїдній сітці, яка пронизує субстрат, моховий покрив підвищує його пористість та збагачує його киснем та вологою [67]. Слід відзначити, що форма росту щільної дернини протаманна видам-поселенцям, які є піонерами заселення трансформованих територій [191]. Заселяючи техногенні субстрати відвалів вугільних шахт Донбасу, мохоподібні механічно затримують невеликі продукти руйнування породи, пил та накопичують атмосферну вологу [98].

На підставі результатів дослідження встановлено, що дернини моху *Polytrichum piliferum* Hedw. сприяли як виживанню ранньовесняних видів рослин, так і тих, які проростають на початку літа за високої температури повітря [161]. Завдяки своїм специфічним фізіологічним властивостям мохи

нівелюють сезонні та денні зміни температурного режиму. Відомо, що моховий покрив захищає насіння судинних рослин від дії екстремальних температур і підвищує життєздатність їх проростків [161].

На кар'єрних комплексах з видобутку піску, для якого характерним є лужна реакція середовища, моховий покрив змінював рН значення в бік підкислення, тим самим інтенсифікував акумуляцію органічної речовини у приповерхневому шарі субстрату. Встановлено, що після завершення видобувних робіт відслонення заселяють *Bryum argenteum*, *B. caespitium*, *Barbula unguiculata* Hedw., *Tortula muralis* Hedw., *Funaria hygrometrica* Hedw., *Aloina rigida* (Hedw.) Limpr., *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. та ін. Спочатку моховий покрив поширюється у формі невеликих плям, які з часом збільшуються та зникаються, досягаючи значного проективного покриття. Впродовж розвитку мохових угруповань у техносубстраті збільшується відсоток органічного Карбону [128].

Отже, бріофітний покрив, який здатний заселяти будь-які типи субстратів та проявляти значну толерантність до екологічного навантаження середовища існування, чинить позитивний вплив (механічний, хімічний) на умови едафотопу та сприяє виживанню проростків судинних рослин, забезпечуючи поверхневий шар субстрату необхідними елементами живлення.

## РОЗДІЛ 2

### ПРИРОДНО-КЛІМАТИЧНІ УМОВИ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

#### **2.1. Типи досліджуваних породних відвалів вугільних шахт, способи та ступінь їх рекультивації**

Унаслідок підземного видобутку вугілля в Україні щорічно на поверхню літосфери виноситься біля 40 млн. м<sup>3</sup> породи, що призводить до вилучення значних площ родючих земель із господарської діяльності та забруднення навколишнього середовища нехарактерними для природних циклів як хімічними елементами, так і їхніми сполуками [34].

Червоноградський гірничопромисловий район (ЧГПР), який займає площу 180 км<sup>2</sup>, є основним районом видобутку кам'яного вугілля у Львівсько-Волинському вугільному басейні. В його межах залягає 694,5 млн т корисних копалин, що становить 70-90 % усіх балансових запасів басейну. Вагоме значення для промисловості мають пласти вугілля потужністю понад 0,6 м, що залягають на глибині 315 – 535 м. Близько 70 % площі ЧГПР розміщено в межах фізико-географічної області Малого Полісся із властивою для неї високою зволоженістю і помірним температурним режимом [57]. В межах Червоноградського гірничопромислового району розташовано дванадцять вугільних шахт. Під породні відвали відведено 211 га його території (рис. 2.1.1), де на площі біля 30 км<sup>2</sup>, на яку припадає суттєве техногенне навантаження, розміщено сім вугільних шахт, а також проживає значна чисельність населення [14; 5]. Унаслідок вилучення з надр землі великих обсягів корисних копалин на поверхню літосфери виносяться і глибинні породи, з яких формують відвали – насипи різних форм (плоска, конічна, хребтова). Такі специфічні екотопи значно відрізняються від

вихідних екосистем за біогеохімічним, мікрокліматичним та гідрологічним режимами.

На досліджуваній території ЧГПР на околицях міста Соснівки знаходяться: п'ятирусний, незарослий та частково рекультивований відвал Центральної збагачувальної фабрики (ЦЗФ) “Червоноградська”, рекультивований (унаслідок нанесення шару ґрунтосуміші) терикон діючої шахти “Надія” та природно зарослий відвал недіючої шахти “Візейська”.



Рис. 2.1.1. Породні відвали вугільних шахт на території Червоноградського гірничопромислового району та ступінь їх рекультивації: 1 – шахта “Степова”, 2 – шахта “Червоноградська”, 3 – шахта “Лісова”, 4 – шахта “Відродження”, 5 – шахта “Великомостівська”, 6 – шахта “Межирічанська”, 7 – шахта “Бендюзька”, 8 – шахта “Зарічна”, 9 – шахта “Візейська”, 10 – ЦЗФ, 11 – шахта “Надія”, 12 – шахта “Великомостівська №5”.

Відсіпання відвалу однієї з найстаріших шахт “Візейська” розпочалося у 1960 р. Його висота сягає 30 м, площа основи понад 10 га. Дорога, яка

піднімається на верхню частину відвалу, посічена впереміш заглибинами та насипами. Лінійні ерозійні процеси характерні для південної експозиції терикону, що пов'язано із значною крутизною схилів, що призводить до зсуву, вимивання гірських порід, а також їх малою водопроникністю та бідністю рослинного покриву [55]. Із східного боку відбулось нарощування терикону у довжину та з'єднання його із відвалом ЦЗФ. Сучасний рослинний покрив верхньої частини, схилів та підніжжя відвалу з'явився внаслідок самозаростання і представлений здебільшого сосною, вільхою та березою [14].

Порода відвалу уламково-зерниста здебільшого чорного, червоного та сірого кольорів. Мінеральний компонент відкладів утворений сумішшю метаморфізованих піщаних та глинистих мінералів. Гранулометричний склад приповерхневого шару субстрату представлений переважно брилами та гравієм (до 75% від загальної маси) [55].

Результати радіоекологічного аналізу ключової ділянки, розміщеної в межах терикону шахти "Візейська" свідчать, що рівень експозиційної дози для цієї місцевості змінюється від 8 до 12 мкР/год і максимально досягає 25-30 мкР/год, що суттєво перевищує рівень геохімічного фону прилеглих територій, який становить 5-6 мкР/год [55] (рис. 2.1.2).

За результатами проведеного вимірювання іонізуючого фотонного випромінювання у місті Червонограді, яке є центром вугледобувного району, встановлено, що потужність еквівалентної дози іонізуючого випромінювання була вищою, ніж в інших місцях, а на окремих ділянках Львівсько-Волинського вугільного басейну перевищувала середній показник (0,11 мкЗв/год) та 0,25 мкЗв/год, тоді як допустима доза радіаційного фону становить 0,3 мкЗв/год [123].

За санітарно-гігієнічними висновками аналізу рівнів забруднення атмосферного повітря у Червонограді в періоди 2001-2010 рр. встановлено перевищення гранично допустимих концентрацій у повітрі таких



забруднювачів, як пил, сажа, діоксидів Нітрогену та Сульфуру, оксиду Карбону та сірководню [33].

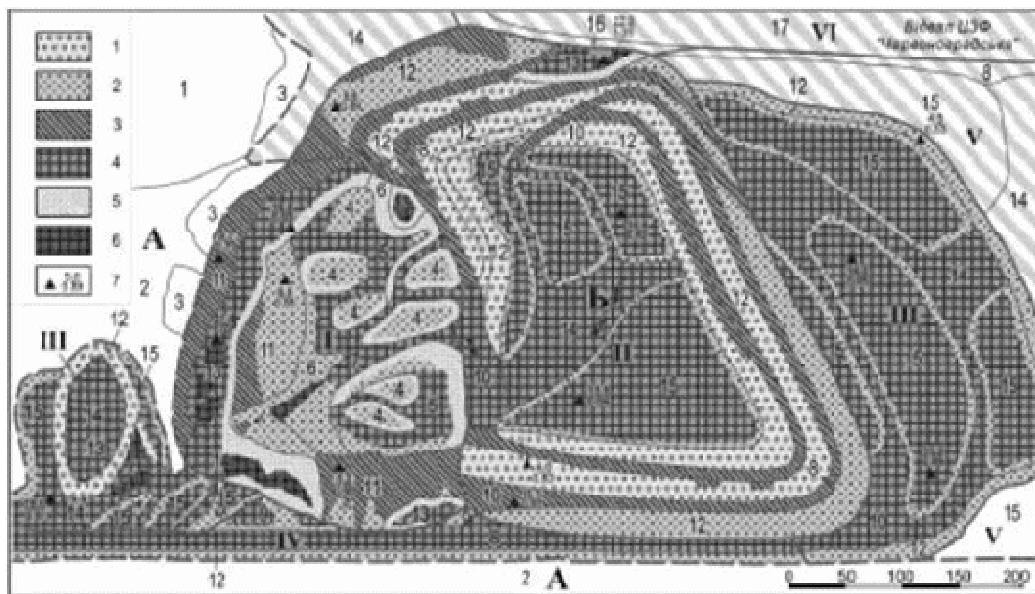


Рис. 2.1.2. Геохімічне та радіоактивне забруднення терикону шахти “Візейська”. Умовні позначення: Ландшафтно-геохімічні зони (в дужках – відношення сумарного геохімічного забруднення за 8 хімічними елементами (Co, Cu, As, Ni, Pb, Cr, Zn, Mn) до ГДК): 1 – менше 5; 2 – 5,0-8,0; 3 – 8,1-12,0; 4 – 12,1-16,0; 5 – 16,1-20,0; 6 – більше 20. 7 – показники геохімічного забруднення у точках комплексного дослідження, у чисельнику – відношення сумарного геохімічного забруднення до ГДК, у знаменнику – дозове радіоактивне навантаження мЗв/рік [55].

Отримані результати аналізу підтериконної води шахти “Візейська”, які проводили у відомчій лабораторії ДП “Львіввугілля”, свідчать, що показник кислотності становив до 4,1, вміст сульфатів – до 1018 мг/л, Mn – 5,24 мг/л. Хоча відсіпання терикону завершене в 70-х роках минулого сторіччя, за результатами температурних зйомок на ньому зафіксовано ділянки самозаймання шахтної породи, внаслідок чого температурний показник на поверхні субстрату досягав 128 °C [2].

Із літературних джерел відомо, що інтенсивність і тривалість процесів горіння породних відвалів залежить від багатьох факторів і триває декілька десятиріч, в окремих випадках більше 50 років [78].

Породний відвал ЦЗФ “Червоноградська” висотою 65 м та площею понад 76 га, складається із 5 ярусів, які відділяються терасами. Велика площа відвалу і наявність схилів з нахилом понад 45 % обумовлюють великі об’єми водних стоків – до 0,118106 м<sup>3</sup>/рік з розрахунку 0,00375 м<sup>3</sup>/с, з якими потрапляють в навколишні території ряд токсичних сполук [5]. Навколо відвалу проведена дренажна канава, глибина та ширина якої більша, ніж 1м.

Для породного терикона, зокрема крутих та обривчастих схилів, характерною є активність ерозійно-денудаційних процесів, які супроводжуються вивітрюванням легких елементів породи, її осипанням, зсувами і площинним зливом фракцій переважно у формі уламково-зернистих утворень, гравію та брил. Нестійкий рельєф відвалу має тенденцію до рухомості. Субстрати представлені перегорілою породою червоного кольору різноманітних відтінків із зміненими структурними особливостями внаслідок складних літологічних метаморфізмів, що відбувались під впливом термічних процесів, і чорний (не перегоріла, для якої характерний природний чорно-сірий колір) [7] (рис. 2.1.3).

Встановлено, що у червоній породі відвалу ЦЗФ “Червоноградська”, утворюються більш стійкі рівноважні структури, ніж у чорній, внаслідок окиснення йонів металів у субстраті до вищого ступеня та насичення його незв’язаною водою під впливом вологого повітря [16].

На окремих ділянках відвалу відзначено прошарки сірки та вицвіти солей. Виявлено, що з кожного терикона щорічно може вилуговуватись близько 6 т солей [34].

Для північної експозиції відвалу ЦЗФ характерна фрагментованість рослинного покриву, із південного сторони терикону присутні елементи насадження сосни та берези. Із південного та східного боків ЦЗФ “Червоноградська” здійснюється інтенсивне відсипання породи із

збільшенням площі першої тераси. Періодично на відвалі з'являються ділянки самозаймання, зазвичай із західної та південної експозицій.



Рис. 2.1.3. Ерозійні процеси на відвалі ЦЗФ “Червоноградська”.

Останнім часом найбільш масштабний процес горіння породи охопив південну частину терикону, який супроводжувався виділенням їдкового диму та значним підвищенням температури субстрату. Так, в приповерхневому шарі технозему на глибині до 10 см температурний показник сягав 180 °С. На відстані до 200 м від джерела самозаймання відзначено зміну забарвлення рослинного покриву, ймовірно, в результаті дії токсичних випарів, що поширювались на значні площі. Внаслідок горіння породи субстрат відвалу став більш пористим, а на його поверхні помітні сірчаноокислі зони.

Встановлено, що при відкритому горінні шахтних відвалів у повітря потрапляє значна кількість забруднюючих речовин, а їх концентрації в десятки разів перевищують гранично допустимі норми [81]. Так, результати дослідження на шахтних відвалах ЧГПР показали, що внаслідок горіння з 1 м<sup>3</sup> терикону протягом доби в атмосферу потрапляє 10 кг оксиду Карбону, 6,3 кг сірчаного ангідриду, 0,6 кг сірководню й оксиди Нітрогену [69].

При горінні породних відвалів вугледобувних районів Донбасу встановлено, що атмосферне повітря забруднюється горючими газами на відстані до 3000 м, а пилом – до 1000 м [78]. Тобто під дію токсичних поліутантів можуть потрапляти не тільки флора і фауна на прилеглих територіях, а й місцеве населення. Окиснення і горіння породи, яка збагачена вуглистою речовиною, супроводжується викидами широкого спектра летких речовин (феноли, формальдегід, моноетаноламін, дифенілопропан та ін.) [2]. Під час горіння вугілля у відвалі порода зазнає впливу температури до 1500°C [57]. Окрім того виявлено, що майже 30 % об'єму всіх викидів в атмосферу становить зола, у якій містяться оксиди Фосфору та понад 60 мікроелементів [19]. Окрім токсичних випарів, на відвалах утворюються і небезпечні стоки води, яка забруднена низкою отруйних хімічних сполук [23].

Відвал шахти “Надія” розміщений на околиці міста Соснівки і експлуатується із 1962 р. Його висота становить 42 м, площа основи – 12 га. По обидва боки відвал оточений деревною рослинністю, з інших – дачними ділянками. На верхній його частині наявні насипи, пониження та ділянки самозаростання.

Відвал утворюють перегорілі та неперегорілі породи, на спечених шматках яких трапляються сірчаноокислі зони. На його бічних поверхнях наявна лінійна ерозія. Місцями схили терикону є досить стрімкими й обривчастими та утворюють вертикальні стінки. Із південно-східної сторони вершини відвалу та його західної частини відбувається інтенсивне відсіпання шахтної породи, внаслідок чого рельєф терикона ще більше ускладнюється. На відвалі спостерігаються місця самозаймання, зокрема на його вершині (рис. 2.1.4). З метою попередження більш масштабного поширення процесів горіння відвалу на такі ділянки наносять шар ґрунтосуміші з піску та глини.

Девастація ландшафтів та трансформація екологічних систем унаслідок активного антропогенного впливу у сфері діяльності вугледобувної

промисловості зумовили створення та розвиток науково-практичної бази для розробки та впровадження рекультивації на порушених територіях з метою мінімізації негативного впливу чинників відвалів та повернення трансформованих земель до стану, який забезпечить існування живих організмів та відновлення господарської діяльності [87; 135; 97; 30; 31].



Рис. 2.1.4. Випари їдких газів унаслідок горіння на вершині відвалу шахти “Надія”.

Рекультивація земель передбачає відновлення рельєфу, ґрунтового покриву та гідрогеологічних умов змінених територій внаслідок винесеної на поверхню літосфери супутньої вугільним пластам токсичної породи, що зазнає на поверхні землі термодинамічного впливу.

За ступенем рекультивації шахтні відвали поділяють на: нерекультивовані – інженерно-технічну роботу та біологічний етап рекультивації на них не проводили, але для ліквідації процесів горіння окремі відвали були переформовані; субстрат представлений негорілими та перегорілими породами, присутні ділянки самозаростання деревною

рослинністю. На відвалі шахти “Візейська” будь-яких етапів рекультивації не здійснювали. Впродовж тривалого часу після завершення відсипання шахтної породи в силу природних процесів відбулось поширення рослинного покриву відвалу з усіх експозицій, більшою мірою – з північної; рекультивовані – на першому підготовчому етапі рекультивації відвалів здійснюють планувальні роботи щодо проведення інвентаризації території: встановлення координат місцезнаходження об'єкта, його площі, якісного та кількісного складу викидів в атмосферу і промислових стоків внаслідок його діяльності, виявлення зон найбільш уразливих до забруднення тощо. Гірничотехнічний етап роботи передбачає створення певних форм рельєфу відвалів, мережі під'їзних доріг, планування поверхні, вирівнювання схилів, а також нанесення шару ґрунтосумішей. Біологічний етап рекультивації передбачає висаджування окремих видів лісокультур з метою їх поширення на відвалах та, внаслідок складної взаємодії зонально кліматичних і конкретних екологічних умов, формування природних фітоценозів.

На відвалі шахти “Надія” проведено терасування схилів та здійснюється нанесення супіщаного та суглинкового шару на поверхню технозему. Свого часу на відвалі проведено окремі насадження лісокультур: *Robinia pseudoacacia* L. та *Betula pendula* Roth.

На діючому та частково рекультивованому відвалі ЦЗФ з метою підвищення стійкості поверхні відвалу – попередження масштабних зсувів та вимивань нестійкого субстрату – проводять технічну роботу – терасування схилів.

## **2.2. Опис шахтних відвалів: кліматичні умови та фізико-хімічні властивості субстратів.**

Літологічна будова породних відвалів, а також різні ендо- та екзотермічні процеси на териконах створюють передумови для формування

особливого мікроклімату, який значно відрізняється від типових кліматичних умов навколишніх територій [78].

Унаслідок специфічного поєднання умов на відвалах: складного рельєфу поверхні субстратів, які швидко окислюються із виділенням тепла та токсичних випарів, значної висоти над рівнем навколишньої території (до 70 метрів), крутизни схилів до 30–40°, які з віком (20–40 років) збільшуються до 25–30° [78], висока теплоємність породного субстрату спричиняють контрасти у поглинанні сонячної енергії, змінюють вітровий режим, зумовлюють специфічний перерозподіл вологи, що по-особливому впливає на процеси росту і розвитку рослин, зокрема, мохоподібних. Тому породні відвали вугільних шахт масово заселяють екологічно пластичні види мохів – піонери і рудерали, та спорадично, в гетерогенних мікроумовах – рідкісні бріюфіти [90; 92]. Кількість атмосферних опадів на території Червоноградського гірничопромислового району є оптимальною для формування та розвитку рослинного покриву. Однак водно-температурний режим териконів негативно впливає на повноцінне функціонування рослинних організмів. Так, у липні із незначною часткою опадів температура повітря на поверхні відвалів піднімається до 65°C. За впливу інтенсивної сонячної радіації темна шахтна порода швидко нагрівається, втрачаючи всю доступну вологу на глибину до 30 см [14].

Унаслідок постійної мінливості показників температури та вологи на відвалах часто спостерігаються зсуви та змиви нестійкого субстрату низхідними потоками дощової води. Вона разом із пилом при вивітрюванні породи прямо чи опосередковано впливають на рослинні організми та населення цієї території, спричиняючи його захворювання [5].

Мікроклімат відвалів змінюється залежно від експозиції та елементів рельєфу: вершина, схил, тераса та підніжжя. Для окремих структур рельєфу породних відвалів характерні екстремальні гідротермічні умови, які визначають векторність розвитку всіх компонентів біоти. Залежно від експозиції, схили відвалів по-різному прогриваються. На досліджуваних



териконах значного впливу сонячної радіації зазнають південні схили, які, відповідно, отримують і найбільшу кількість сонячного тепла, та найменше – північні [13].

Особливості топографії шахтних відвалів та теплоємність їх субстратів сприяють розподілу метеорологічних елементів відносно експозиції схилу та його ярусності, що визначає ступінь зволоження та теплозабезпечення окремих ділянок терикону.

На кліматичні умови району впливає забруднення атмосферного повітря і стаціонарними джерелами викидів – це аспіраційні системи збагачувальної фабрики, котельні шахт, пристрої пароводяних котлів, устаткування для висушування вугілля, дизельний та бульдозерно-грейферний транспорт, що працює на відвалах, а також шкідливі викиди – гази гірничих виробок, які подаються на поверхню вентиляційними пристроями та інші [14].

Внаслідок антропогенної діяльності характерний для Малого Полісся рівнинний рельєф змінюється більш горбистим в результаті насипання шахтної породи та формування породних відвалів, що обумовлює зміну температурного режиму приземного шару повітря. За результатами метеорологічних вимірювань в літній період відзначено перевищення їх показників на оголених субстратах, порівняно із характерними для цього регіону природними ділянками.

Умови техногенного субстрату шахтних відвалів є визначальними в контексті формування рослинного покриву у мінливому середовищі. Вагомим едафічним показником на відвалах є хімічна реакція субстрату, тобто величина рН. Кислотність тією чи іншою мірою сприяє формуванню різних властивостей техноземів, впливає на рухомість хімічних елементів та їх доступність для рослин, склад увібраних катіонів, ємність катіонного обміну, фізичні властивості та ферментативну активність ґрунтів [64]. Встановлено, що для шахтних відвалів характерне низьке значення рН, яке є лімітуючим для росту та розвитку більшості рослинних організмів [14].



Едафічний фактор має визначальне значення тому, що він не лише впливає на організми, але одночасно слугує середовищем існування для багатьох представників флори та фауни.

З'ясовано, що через 10-15 років після завершення відсипання материнської породи кількість мікроорганізмів на глибині до 40 см збільшується до кількох десятків мільйонів на 1 г наважки [142]. Відзначено помітний вплив мікробіоти техноземів відвалів на стійкість та гомеостаз досліджуваних систем, що залежить від термінів їх зберігання [15;16].

У трансформованих умовах техногенного середовища ріст і розвиток рослин перебуває у тісному взаємозв'язку із мікроорганізмами. Одним із прикладів симбіотичного співіснування із рослинами є целюлозоруйнівні мікроорганізми, яким належить вагома роль у процесах гумусоутворення та формування структурних компонентів едафотопу. Взаємодія біотичних та абіотичних чинників є передумовою для виникнення консорції як елементарних екосистем, ядром яких є автотрофний блок. “Саме первинні консорції безпосередньо сприяють створенню біогеоценотичних горизонтів, де акумулюються елементи ґрунтової родючості” [143]. На характер ґрунту, який формується, впливають в основному такі чинники, як кліматичні умови (температурний режим, кількість опадів), властивості мінералів у материнській породі, рослини та ґрунтові мікроорганізми, тривалість, діяльність людини (рекультивация, забруднення, виснаження), топографія (закриті чи відкриті системи) [59; 118].

На властивості техносубстратів відвалів впливає ступінь подрібнення твердої речовини, тобто дисперсність. Дисперсний стан шахтних порід і насипних ґрунтосумішей оцінюють за відносним вмістом у них гранулометричних елементів різного розміру, що визначають структуру відвалу. Крупні фракції перегорілої породи представляють собою здебільшого уламки пластинчастої форми, а більшість дрібних зерен утворена тонкими лускоподібними пластинками. З дисперсністю субстратів певною мірою пов'язана їхня здатність до іонного обміну, для якої

характерним є комплекс специфічних показників – ємність катіонного та аніонного обміну, складом обмінних (увібраних) катіонів тощо. Від рівнів цих показників залежать деякі фізичні та хімічні властивості ґрунтів [64].

Субстрати шахтних відвалів є великозернистими та кам'янистими, тому практично відсутня водопідіймальна здатність технозему, наявна його провальна проникність, пористість та низька вологоємність [14; 115]. Оптимальні фізичні умови едафотопу у поєднанні з достатньою кількістю необхідних для онтогенезу поживних речовин забезпечують максимальну продуктивність рослинних угруповань.

Фізичні властивості субстрату характеризуються такими показниками, як щільність твердої фази субстрату, шпаруватість, польова вологість та аерація шахтних порід. Щільність твердої фази субстрату визначається відношенням ваги його твердої частини до одиниці його об'єму. Цей показник залежить від вмісту гумусу у породі, його хімічного та мінералогічного складу.

Щільність твердої фази на ділянках шахтних відвалів із присутнім рослинним покривом зменшується, що свідчить про вагому фітомеліоративну роль рослинних організмів. Показники щільності твердої фази материнської породи і насипних ґрунтосумішей вказують на те, що вміст гумусу в них є низьким [14].

Окремі структурні елементи у субстраті прилягають один до одного нещільно, між якими утворюються різні за формою та величиною шпари. Загальний об'єм шпар між компонентами твердої фази субстрату визначає його шпаруватість, від якої залежать гідротермічний та окисно-відновний режими, а також водно-температурні властивості. Розміри, форми та сумарна кількість шпар визначають умови переміщення повітря, ґрунтових розчинів, тепла та живих організмів.

Показники загальної шпаруватості залежать як від щільності твердої фази, так і будови субстрату [20]. Встановлено, що шпаруватість перегорілої породи є більшою, ніж неперегорілої, що зумовлено, мабуть, процесами

горіння на шахтних відвалах. Висока шпаруватість характерна і для насипних ґрунтосумішей.

Для нормального онтогенезу рослин необхідний певний водний режим субстрату, тому наявність польової вологості в технозомах відвалів є однією з основних умов їх росту та розвитку. Польова вологість – це співвідношення вмісту води, яка надійшла у субстрат, до її втрати з нього. Її показники залежать від властивостей субстрату (водопідіймальна здатність, водопроникність, вологоємність), впливу як біотичного (антропогенне втручання), так і абіотичного (клімат, рельєф) чинників. Як показали дослідження [14], вміст польової вологості у шахтних породах і насипних ґрунтосумішах був дуже низьким внаслідок швидкого просочування опадів крізь великі фракції вглиб відвалу і висихання його поверхні.

Від вмісту ґрунтової вологи залежить динаміка аерації, яка характеризується здатністю субстрату утримувати певний об'єм повітря: при зменшенні вологості аерація збільшується та навпаки. Аерація материнської породи та насипних ґрунтосумішей є високою, що вказує на низький вміст вологи в них і є характерною для мінеральних субстратів.

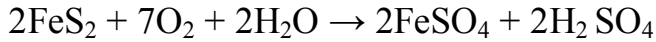
Шахтні відвали утворені аргілітами, алевролітами, пісковиками, вугільними сланцями, кам'яним вугіллям і піритами [56]. За мінералогічним складом у породі відвалу наявні: аргіліт – 97 %, який містить 1-4 % сірковмісного мінералу піриту, алевроліт 17-28 %, пісковик – 2-20 %, вугілля – 1-17 % [5].

Гірські породи (осадові, метаморфічні, магматичні) після їхнього винесення на поверхню землі трансформуються, потрапляючи в нові умови термодинамічного режиму. Внаслідок процесів вивітрювання відбуваються зміни хімічних та фізичних властивостей “первинної породної маси”.

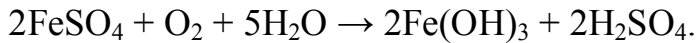
Фізичне вивітрювання включає в себе механічне руйнування породи, передумовою чого є добові та сезонні зміни мікрокліматичних показників.

Хімічне вивітрювання включає такі аспекти:

1. Окиснення хімічних елементів при наявності Оксигену із збільшенням їх валентності. У процесі вивітрювання сульфідів, які містяться у марказитах, піритах тощо, спочатку окиснюється Сульфур з утворенням сульфат Феруму і сульфатної кислоти:



Потім окиснюється Ферум із двовалентного у тривалентний:



$\text{H}_2\text{SO}_4$  активно руйнує породу.

2. Розчинення гірських порід у водній фазі;

3. Гідроліз, який супроводжується взаємодією мінералів з водою, внаслідок чого утворюються нові іони і/або нерозчинні складові;

4. Гідратація, яка відбувається в мінералах внаслідок приєднання молекул води;

5. Відновлення – це реакції, протилежні окисненню;

6. Карбонатизація – утворення карбонатів із сполук внаслідок поглинання  $\text{CO}_2$ .

Окрім хімічного вивітрювання, у породі відбувається і біохімічне вивітрювання, для якого характерний процес хімічних змін породи та механічне руйнування під впливом організмів та продуктів їх метаболізму (гриби, водорості, синьо-зелені водорості, лишайники, мохи), які активно змінюють породу. Під мохоподібними збільшується кількість вторинних мінералів та “дещо зменшується вміст уламкового матеріалу”, а значна кількість бактерій у складі мікрофлори під бріофітним покривом сприяє переважанню у гумусі гумінових кислот [118].

Наявність Оксигену у повітрі та атмосферної вологи інтенсифікують процеси самонагрівання та самозаймання гірської шахтної породи, яка містить Сульфур та Ферум [48; 2], а присутність тіонових бактерій *Thiobacillus ferrooxidans* у породі [16; 85] каталізує процес окислення піриту з утворенням сульфатної кислоти та сульфатних розчинів.

Тіонові бактерії присутні у всіх вугільних родовищах та мінералах, які містять Сульфур. Вони є досить стійкими до впливу екстремальних температур та можуть витримувати значний тиск. Джерелами енергії для аеробних грам негативних бактерій слугують сульфід- і сульфат-йони ( $S^{2-}$ ,  $SO_4^{2+}$ ), Сульфур, тіосульфат ( $S_2O_3$ ) а також солі двовалентного Феруму ( $Fe^{2+}$ ). Встановлено, що при тривалому самонагріванні відвальної породи утворюються сірчаноокислі зони, які містять відбілену безструктурну масу та концентровану сульфатну кислоту, що димить на повітрі [49;50].

Відомо, що шахтні породи за своїм хімічним, мінералогічним та дисперсним складом, містять небезпечні для навколишнього середовища підвищені концентрації токсичних сполук та важких металів [4; 70; 37]. Встановлено, що породні відвальні масиви містять до 260 г/т рідкоземельних металів [35].

Внаслідок окиснення присутнього у породі піриту з утворенням сульфатної кислоти важкі метали переходять у рухому форму, що підвищує токсичність субстрату відвалу та негативно впливає на заселення та розвиток рослинних організмів [48]. На підставі дослідження вмісту рухомих форм важких металів у відвальній породі терикона шахти “Зарічна”, що на території ЧГПР, визначено перевищення ГДК для Плюмбуму, Купруму, Кадмію, та Кобальту [58].

Надходження полютантів, зокрема, важких металів, у довкілля залишається досить високим навіть після закриття шахт, коли покращується екологічний стан регіону. Це обумовлено тим, що ґрунт здатний утримувати токсичні речовини і може тривалий час слугувати вторинним джерелом забруднення середовища [121;122].

Загалом, характеризуючи вплив породних відвалів в результаті енто- та екзогенних хімічних та фізичних процесів, виділяють низку негативних наслідків на стан атмосфери:

– зміна температурного режиму повітря унаслідок вивільнення теплової енергії;

- зміна фізичного складу атмосферного повітря в результаті потрапляння відвального пилу;

- зміна хімічної складової атмосфери унаслідок виділення токсичних газів;

на стан літосфери:

- фільтрація токсичних сполук крізь масив відвалу у ґрунти;

- осідання із повітря відвального пилу на поверхню субстрату;

- змив з поверхні відвалу шкідливих елементів та сполук у ґрунти;

- вторинне забруднення ґрунтів унаслідок потрапляння ґрунтової та поверхневої води, яка насичена токсичними сполуками, та атмосферними опадами;

на стан гідросфери:

- міграція токсичних компонентів з атмосферними опадами та унаслідок насичення шкідливими сполуками ґрунтів;

на стан біотичних складових екосистем та здоров'я населення:

- зниження демографічних показників та погіршення стану здоров'я людей;

- зменшення біорізноманіття та його продуктивності, а також екологічної толерантності [82; 115].

### **2.3. Особливості поширення мохоподібних на девастованих територіях видобутку вугілля**

Вплив антропогенної діяльності в галузі вугледобування обумовлює формування нових, не притаманних для даної місцевості чинників, модифікацію уже існуючих природних факторів середовища, а також трансформацію властивостей природних екосистем. В екстремальних умовах відвалів заселення та подальший онтогенез рослинних організмів є досить лімітованими, тому опановувати такі території здатні лише види із значним

діапазоном толерантності, які можуть не тільки виживати, а й відтворювати покоління.

Специфічні мікрокліматичні умови, механічні, фізичні та хімічні властивості техногенних субстратів стали визначальними для особливості поширення мохоподібних на шахтних відвалах. На підставі біологічних досліджень 2007-2012 рр. на території породних відвалів Червоноградського гірничопромислового району інвентаризаційний список налічував 38 видів бріофітів, які належали до двох відділів: Marchantiophyta (3 родини, 3 роди, 3 види) та Bryophyta (15 родин, 24 роди, 35 видів) [92]. Субстрати відвалів активно заселяють поселенці-піонери, які, завдяки значному репродуктивному потенціалу, швидко опановують нові території: *Barbula unguiculata* Hedw., *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid., *Leptobryum pyriforme* (Hedw.) Wilson та ін. На техноземах відвалів без рослинного покриву, переважно на відкритих та сухих ділянках, трапляються справжні види-поселенці: *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid., *Bryum caespiticium* Hedw., *B. argenteum* Hedw., *Politrichum juniperinum* Hedw., *Tortula muralis* Hedw. тощо. На стадії заростання вугільних відвалів провідна роль належить утворенню мохового покриву спочатку зі спорадичних невеликих дернин, а згодом – з мохових обростань зі значним домінуванням піонерних угруповань бріофітів з травами та деревними видами.

За результатами останньої інвентаризаційної роботи під час визначення структури домінантних бріофітних угруповань та їх участі у відновлювальних процесах техноземів породних відвалів виявлено ще ряд видів бріофітів. Отже, на сьогодні бріофлора шахтних відвалів представлена 56 видами мохоподібних, які належать до двох відділів: Marchantiophyta (4 родини, 4 роди, 5 видів) та Bryophyta (27 родин, 32 роди, 51 вид). Відзначено, що, незважаючи на збільшення підросту деревних видів (*Betula pendula* Roth., *Pinus sylvestris* L., *Populus tremula* L., *P. nigra* L., *Robinia pseudoacacia* L.), провідна роль у заростанні вугільних відвалів залишається серед верхоплідних видів мохів, насамперед – *C. purpureus*, *Polytrichum piliferum*,

*P. juniperinum*, *Bryum argenteum* [95]. Установлено, що на самозарослих шахтних відвалах ЧГПР в умовах оптимального зволоження найчастіше траплялися представники родини Brachytheciaceae.

Зведений список бріофітів на породних відвалах Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну дав можливість виявити специфіку поширення бріофлори не тільки на шахтних відвалах Червоноградського, а й Нововолинського гірничопромислового району. Виявлено 71 вид мохоподібних, які переважно є представниками відділу Bryophyta (66 видів) та 5 видів належить до відділу Marchantiophyta [84]. На початкових стадіях сукцесійних процесів на відвалах вагома роль у формуванні бріофітного покриву належить піонерному виду, який проявляє високу стійкість до впливу техногенного середовища – *Ceratodon purpureus*. Відзначено значну частоту трапляння та домінуючу роль і *Politrychum piliferum*, *P. juniperinum* та *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb., які, окрім плоскої поверхні субстрату, краю жолобів чи на схилах шахтних відвалів, поширюються на піщаних дюнах, відслоненнях різних типів порід, згарищах тощо. На відносно молодих відвалах з незначним ступенем заростання зрідка заселяються тривіальні лісові види з низькою ценотичною активністю – *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp. тощо [84].

Виявлено, що *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. caespiticium* та *Barbula unguiculata* є піонерами і на техносубстратах відвалів вугільних шахт Донбасу та більшість з них бере активну участь у формуванні бріофітного покриву на антропогенно змінених територіях. На відвалах трапляються спонтанні обростання за участю *Ceratodon purpureus* із значним проективним покриттям. Різноманітність бріофлори залежала від місцезростання на відвалах, які різнилися між собою за термінами початку та завершення їх експлуатації, площею, формою, об'ємом породи, екологічними умовами тощо.

Отже, на шахтних відвалах з їх неспецифічними фізико-хімічними властивостями, механічним складом субстрату та ступенем техногенної



деструкції сформувалось особливе середовище, що стало передумовою для заселення екологічно пластичних видів мохів із значним потенціалом до поширення, формування рослинного покриву та зміни його структури.

## РОЗДІЛ 3

### МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Об'єктом досліджень були стійкі бріофітні угруповання, що сформувались на відвалах: рекультивованому (унаслідок нанесення шару ґрунтосуміші) діючої шахти “Надія”, незарослому і частково рекультивованому Центральній збагачувальній фабриці (ЦЗФ) “Червоноградська” та природно зарослому недіючої шахти “Візейська” ЧГПР.

Для виконання запланованих робіт використовували маршрутні та стаціонарні методи досліджень.

Із північної експозиції та на різних положеннях (вершина, тераса, підніжжя) породних відвалів було закладено дослідні трансекти 10x10 м, на яких для опису виділяли пробні ділянки площею усього досліджуваного бріоугруповання. GPS-навігатором “eTrex” у центрі трансект встановлювали координати місцезнаходження угруповань. При їх закладанні важливим було враховувати екологічну гомогенність в межах дослідних ділянок: однорідність мікрорельєфу, ступінь освітлення та зволоження субстрату.

На визначених ділянках відбирали зразки мохоподібних для встановлення видового складу й еколого-біоморфологічних особливостей бріофлори угруповань та їх приналежність до певного географічного елемента. **Систематичне опрацювання матеріалів** здійснювали за загальноприйнятим порівняльно-морфологічним методом із використанням визначників мохоподібних [9; 10; 11; 12; 52; 53].

**Класифікацію та номенклатуру видів** мохів встановлювали за М. Хілом та ін. [176] печіночників – за Р. Гролем, Д. Лонгом [172] та Б. Крандал-Стотлер та Р. Стотлером [159].

Обробку зібраного матеріалу здійснювали в камеральних умовах. Ідентифікацію бріофітів проводили за допомогою мікроскопу Primo Star (Carl Zeiss).

**Аналіз типів життєвих стратегій** мохів здійснювали за системою Г. Дюрінга [163].

**Частоту трапляння** бріофітів в угрупованнях встановлювали за методом К. Раункієра [145], яку обчислювали у відсотках на одиницю площі мохового угруповання.

Для встановлення **проективного покриття** кожного виду та **постійності** доміантних видів мохоподібних використовували модифікований метод Н. Корневої [145] та модифіковану шкалу Ж. Браун-Бланке [84].

Для встановлення відсотка проективного покриття мохоподібних використовували плівку, на якій обводили контури, що відмежовують площу кожного виду у бріоугрупованні. Після зважування вирізаних фрагментів плівки, проводили розрахунок співвідношення їхньої маси до маси всієї плівки:

$$P_i = \frac{m_i}{m} \times 100, \text{ де:}$$

$P_i$  – проективне покриття і-того виду,

$m_i$  – маса вирізаного контуру дернинки і-того виду,

$m$  – маса всієї плівки.

**Проективне покриття-рясність** кожного виду аналізували за шкалою Ж. Браун-Бланке [109]:

г – вид трапляється досить рідко з незначним покриттям;

t – вид трапляється зрідка, ступінь покриття малий, приблизно 1 %;

1 – кількість особин значна, однак ступінь покриття малий до 5 %;

2 – кількість особин велика, ступінь покриття від 5 до 25 %;

3 – кількість особин велика, ступінь покриття від 25 до 50 %;

4 – кількість особин велика, ступінь покриття від 50 до 75 %;

5 – кількість особин велика, ступінь покриття вищий 75 %.

**Клас постійності виду** на досліджуваних ділянках визначали за Б. М. Міркіним, орієнтуючись на п'ятибальну шкалу: I – 1–20 %, II – 21 – 40 %, III – 41 – 60 %, IV – 61 – 80 %, V – 81 – 100 % [109].

**Біоморфологічну структуру** мохоподібних визначали на основі оцінки життєвих форм за класифікацією К. Гімінгайма і Е. Робертсона [169], модифіковану К. Мегдефрау [183], П. Річардсом [190] та доповнену Д. Гляйм [170].

**Встановлення екологічних груп** бріофітів проводили за М. Ф. Бойком [18], О. В. Лобачевською [92], Г. Ф. Риковським, О. М. Масловським [132;133] з урахуванням специфіки місцезростання виду.

**Аналіз географічної структури** бріофлори здійснювали за Г. Ф. Риковським, О. М. Масловським [132; 133].

В угрупованнях розподіл видів за **відношенням до освітлення** встановлювали за Х. Еленбергом та Р. Дюлом [164].

Стійкі мохові угруповання розглядали у ранзі бріосинузій, які можуть бути як самостійними виділами, так і невід'ємними компонентами (у ранзі синузій) асоціацій судинних рослин [24; 28]. Їхні назви констатували за доміантною класифікацією та життєвими формами діагностичних видів мохоподібних [17; 144; 26; 146].

Дослідження синузальної структури мохового покриву здійснювали в 2013-2016 рр. маршрутно-польовим методом. В описі бріосинузії зазначали її площу, положення на відвалі, видовий склад, проективне покриття (ПП) кожного виду в межах ділянки, форму росту мохів та їх екоформи.

Мікрокліматичні умови на порушених територіях визначали у квітні, липні та жовтні за загальноприйнятими методиками: **температуру** верхнього шару (0-3 см) субстрату – за Є. В. Аринушкіною [1], **вміст вологи** у субстраті та моховій дернині – за С. М. Польчиною та В. Г. Мінеєвим

[120;107], яку визначали методом зважування з подальшим обчисленням її у відсотках від маси абсолютно сухої речовини.

**Інтенсивність освітлення** у локалітетах мохів вимірювали люксометром Ю-116.

**Актуальну кислотність (рН)** визначали потенціометрично у водній витяжці субстрат : дистилат (1:5) [114; 105]. Для цього у межах досліджуваних ділянок у трьох місцях відбирали зразки субстратів під мохом, змішували їх та формували середню пробу. Контролем слугував субстрат без мохового покриву на вершинах, терасах та у підніжжях відвалів.

Для визначення валового вмісту **Калію, Натрію, Кальцію та Фосфору** зразки рослинного матеріалу спалювали у муфельній печі за температури 450 °С упродовж 1,5–2 годин, а в техноземі визначали у повітряно-сухих пробах. Отриману золу рослин та проби техноземів після зважування розчиняли у 12 % HCl, потім фільтрували під вакуумом через скляні фільтри Шота. Вміст K, Na, Ca визначали на полум'яному фотометрі марки ПФМ-ЗОМЗ [116], вміст Фосфору – за методом Лоурі-Лопеса фотоколориметрично за інтенсивністю забарвлення фосфорно-молібденової сині [147].

Аналіз вмісту **загального Нітрогену** у субстратах та пагонах моху здійснювали фотометричним методом у модифікації ЦІНАО [108], який ґрунтується на мінералізації зразків у киплячій сульфатній кислоті з додаванням каталізатора реакції – Селену та наступним вимірюванням оптичної густини забарвленої індофенольної сполуки, що утворилася при взаємодії аміаку із гіпохлоритом та саліцилатам Натрію.

Для оцінки **валового вмісту мікроелементів** середні проби рослинного матеріалу та субстрату спалювали у муфельній печі при температурі 450 °С впродовж 2 годин до отримання однорідного кольору золи. Після цього дослідні проби обробляли концентрованою HNO<sub>3</sub>. Валовий вміст металів у зразках визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі С115М1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [105].

Визначення вмісту **органічного Карбону** в субстраті здійснювали за методом І. В. Тюріна у модифікації Б. А. Нікітіна внаслідок окислення органічної речовини хромовою сумішшю у сильноокислому середовищі [113].

**Еколого-трофічні групи мікроорганізмів** у субстратах під моховим покривом та без нього виявляли, використовуючи різні поживні середовища [138; 40].

Для аналізу **сезонної динаміки вмісту пігментів фотосинтезу** проби рослинного матеріалу відбирали у квітні, липні та жовтні 2014-2015 років. Для цього зважували 0,05 г пагонів, розтирали їх у фарфоровій ступці з 10 мл ацетону, настоювали 10-15 хв. і фільтрували через скляний фільтр Шота №2 в колбу Бунзена. Оптичну густину вимірювали на фотоколориметрі КФК-3 у кюветах з товщиною шару 10 мм за довжин хвиль 662 нм (для хлорофілу *a*), 644 нм (для хлорофілу *b*), 450 нм (для каротинів) та 445 нм (для ксантофілів) [111]. При обрахунках вмісту пігментів фотосинтезу використовували формули Д. Веттштейна [22]. Вміст пігментів виражали у мкг/г маси сухої речовини.

Для **визначення хлорофільного індексу (ХІ)** використовували показники сумарного вмісту хлорофілів *a* та *b* і фітомаси бріофітів, що формують угруповання. Показники ХІ обраховували за формулою:  $XI = (x \cdot a + x \cdot b) \times \text{фітомаса}$  і виражали у г/м<sup>2</sup> [150].

Вміст метаболітів аналізували у надземній частині гаметофіту *Ceratodon purpureus*. Загальний вміст **фенольних сполук** визначали, використовуючи реактив Фоліна-Деніса. Для цього відбирали 1 мл дослідного розчину, додавали 6,5 мл дистильованої води та 0,5 мл реактиву Фоліна-Деніса. Через 3 хв вносили 1 мл насиченого Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> і доводили дистильованою водою до об'єму 10 мл. Ретельно перемішавши, витримували розчин 30 хвилин, після чого вимірювали оптичну густину за  $\lambda = 730$  нм. Вміст фенольних сполук розраховували за калібрувальною кривою, яку будували, використовуючи хлорогенову кислоту [46].

Аналіз вмісту **розчинних цукрів** проводили спектрофотометрично за методом У. Дюбойса [117]. Для цього 100 мг наважки тканин гомогенізували в 10 мл дистильованої води з подальшою інкубацією гомогенату на киплячій водяній бані протягом 15 хв та центрифугуванням (10 хв, 5000 об/хв). Відбирали 0,2 мл супернатанту, додавали 1 мл 5 % фенолу і 5 мл концентрованої сірчаної кислоти та вимірювали оптичну густину на спектрофотометрі Specord 210 Plus за довжини хвилі 490 нм.

Вміст вільного **проліну** визначали за Л. Бейтсом з використанням кислого нінгідринового реагента [157].

**Водні витяжки** з моху та техноземів готували у співвідношенні 1:3 та 1:6. Для цього гаметофіт моху та субстрати, відібрані на усіх положеннях досліджуваних відвалів, висушували на повітрі та очищали від механічних домішок. Наважки зразків (3 г) у скляних ємностях заливали дистильованою водою в об'ємі, який необхідний для вказаних співвідношень, та настоювали 3 доби. Через 3 доби витяжки проціджували та фільтрували. Контролем була дистильована вода. Перед постановкою досліду насіння редису сорту “Французький сніданок” попередньо дезінфікували (2 хв) у слабкому розчині  $\text{KMnO}_4$ . У кожному Петрі відкладали по 25 насінин. На 14-ту добу експерименту рахували кількість пророслого насіння та визначали морфометричні параметри проростків: довжину кореня та пагона, маса кореня та пагона. Дослід проводили у трьох повторностях.

Отримані дані опрацьовували **методами статистичного аналізу** [88]. Достовірність різниці між варіантами оцінювали за критерієм Стьюдента. У таблицях наведено середні величини та стандартні похибки.

## РОЗДІЛ 4

### СИСТЕМАТИЧНА, БІОМОРФОЛОГІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА СТРУКТУРИ МОХОПОДІБНИХ БРІОФІТНИХ СИНУЗІЙ НА ШАХТНИХ ВІДВАЛАХ

#### 4.1. Систематична структура мохоподібних

На дослідних ділянках визначено 14 стійких бріофітних угруповань, сформованих з 20-ти видів мохоподібних, залежно від положення, мікрорельєфу та типу місцевиростань на породному відвалі. Виявлені мохоподібні належить до 2 відділів: відділ Bryophyta, який представлений 19-ма видами листкостеблових мохів, що належать до 9 родин, та Marchantiophyta, репрезентований 1 видом печіночника, з родини Cephaloziaceae – *Cephalozia bicuspidata* (L.) Dumorf. Серед мохоподібних відділу Bryophyta провідною є родина Brachytheciaceae (7 видів), дещо меншими за кількістю видів є Polytrichaceae (3) та Bryaceae (3).

Мохові угруповання на досліджуваних відвалах відрізняються між собою за кількістю видового складу бріофлори. Різноманіття мохового покриву у них формується під впливом неоднорідності мікрокліматичних умов та фізико-хімічних властивостей субстрату порушених територій, а також залежить від віку терикону та стадії сукцесії рослинного покриву.

Видовий склад угруповань відвалу шахти “Надія” представлений одним-п’ятьма видами мохоподібних, на териконі шахти “Візейська” угруповання сформовані з трьох, чотирьох та восьми видів мохів. На проаналізованих ділянках відвалу ЦЗФ угруповання були переважно моновидовими або з незначним різноманіттям бріофлори, утворених одним або двома видами, що, очевидно, пов’язано із відносно молодим віком терикону (табл. 4.1.1, 4.1.2).



У підніжжі відвалу шахти “Візейська”, який є найстарішим серед інших досліджуваних відвалів, найтипівішим виявилось угруповання з 8 видів бріофітів (*Cirriphyllum crassinervium* (Taylor) Loeske & M.Fleisch., *Brachythecium salebrosum* (Hoffm. ex F.Weber & D.Mohr) Schimp., *Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov et Huttunen та інші).

Таблиця 4.1.1

Видовий склад бріофлори та її проективне покриття у бріосинузіях на відвалі шахти “Надія”

№ ділянки	Бріофітні синузії та їх флористичний склад	Загальна площа досліджуваної ділянки, м <sup>2</sup>	Проективне покриття		Клас постійності, бали
			%	бали	
<b>Вершина</b>					
1	<i>Polytrichastrum formosum</i> <i>Campylopus introflexus</i> <i>Aulacomnium palustre</i> <i>Sphagnum girgensohnii</i> <i>Rhynchostegium murale</i>	4,5	30±3,0 30±2,9 10±1,1 21±2,4 9±1,3	3 3 2 2 2	2 2 1 2 1
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	3,0	100±12,3	5	5
3	<i>Campylopus introflexus</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	4,5	70±7,6 30±2,5	4 3	4 2
4	<i>Polytrichum piliferum</i> <i>Campylopus introflexus</i>	2,0	67±7,9 33±4,2	4 3	4 2
<b>Тераса</b>					
1	<i>Ceratodon purpureus</i> <i>Bryum argenteum</i>	1,0	60±8,4 40±3,9	4 3	3 2
2	<i>Brachythecium glareosum</i> <i>Brachythecium albicans</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	1,0	46±4,2 40±3,7 13±1,7	3 3 2	3 2 1
<b>Підніжжя</b>					
1	<i>Bryum caespiticium</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	4,5	90±10,1 10±1,3	5 2	5 1
2	<i>Ceratodon purpureus</i> <i>Bryum pseudotriquetrum</i> <i>Bryum caespiticium</i>	16,0	65±10,1 30±2,2 5±0,2	4 3 2	4 2 1

Примітка: Тут і у табл. 4.1.2 жирним шрифтом виокремлено домінантні види у мохових синузіїях.

На териконі відзначено збільшення видового складу бріосинузій у напрямку від вершини до його підніжжя, що, ймовірно, пов'язано із покращенням мікроумов техногенного середовища та заселенням мохів із характерною для них не тільки широкою, а й вузькою екологічною амплітудою.

Дещо меншу видову різноманітність бріофітних синузій встановлено на вершині відвалу шахти “Надія”, яке сформоване з п'яти видів мохоподібних. Здебільшого це верхоплідні акрокарпні види – *Polytrichastrum formosum* (Hedw.) G.L.Sm., *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid., *Sphagnum girgensohnii* Russow.

Таблиця 4.1.2.

Видовий склад бріофлори та її проективне покриття у бріосинузіях на відвалах ЦЗФ та шахти “Візейська”

№ ділянки	Бріофітні синузії та їх флористичний склад	Загальна площа досліджуваної ділянки, м <sup>2</sup>	Проективне покриття		Клас постійності
			%	бали	
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>					
1	<i>Ceratodon purpureus</i> <i>Pohlia nutans</i>	0,30	27±1,7 5±0,19	3 2	2 1
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	3,75	83±8,0	5	5
<b>Тераса</b>					
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	1,5	65±6,7	4	4
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>					
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Pohlia nutans</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	9,0	80±6,2 11±1,5 9±1,1	5 2 2	4 1 1
<b>Тераса</b>					
1	<i>Brachythecium glareosum</i> <i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Cirriphyllum crassinervium</i> <i>Amblystegium serpens</i>	4,0	80±7,3 8 ±0,8 7±0,9 4±0,5	5 2 2 1	4 1 1 1
<b>Підніжжя</b>					
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Pohlia nutans</i> <i>Ceratodon purpureus</i> <i>Brachythecium glareosum</i> <i>Cirriphyllum crassinervium</i> <i>Brachythecium salebrosum</i> <i>Brachythecrastrum velutinum</i> <i>Cephalozia bicuspidata</i>	1,0	55±5,1 4±0,3 5±0,7 10±1,1 5±0,5 10±0,8 6±0,3 5±0,6	4 1 2 2 2 2 2 2	3 1 1 1 1 1 1 1

На досліджуваних шахтних відвалах площа ділянок, в межах яких виявлені угруповання, змінювалась від 0,30 – 16 м<sup>2</sup>.

На підставі аналізу проективного покриття та частоти трапляння встановлено домінантні види бріофітів та визначено постійність кожного виду в угрупованні (табл. 4.1.1, 4.1.2). Значне проективне покриття утворює бокоплід *Sciurohypnum starkei* (Brid.) Ignatov @ Huttunen., який на 100 % заселяє 2-у дослідну ділянку відвалу шахти “Надія” і належить до п’ятого класу постійності (КП), що становить 5 балів.

Для 1-го угруповання вершини терикону характерною ознакою є наявність двох домінантних видів бріофлори – *Polytrichastrum formosum* та *Campylopus introflexus*, які займають площу в угрупованні по 30 % і належать до другого класу постійності (3 бали) (табл. 4.1.1).

На відвалі ЦЗФ, зокрема його терасі, проективне покриття *Ceratodon purpureus* в угрупованні становить 65 % (4-ий КП, 4 бали), тоді як на вершині мох покриває субстрат незначної площі – 27 % (2-ий КП, 3 бали), що, вочевидь, пов’язано із пізнішим у часі заселенням моху та формуванням бріоугруповань за його участю.

На відвалі шахти “Візейська”, зокрема на вершині та у підніжжі, значне проективне покриття в угрупованнях утворює домінантний вид – *Polytrichum juniperinum*. Однак, площа, яку він займає в угрупованні підніжжя, є меншою, ймовірно, внаслідок збільшення частки видів мохів, що відповідають даним екологічним вимогам, зокрема бокоплодами.

Найбільшу частоту трапляння на дослідженій території встановлено для *Ceratodon purpureus* – 64,3 % (табл. 4.1.3). На відвалах шахти “Надія” та ЦЗФ в угрупованнях найчастіше трапляється *Polytrichum piliferum*, *Pohlia nutans* – на відвалі ЦЗФ та шахти “Візейська”, *Brachythecium glareosum* – на відвалах шахт “Надія” та “Візейська”.

Встановлено, що для видів мохів, які трапляються найчастіше, здебільшого характерне і найвище значення проективного покриття, а саме:

*Ceratodon purpureus* – на відвалах шахт “Надія” і ЦЗФ, *Polytrichum juniperinum* – “Візейська”, *Campylopus introflexus*, зокрема на вершині відвалу шахти “Надія”.

Таблиця 4.1.3.

Частота трапляння бріофітів у трансформованому середовищі шахтних відвалів

Назва виду моху	Частота трапляння видів, %					
	Відвал шахти “Надія”	Відвал ЦЗФ	Відвал шахти “Візейська”	Середнє значення для відвалів:		
				1-го	2-ох	3-ох
<i>Ceratodon purpureus</i>	62,5	66,7	66,7			64,3
<i>Campylopus introflexus</i>	37,7			37,7		
<i>Polytrichum piliferum</i>	12,5	33,3			18,2	
<i>Polytrichastrum formosum</i>	12,5			12,5		
<i>Polytrichum juniperinum</i>			100,0	21,4		
<i>Sciurohypnum starkei</i>	12,5			12,5		
<i>Brachytecium glareosum</i>	12,5		66,7		14,3	
<i>Brachytecium albicans</i>	12,5			12,5		
<i>Brachytecium salebrosum</i>			33,3	33,3		
<i>Brachytecrastrum velutinum</i>			33,3	33,3		
<i>Bryum argenteum</i>	12,5			12,5		
<i>Bryum caespiticium</i>	25,0			14,3		
<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	12,5			12,5		
<i>Pohlia nutans</i>		33,3	66,7		21,4	
<i>Aulacomnium palustre</i>	12,5			12,5		
<i>Sphagnum girgensohnii</i>	12,5			12,5		
<i>Rhynchostegium murale</i>	12,5			12,5		
<i>Cirriphyllum crassinervium</i>			66,7	14,3		
<i>Amblystegium serpens</i>			33,3	33,3		
<i>Cephalozia bicuspidata</i>			33,3	33,3		

На шахтних відвалах бріосинузії формують багаторічні, переважно дводомні види – *Ceratodon purpureus*, *Polytrichastrum formosum*, *Polytrichum*

*juniperinum*, – в репродуктивній стратегії яких домінує статеве розмноження (табл. 4.1.4, 4.1.5, 4.1.6).

Таблиця 4.1.4.

Характеристика життєвої форми, репродуктивної здатності та життєвої стратегії мохів у бріосинузіях на відвалі шахти “Надія”

№ ділянки	Види мохоподібних	Життєва форма	Життєвий цикл	Розмноження	Статевий тип	Життєва стратегія
<b>Вершина</b>						
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	ВПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Campylopus introflexus</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
	<i>Aulacomnium palustre</i>	ЩП	Б	С	Д	Багаторічний стаер
	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	ВПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Rhynchostegium murale</i>	ЩП	Б	С	О	Багаторічний стаер
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	ПП	Б	С	О	Багаторічний стаер
3	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Campylopus introflexus</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
4	<i>Politrychum piliferum</i>	НПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Campylopus introflexus</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Bryum argenteum</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	ПП	Б	С	Д	Багаторічний стаер
	<i>Brachythecium albicans</i>	ЩП	Б	С	Д	Багаторічний стаер
	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Bryum caespiticium</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець
	<i>Bryum caespiticium</i>	НЩД	Б	С/Б	Д	Поселенець

Примітка. Тут і далі: НЩД – низька щільна дернина; НПД – низька пухка дернина; ВПД – висока пухка дернина; ПП – пухке плетиво; ЩП – щільне плетиво; О – однодомний; Д – дводомний; Б – багаторічник; С – статеве; С/Б – статеве/безстатеве.

Безстатеве розмноження, а саме: утворення підземних ризоїдних бульбочок, найчастіше трапляється у видів *Bryum caespiticium* Hedw. і *B. pseudotriquetrum* (Hedw.) Gaertn. et al., *Bryum argenteum* Hedw. утворює численні виводкові бруньки в пазухах листків на верхівці пагонів.

Таблиця 4.1.5.

Характеристика життєвої форми, репродуктивної здатності та життєвої стратегії мохів у бріосинузіях на відвалі ЦЗФ

№ ділянки	Види мохоподібних	Життєва форма	Життєвий цикл	Розмноження	Статевий тип	Життєва Стратегія
<b>Вершина</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Pohlia nutans</i>	НЩД	Б	С	О	Поселенець
2	<i>Politrychum piliferum</i>	НПД	Б	С	Д	Поселенець
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець

Для *Campylopus introflexus* притаманним є як генеративне, так і вегетативне розмноження. В окремих місцевиростаннях вершини і тераси відвалу шахти “Надія” мох утворює гаметангії з численними архегоніями й антеридіями та коробочками з життєздатними спорами. Проте здебільшого *C. introflexus* розмножується виводковими органами – ламкими верхівками стебел [90]. Отже, різноманітність вегетативного розмноження мохоподібних забезпечує існування та поширення їх у мінливих та екстремальних умовах порушеного середовища [196].

Значну частку у бріосинузіях на шахтних відвалах займають види із біоморфною структурою щільної дернини, які приурочені здебільшого до відкритих та сухих місцезростань (відвал шахти “Надія” та ЦЗФ). На відвалі шахти “Візейська”, зокрема на терасі та у підніжжі, бріофлора в угрупованнях представлена здебільшого багаторічними стаєрами. Такі

плеврокарпні види із біоморфою пухкого чи щільного плетива утворюють гінецеї та спорофіти на бічних коротких гілках рослин.

Таблиця 4.1.6.

Характеристика життєвої форми, репродуктивної здатності та життєвої стратегії мохів у бріосинузіях на відвалі шахти “Візейська”

№ ділянки	Види мохоподібних	Життєва форма	Життєвий цикл	Розмноження	Статевий тип	Життєва стратегія
<b>Вершина</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	ВПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Pohlia nutans</i>	НЩД	Б	С	О	Поселенець
	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
<b>Тераса</b>						
1	<i>Brachythecium glareosum</i>	ПП	Б	С	Д	Багаторічний стаєр
	<i>Polytrichum juniperinum</i>	ВПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Cirriphyllum crassinervium</i>	ЩП	Б	С	Д	Багаторічний стаєр
	<i>Amblystegium serpens</i>	ПП	Б	С	О	Багаторічний стаєр
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	ВПД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Pohlia nutans</i>	НЩД	Б	С	О	Поселенець
	<i>Ceratodon purpureus</i>	НЩД	Б	С	Д	Поселенець
	<i>Brachythecium glareosum</i>	ПП	Б	С	Д	Багаторічний стаєр
	<i>Cirriphyllum crassinervium</i>	ЩП	Б	С	Д	Багаторічний стаєр
	<i>Brachythecium salebrosum</i>	ПП	Б	С	О	Багаторічний стаєр
	<i>Brachytheciastrum velutinum</i>	ПП	Б	С	О	Багаторічний стаєр
	<i>Cephalozia bicuspidata</i>	ПД	Б	С	О	Поселенець

На породних відвалах мохоподібні в міру природних процесів відновлення рослинності (сукцесійних процесів) формують угруповання, що характеризуються певними закономірностями поєднання видів, для яких визначальним є приуроченість до екологічних умов місцезростання. Мохові угруповання розглядали як бріосинузії, які різняться між собою за

домінантними видами та їх біоморфологічною структурою, а також є сталими одноярусними епігейними угрупованнями [25].

На вершинах відвалів ЦЗФ та шахти “Візейська” присутність поодиноких екземплярів деревних рослин та розміщення мохової синузії на дещо затіненому краю ерозійного жолоба сприяли зменшенню інтенсивності сонячного світла, відповідно, і меншій втраті вологи у техноземі. Бріосинузії на визначених ділянках представлені здебільшого такими видами, як *Ceratodon purpureus*, *Pohlia nutans*, *Polytrichum piliferum* та *P. juniperinum*.

Значна мінливість екологічних умов на самозарослій вершині відвалу шахти “Надія” істотно вплинула на різноманітність видового складу мохоподібних. Мікропониження поверхні субстрату та присутність деревного ярусу призвели до часткового затінення і значного перезволоження в окремих місцях, що стало передумовою для заселення видів (*Sphagnum girgensohnii* та *Aulacomnium palustre* (Hedw.) Schwägr.), які за потребами водного режиму суттєво відрізняються від більшості мохоподібних, приурочених до ксероморфних умов досліджуваного відвалу. На відкритих сонячних ділянках вершини переважає адвентивний вид *Campylopus introflexus* і *Ceratodon purpureus*.

На досліджуваних ділянках вершин породних відвалів визначено такі домінантні мохові синузії:

**Щільнодернинна синузія** *Ceratodon purpureus* – syn.

**Діагностичний вид:** *Ceratodon purpureus*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії – *Ceratodon purpureus* (ПП – 27 %) та *Pohlia nutans* (ПП – 5 %). Загальне проективне покриття (ЗПП) мохів – 32 %. Площа ділянки – 0,3 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°18'99"; E 024°13'55".

**Синекологія.** Інцертофільне, ксеромезофітне та мезофітне (вологість субстрату – 2,3 %) геліофітне угруповання (інсоляція – 65,0–78,0, тис. лк), яке розміщене на похилій формі рельєфу під *Betula pendula* та *Pinus sylvestris*.



**Синхорологія.** Угрупування розміщене на вершині відвалу ЦЗФ (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець).

**Пухкодернинна моновидова синузія** *Polytrichum piliferum* – syn.

**Діагностичний вид:** *Polytrichum piliferum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії репрезентує *Polytrichum piliferum* з проективним покриттям – 83,0 %. Площа ділянки – 3,75 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°18'94"; E 024°13'55".

**Синекологія.** Інцертофільне, ксеромезофітне, геліофітне угруповання, що сформувалось вздовж краю жолоба, утвореного внаслідок лінійних ерозійних процесів. Інтенсивність освітлення ділянки – 83,5–90,5 тис. лк, вологість субстрату 1,0 %.

**Синхорологія.** Вершина відвалу ЦЗФ (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець).

**Щільнодернинна синузія** *Campylopus introflexus*–*Ceratodon purpureus* – syn.

**Діагностичні види:** *Campylopus introflexus*, *Ceratodon purpureus*



Рис. 4.1.1. Щільнодернинна синузія *Campylopus introflexus*–*Ceratodon purpureus* – syn. на вершині відвалу шахти “Надія”

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії представлений *Campylopus introflexus* (ПП – 70%) та *Ceratodon purpureus* (ПП – 30%). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 4,5 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'79"; E 024°16'27" (рис. 4.1.1).

**Синекологія.** Ксеромезофітне, геліофітне угруповання, що виявлене на галявині біля поодиноких дерев: *Robinia pseudoacacia*, *Betula pendula* та *Pinus sylvestris*, представлене ацидофілом (*Campylopus introflexus*) та інцертофілом (*Ceratodon purpureus*). Інтенсивність освітлення місцезростання угруповання – 86,0–91,0 тис. лк, вологість субстрату – 3,0 %.

**Синхорологія.** Вершина відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Пухкодернинна синузія** *Polytrichum piliferum*–*Campylopus introflexus* – syn.

**Діагностичні види:** *Polytrichum piliferum*, *Campylopus introflexus*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії репрезентований *Polytrichum piliferum* (ПП – 67%) та *Campylopus introflexus* (ПП – 33%). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 2,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'79"; E 024°16'27" (рис. 4.1.2).



Рис. 4.1.2. Пухкодернинна синузія *Polytrichum piliferum*–*Campylopus introflexus* – syn. на вершині відвалу шахти “Надія”

**Синекологія.** Ксеромезофітне, геліофітне угруповання, сформоване за участю ацидофіла (*Campylopus introflexus*) та інцертофіла (*Polytrichum piliferum*) в оточенні окремих екземплярів судинних рослин: *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* та *Populus tremula*. Ступінь освітлення ділянки – 81,0–90,0 тис. лк, вологість субстрату – 3,4 %.

**Синхорологія.** Вершина відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Пухкодернинна синузія** *Polytrichastrum formosum*–*Campylopus introflexus* – syn.

**Діагностичні види:** *Polytrichastrum formosum*, *Campylopus introflexus*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії: *Polytrichastrum formosum* (ПП – 30 %) , *Campylopus infroflexus* (ПП – 30 %), *Aulacomnium palustre* (ПП – 10 %), *Sphagnum girgensohnii* (ПП –21 %), *Rhynchostegium murale* (Hedw.) Schimp. (ПП – 9 %). Площа ділянки – 4,5 м<sup>2</sup>, координати її місцезнаходження – N 49°50'19"; E 024°01'56"). ЗПП мохів – 100 % (рис. 4.1.3).



Рис. 4.1.3. Пухкодернинна синузія *Polytrichastrum formosum*–*Campylopus introflexus* – syn. на вершині відвалу шахти “Надія”

**Синекологія.** Угрупування репрезентують здебільшого ацидофільні види (*Sphagnum girgensohnii*, *Campylopus introflexus*, *Polytrichastrum formosum*). В умовах значного зволоження субстрату – 37,8 % та інтенсивності освітлення – 25,0–36,0 тис. лк досліджувану ділянку заселяє, окрім видів з помірною потребою у зволоженні (*Polytrichastrum formosum*, *Rhynchostegium murale*), мезогігрофіт (*Sphagnum girgensohnii*), гігрофіт (*Aulacomnium palustre*), здебільшого тіньові та напівтіньові види під наметом *Robinia pseudoacacia*, *Pinus sylvestris* та *Betula pendula*. Угрупування сформувалось у мікропониженні рельєфу біля моноліту запеченої породи.

**Синхорологія.** Угрупування розміщене на вершині відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Плетивна моновидова синузія** *Sciurohypnum starkei* – syn.

**Діагностичний вид:** *Sciurohypnum starkei*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії – *Sciurohypnum starkei* із проєктивним покриттям – 100 %. Площа ділянки – 3,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'78"; E 024°16'28".

**Синекологія.** Інцертюфільне, мезофітне, геліосціофітне угруповання, місцезростання якого приурочене до затінених (інтенсивність освітлення – 30,5–40,5 тис. лк) умов під наметом *Robinia pseudoacacia*, *Betula pendula* та *Pinus sylvestris*. Вологість субстрату – 3,6 %.

**Синхорологія.** Вершина відвалу шахти “Надія” на насипі покривної породи (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Пухкодернинна синузія** *Polytrichum juniperinum* – syn.

**Діагностичні види:** *Polytrichum juniperinum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії – *Polytrichum juniperinum* (ПП – 80 %), *Ceratodon purpureus* (ПП – 11 %), *Pohlia nutans* (ПП – 9 %). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 9 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°18'70"; E 024°13'29".

**Синекологія.** В угрупованні види мохів представляють групи інцертофілів та олігомезотрофів, які переважають в освітлених ектопах. Окрім мезофіта (*Pohlia nutans*), *Polytrichum juniperinum* та *Ceratodon purpureus* представляють ксеромезофітну групу в оточенні поодиноких судинних рослин – *Betula pendula* та *Pinus sylvestris*. Інтенсивність освітлення угруповання – 89,0–96,0 тис. лк, вологість субстрату – 2,5 %.

**Синхорологія.** Вершина відвалу шахти “Візейська” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець).

На терасах відвалів ЦЗФ та шахти “Надія”, для яких характерним є відкритість експозицій та значна сонячна радіація, в екстремальних ксероморфних умовах епігейні синузії здебільшого представлені стійкими видами – *Ceratodon purpureus* та *Bryum argenteum*. Серед трав’яного ярусу тераси відвалу шахти “Надія” у сприятливіших умовах водного режиму з’являються угруповання, які формують *Brachythecium glareosum* та *Brachythecium albicans* (Hedw.) Schimp. Перший вид моху є діагностичним в бріосинузії, встановленій на терасі відвалу шахти “Візейська”, пухке плетиво якого під наметом дерев утворило майже суцільний покрив.

На терасах відвалів вугільних шахт встановлено такі домінантні мохові синузії:

**Щільнодернинна моновидова синузія** *Ceratodon purpureus* – syn.

**Діагностичний вид:** *Ceratodon purpureus*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії – *Ceratodon purpureus*, проективне покриття якого – 65 %. Площа ділянки – 1,5 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'86"; E 024°16'12".

**Синекологія.** Інцертофільне, ксеромезофітне (вологість субстрату – 0,6 %), геліофітне угруповання, яке сформувалось на добре освітленій (95,0–100,0 тис. лк) плоскій формі рельєфу. Воно межує з поодинокими екземплярами самосіву дерев: *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Quercus robur* L., кущів: *Rubus*

*caesius* L. та трав: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth., *Poa angustifolia* L., *Juncus effusus* L.

**Синхорологія.** Угруповання розміщене на терасі відвалу ЦЗФ (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець).

**Щільнодернинна синузія** *Ceratodon purpureus*–*Bryum argenteum* – syn.

**Діагностичні види:** *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії репрезентує *Ceratodon purpureus* (ПП – 60 %), *Bryum argenteum* (ПП – 40 %). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 1,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'86"; E 024°16'12".

**Синекологія.** Інцертофільне, ксеромезофітне, геліофітне угруповання на відкритій, добре освітленій (95,0–100,0 тис. лк) ділянці екотопу. Місцезростання мохів приурочене до екстремальних гідротермічних умов (t субстрату – 42,0°C, вміст вологи – 0,4 %) унаслідок окислювальних процесів у породі, що супроводжуються її горінням.

**Синхорологія.** Тераса відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Щільнодернинна синузія** *Ceratodon purpureus* –*Bryum argenteum* – syn.

**Діагностичні види:** *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії репрезентує 2 види (*Ceratodon purpureus* (ПП – 60 %), *Bryum argenteum* (ПП – 40 %)). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 1,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'86"; E 024°16'12".

**Синекологія.** Інцертофільне, ксеромезофітне, геліофітне угруповання на відкритій, добре освітленій (95,0–100,0 тис. лк) ділянці екотопу. Місцезростання мохів приурочене до екстремальних гідротермічних умов (t субстрату – 42,0°C, вміст вологи – 0,4 %) унаслідок окислювальних процесів у породі, що супроводжуються її горінням.



**Синхорологія.** Тераса відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Плетивна синузія** *Brachythecium glareosum*–*Brachythecium albicans* – syn.

**Діагностичні види:** *Brachythecium glareosum*, *Brachythecium albicans*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії представлений *Brachythecium glareosum* (ПП – 46 %), *Brachythecium albicans* (ПП – 40 %), *Ceratodon purpureus* (ПП – 13 %)). ЗПП мохів – 99,0 %. Площа ділянки – 1,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'86"; E 024°16'12".

**Синекологія.** Серед здебільшого ксеромезофітних геліофітів (*Brachythecium albicans*, *Ceratodon purpureus*) в угрупованні домінуючу позицію займає мезофіт (*Brachythecium glareosum*), який найчастіше трапляється у затінених умовах місцезростання. За хімізмом субстрату бріофіти належать до різних груп: *Brachythecium albicans* – галофілів, *Brachythecium glareosum* – кальцефілів та *Ceratodon purpureus* – інцертофілів, які зростають на ділянці горбистого мікрорельєфу внаслідок насипаної ґрунтосуміші серед *Calamagrostis epigeios* та *Centaurea rhenana* Voreau. Інтенсивність освітлення сягала 80,0–90,0 тис. лк, вологість субстрату – 4,5 %.

**Синхорологія.** Тераса відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Плетивна синузія** *Brachythecium glareosum* – syn.

**Діагностичні види:** *Brachythecium glareosum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії – *Brachythecium glareosum* (80 %), *Polytrichum juniperinum* (8 %), *Cirriphyllum crassinervium* (Taylor) Loeske & M.Fleisch. (7 %), *Amblystegium serpens* (4 %), ЗПП мохів – 99,0 %. Площа ділянки – 4,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°18'74"; E 024°13'24" (рис. 4.1.4).

**Синекологія.** Угруповання репрезентоване здебільшого інцертофільними (*Amblystegium serpens* (Hedw.) Schimp., *Cirriphyllum crassinervium*, *Polytrichum juniperinum*), мезофітними (*Brachytecium glareosum*, *Amblystegium serpens*, *Cirriphyllum crassinervium*) та сціофітними видами (*Brachytecium glareosum*, *Cirriphyllum crassinervium*) за наявності в оточенні *Calamagrostis epigeios* та *Cladonia ochrochlora* Florke у дещо затінених умовах (72,0 – 84,0 тис. лк) деревною рослинністю: *Betula pendula*, *Quercus robur*, *Populus tremula*. Вологість субстрату – 10,1 %.

**Синхорологія.** Тераса відвалу шахти “Візейська” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець)



Рис. 4.1.4. Рослини доміантного виду *Brachytecium glareosum* на терасі відвалу шахти “Візейська”. Життєва форма – пухке плетиво

Унаслідок проведення технічної рекультивації (формування стрімких схилів, насипання суглинкового чи супіщаного шару) та ерозійних процесів на відвалі ЦЗФ відбувається зсув породи та ґрунтосуміші з верхніх ярусів до його підніжжя, що створює перешкоду для заселення піонерних видів та формування рослинного покриву в цілому.



У підніжжі відвалу шахти “Надія” відбувається інтенсивне самозаростання деревними рослинами. Оскільки шахта межує з лісом та дачними ділянками, ймовірність занесення діаспор рослин є високою. Окрім того, з північно-східного боку відвалу було висаджено дерева *Robinia pseudoacacia* і *Betula pendula* [92]. На вогких субстратах підніжжя шахти часто трапляється майже суцільний покрив мохів поселенців *Bryum caespiticium*, *B. pseudotriquetrum* та *Ceratodon purpureus*.

В умовах розвиненого деревного ярусу підніжжя відвалу шахти “Візейська” в досліджуваній синузії частка видів з біоморфою пухкого чи щільного плетива у бріофлорі є більшою, ніж на інших досліджуваних відвалах. Така форма росту у мохоподібних характерна для бокоплідних видів: *Brachythecium glareosum*, *B. salebrosum*, *Brachythecrastrum velutinum*, *Cirriphyllum crassinervium*.

У підніжжях породних відвалів встановлено такі домінуючі мохові синузії:

**Щільнодернинна синузія *Bryum caespiticium* – syn.**

**Діагностичні види:** *Bryum caespiticium*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії представляє *Bryum caespiticium* (ПП – 90 %) та *Ceratodon purpureus* (ПП – 10 %). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 4,5 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'80"; E 024°16'18".

**Синекологія.** Індиферентне, ксеромезофітне, геліофітне угруповання, сформоване на червоній перегорілій породі плоского мікрорельєфу. Інтенсивність освітлення досліджуваної ділянки – 76,0–88,0 тис. лк, вологість верхнього шару субстрату – 4,8 %.

**Синхорологія.** Угруповання розміщене у підніжжі відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Щільнодернинна синузія *Ceratodon purpureus*–*Bryum pseudotriquetrum* – syn.**

Діагностичні види: *Ceratodon purpureus*, *Bryum pseudotriquetrum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії представляє *Ceratodon purpureus* (65 %), *Bryum pseudotriquetrum* (30 %) та *Bryum caespiticium* (5 %). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 16,0 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°17'82"; E 024°16'11".

**Синекологія.** На дещо затіненій (інтенсивність освітлення – 74,0–80,0 тис. лк) та зволоженій ділянці (5,9 %), окрім ксеромезофітних геліофітних видів (*Ceratodon purpureus* та *Bryum caespiticium*), угруповання репрезентує гігрофіт (*Bryum pseudotriquetrum*) в асоціації з судинними рослинами: *Betula pendula*, *Pinus sylvestris*, *Calamagrostis epigeios*, *Quercus robur*, *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo* L. та лишайника – *Cladonia ochrochlora*.

**Синхорологія.** Підніжжя відвалу шахти “Надія” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця м. Соснівки).

**Пухкодернинна синузія** *Polytrichum juniperinum* – syn.

Діагностичні види: *Polytrichum juniperinum*

**Синморфологія.** Флористичний склад синузії: *Polytrichum juniperinum* (ПП – 55 %), *Brachythecium glareosum* (ПП – 10 %), *Brachythecium salebrosum* (ПП – 10 %), *Brachythecrastrum velutinum* (ПП – 6 %), *Ceratodon purpureus* (ПП – 5 %), *Cirriphyllum crassinervium* (ПП – 5 %), *Cephalozia bicuspidata* (ПП – 5 %), *Pohlia nutans* (ПП – 4 %). ЗПП мохів – 100 %. Площа ділянки – 1,5 м<sup>2</sup>, координати місцезнаходження – N 50°18'75"; E 024°13'24".

**Синекологія.** Угруповання формують, окрім кальцефіла (*Brachythecium glareosum*), інцертофільні види мохів, здебільшого мезофітні (*Pohlia nutans*, *Brachythecium glareosum*, *Cirriphyllum crassinervium*, *Brachythecrastrum velutinum*, *Brachythecium salebrosum*), тіньові та напівтіньові види бріофітів (*Cirriphyllum crassinervium*, *Brachythecium glareosum*, *B. salebrosum*, *Cephalozia bicuspidata*, *Brachythecrastrum velutinum*) в умовах низької інтенсивності освітлення (25,0–36,0 тис. лк) під наметом дерев (*Quercus robur*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Pinus sylvestris*, *Sórbus aucupária* L.) та

значної вологості поверхневого шару субстрату (11,6 %) з незначним покриттям лишайника *Cladonia ochrochlora*.

**Синхорологія.** Підніжжя відвалу шахти “Візейська” (Львівська обл., Сокальський р-н., околиця с. Сілець).

Результати аналізу бріоугруповань свідчать, що на досліджуваних ділянках породних відвалів переважають щільнодернинні синузії (6) 42,9 %, дещо меншу частку становлять пухкодернинні синузії (5) – 35,7 % та плетивні синузії (3) – 21,4 % в основному в підніжжі самозарослого відвалу шахти “Візейська”. Здебільшого діагностичним видом щільнодернинних синузій на відвалах шахт “Надія” та ЦЗФ є *Ceratodon purpureus*, а пухкодернинних (відвал шахти “Надія” та ЦЗФ) – *Polytrichum piliferum* та *Polytrichum juniperinum* – переважно відвал шахти “Візейська”. Плетивні синузії з діагностичним видом – *Brachythecium glareosum* характерні для відвалів шахт “Надія” та “Візейська”.

#### 4.2. Аналіз структури життєвих форм бріофітних синузій

Завдяки специфічній анатомо-морфологічній будові бріофітів та екологічним особливостям місцевиростань, мохи утворюють притаманні лише для них життєві форми (біоморфологічні структури) [25]. Біоморфи, які сформувались в процесі онтогенезу, відображають пристосованість мохоподібних до комплексу абіотичних та біотичних чинників навколишнього середовища [87].

У здебільшого ксероморфних умовах шахтних відвалів у досліджених бріосинузях переважають види із життєвою формою низької щільної дернини (*Ceratodon purpureus*, *Bryum caespiticium*, *B. argenteum*). Високі дернини формують *Polytrichastrum formosum* та *Sphagnum girgensohnii*, які приурочені до перезволожених умов мікропонижень рельєфу на вершині терикону шахти “Надія”, та *Polytrichum juniperinum*, що репрезентує бріосинузю у підніжжі відвалу шахти “Візейська”. Окрім цього на відвалі

шахти “Візейська”, який є найдавнішим серед териконів і відзначається в основному уже сформованим рослинним покривом, виявлено переважання мохів із біоморфою пухкого чи щільного плетива. Мохоподібні із такою життєвою формою здебільшого є багаторічними стаерами, які поселяються на субстратах після видів поселенців і характеризуються значною тривалістю життя. Це найпоширеніший тип життєвої стратегії в угрупованнях останньої стадії сукцесії в більш-менш стабільних умовах [3]. На відвалі ЦЗФ бріосинузії формують здебільшого щільнодернинні мохи – *Ceratodon purpureus* та *Pohlia nutans*, що уможлиблює виживання мохоподібних в стресових умовах дефіциту вологи та надмірної сонячної радіації.

Показано, що мохи із життєвими формами: подушки і дернини найчастіше траплялися на гірських схилах і оголених породах, тоді як їх відсоток зменшувався на субстратах з більш багатим органічним складом та сприятливішим водним режимом. Такі території здебільшого опановують бріофіти бокоплоди із формою росту плетива та килима [206].

Отже, життєва форма залежить від умов місцезростань мохів на техногенних субстратах, а реалізація життєвих стратегій бріофітів є відображенням їх біоморфної структури. Форма росту – низька щільна дернина – найбільш поширена серед видів мохів з життєвою стратегією поселенці, які є здебільшого піонерними видами при формуванні рослинного покриву на порушених територіях. Заселяючи середовище із несприятливим гідротермічним режимом, бріосинузії утримують вологу та вирівнюють температурні коливання у поверхневому шарі субстрату завдяки ризоїдам, що формують густу сітку.

#### **4.3. Екологічні групи бріофітів залежно від зволоженості, трофності та хімізму техногенного субстрату**

Мохоподібні як невід’ємна складова наземного ярусу багатьох фітоценозів одними з перших заселили породні відвали вугільних шахт та

сформували подекуди майже суцільні ділянки мохового покриву, об'єднані однорідністю субстрату та гомогенністю екологічних умов.

На початкових стадіях заселення на породних відвалах домінував піонерний епігейний вид – *Ceratodon purpureus*. Пізніше на техногенних субстратах поширились й інші види-поселенці з подібними екологічними властивостями: переважно епігейні мохи – *Polytrichum juniperinum*, *Bryum argenteum*, *Dicranella varia* (Hedw.) Schimp., *Pohlia nutans* та факультативний епіліт – *Polytrichum piliferum* [84]. На відвалах вони сформували моно- та маловидові угруповання.

На подальших стадіях сукцесійних процесів в умовах розвиненого деревного ярусу з'являються епігейні види бріофітів, які здебільшого є багаторічними стаєрами: *Brachythecium salebrosum*, *B. albicans*, *Brachytheciastrum velutinum* тощо. Їх присутність в угрупованнях характерна для тераси рекультивованого відвалу шахти “Надія” та тераси і підніжжя самозарослого відвалу шахти “Візейська” з майже сформованим рослинним покривом та відносно стабільним водно-термічним режимом. Оскільки досліджувані відвали відрізняються між собою як за віком, так і ступенем рекультивації й заростання.

Для наймолодшого відвалу ЦЗФ характерними є відкритість експозицій, значна висота та надмірна сонячна радіація. Переважання темної щербистої породи, що досить легко пропускає воду, призводить до дефіциту вологи у субстраті та швидкого його нагрівання. Одним із негативних лімітуючих чинників на відвалі, який суттєво впливає на поширення рослинності, є висока кислотність субстрату (рН 3,6 – 4,3) [62].

Такі екотопи заселили стійкі види-інцертофіли, які представляють мезофітну (*Pohlia nutans*) та ксеромезофітну (*Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*) групи (рис. 4.3.1, 4.3.2). На збіднених на поживні речовини субстратах переважають представники оліготрофної (*Polytrichum piliferum*) та олігомезотрофної груп (*Ceratodon purpureus* та *Pohlia nutans*) (рис. 4.3.3).

На відвалі шахти “Надія” відзначено найбільше різноманіття екологічних груп мохоподібних у бріосинузіях, що пов’язано з різним у часі відсипанням породи та досить гетерогенними умовами місцезростань – від ксероморфних та освітлених (тераса) до перезволожених та значно затінених (вершина).

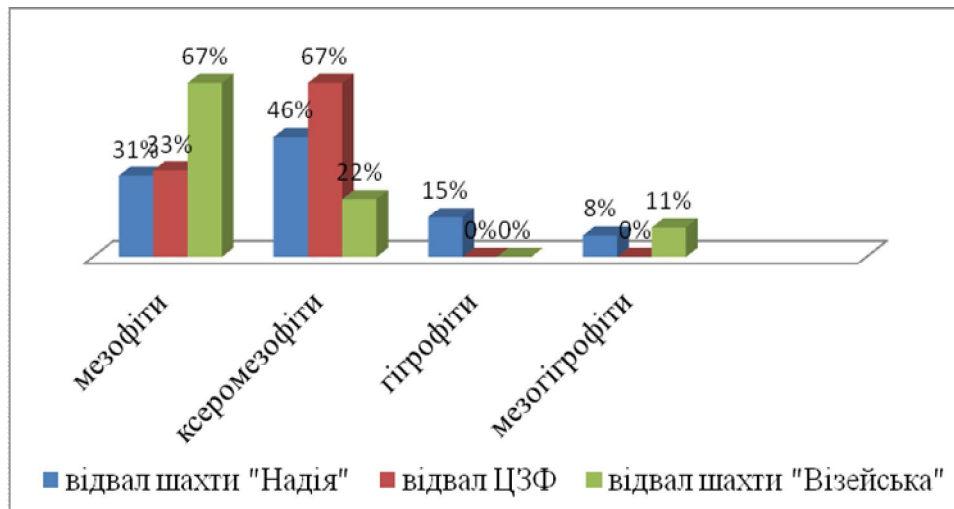


Рис. 4.3.1. Екологічні групи мохоподібних у досліджуваних синузіях за відношенням до вологості субстрату

Імовірно, на поширення мохів впливала проведена на відвалі рекультивация (технічна та біологічна), фрагментованість деревного та трав'яного ярусів, а також активне самозаростання у підніжжі відвалу.

В досліджуваних синузіях відвалу домінують 4 мезофіти – *Sciurohypnum starkei*, *Polytrichastrum formosum*, *Brachythecium glareosum*, *Rhynchostegium murale*, 6 ксеромезофітів – *Brachythecium albicans*, *Bryum caespiticium*, *B. argenteum*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum piliferum*, *Campylopus introflexus*, 2 гігрофіти – *Aulacomnium palustre*, *Bryum pseudotriquetrum* та мезогігрофіт – *Sphagnum girgensohnii* (рис. 4.3.1).

За відношенням до хімізму субстрату домінуючу позицію займають інцертофіли (6) – *Polytrichum piliferum*, *Aulacomnium palustre*, *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *Sciurohypnum starkei*, *Rhynchostegium murale*. Групу ацидофілів репрезентують 3 види мохоподібних – *Sphagnum*

*girgensohnii*, *Campylopus introflexus*, *Polytrichastrum formosum*. Досліджувані угруповання представляють 2 кальцефіли (*Brachythecium glareosum*, *Bryum pseudotriquetrum*), галофіл (*Brachythecium albicans*) та індиферентний вид – *Bryum caespiticium* (рис. 4.3.2).

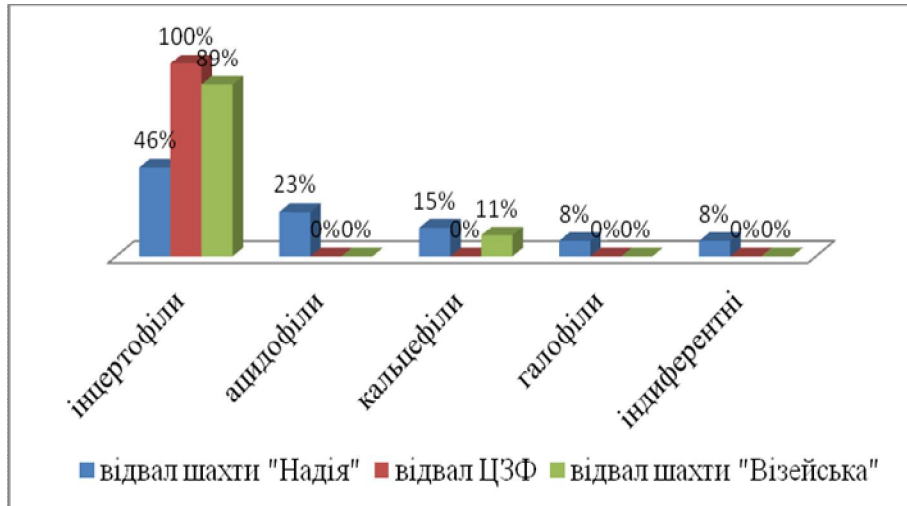


Рис. 4.3.2. Екологічні групи мохоподібних у досліджуваних синузях за відношенням до хімізму субстрату

За трофністю в бріосинузях переважають мезотрофи (*Aulacomnium palustre*, *Sphagnum girgensohnii*, *Rhynchostegium murale*, *Polytrichastrum formosum*) та олігомезотрофи (*Campylopus introflexus*, *Ceratodon purpureus*, *Brachythecium albicans*, *Bryum argenteum*). Меншу частку становлять мезоевтрофи – *Bryum caespiticium*, *Brachythecium glareosum*, *Sciurohypnum starkei*, евтроф – *Bryum pseudotriquetrum* та оліготроф – *Polytrichum piliferum* (рис. 4.3.3).

Відвал недіючої шахти “Візейська” є найдавнішим серед інших досліджуваних відвалів, відсіпання породи на якому завершено в 70-х роках минулого сторіччя. Відзначено зімкнення рослинного покриву на породному відвалі у напрямку від вершини до підніжжя. Серед видового різноманіття досліджуваних угруповань найбільша кількість мохів представляє групу мезофітів з помірною потребою у зволоженні (*Brachythecium glareosum*, *Brachythecium salebrosum*, *Cirriphyllum crassinervium*, *Brachytheciastrum*

*velutinum*, *Amblystegium serpens*, *Pohlia nutans*) і лише 2 види мохів належать до ксеромезофітів – *Ceratodon purpureus* та *Polytrichum juniperinum*.

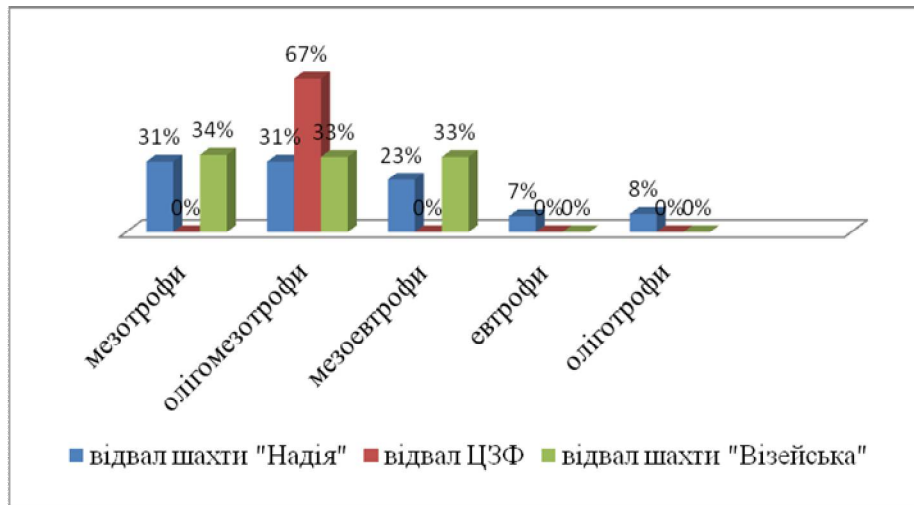


Рис. 4.3.3. Екологічні групи мохоподібних у досліджуваних синузях за відношенням до трофності субстрату

У мохових синузях відвалу встановлено лише 1 мезогігрофіт – *Cephalozia bicuspidata*. За відношенням до хімізму субстрату найбільшу групу становлять інцертофіли (8) – *Pohlia nutans*, *Polytrichum juniperinum*, *Ceratodon purpureus*, *Amblystegium serpens*, *Cirriphyllum crassinervium*, *Brachythecium salebrosum*, *Brachytheciastrum velutinum*, *Cephalozia bicuspidata*. І лише *Brachythecium glareosum* представляє групу кальцефілів. За трофністю виявлено однакові за чисельністю групи (по 3 види) мезотрофітів (*Brachythecium salebrosum*, *Cirriphyllum crassinervium*, *Brachytheciastrum velutinum*), олігомезотрофітів (*Pohlia nutans*, *Ceratodon purpureus*, *Polytrichum juniperinum*) та мезоевтрофітів (*Amblystegium serpens*, *Brachythecium glareosum*, *Cephalozia bicuspidata*).

Отже, проведені дослідження екологічної структури мохоподібних свідчать, що за відношенням до вологості субстрату на досліджуваних ділянках відвалів переважають види ксеромезофітної та мезофітної груп (відвали ЦЗФ та шахти “Надія”), на відвалі шахти “Візейська” значний



відсоток займають мезофіти та менше – ксеромезофіти і мезогірофіти. За відношенням до трофності субстрату на шахтних відвалах провідне місце належить видам олігомезотрофної групи, а за відношенням до хімізму субстрату – інцертофілам.

#### 4.4. Диференціація мохоподібних за географічними елементами у трансформованому середовищі

Дослідження географічної структури мохоподібних дають можливість встановити етапи розвитку мохового покриву та оцінити специфіку впливу мінливих екологічних умов трансформованого середовища на формування рослинного покриву [26]. У бріюфлорі досліджуваних синузій виділено 6 географічних елементів: бореальний, космополітний, неморальний, бореально-неморальний, бореально-монтанний та середземноморсько-неморальний (рис. 4.4.1).

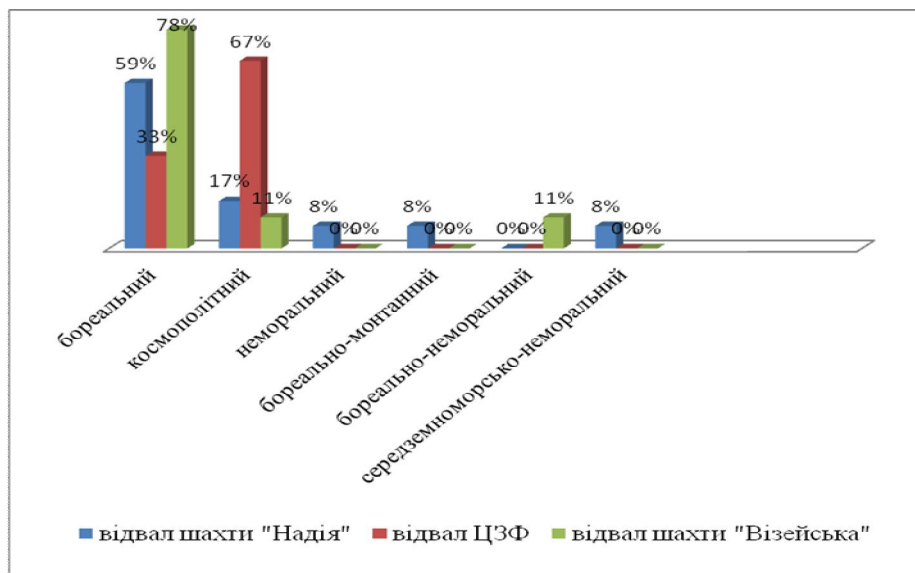


Рис. 4.4.1. Частка географічних елементів у бріюсинузіїях на породних відвалах вугільних шахт

Найбільшу частку (65 % від загальної кількості досліджуваних мохоподібних у бріюсинузіїях) становлять види бріюфітів, які представляють

бореальний елемент (13 видів бріофітів) – *Polytrichum piliferum*, *P. juniperinum*, *Sciurohypnum starkei*, *Brachythecium glareosum*, *B. albicans*, *B. salebrosum*, *Brachytheciastrum velutinum*, *Bryum caespiticium*, *B. pseudotriquetrum*, *Pohlia nutans*, *Aulacomnium palustre*, *Cephalozia bicuspidata*, *Cirriphyllum crassinervium*.

На досліджуваних відвалах бореальні види мохів здебільшого приурочені до зволжених та затінених місцезростань: в умовах мікропонижень рельєфу та підніжжя відвалів із самозаростанням деревних та трав'яних рослин.

Меншу частку видового різноманіття представляють космополіти – *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum* та *Campylopus introflexus* (3 види – 15 %). Слід зазначити, що *Ceratodon purpureus* за частотою трапляння на дослідженій території займає провідне місце серед інших бріофітів [62]. Він є одним із синантропних видів, які часто утворюють піонерні заростання на різних типах субстратів, завдяки стійкості до несприятливого впливу абіотичних чинників трансформованого середовища [8].

Виявлено, що в рівнинно-степовому Криму мох трапляється майже виключно на територіях, які зазнали змін внаслідок людської діяльності [45]. Окрім того, встановлено, що значна присутність *Ceratodon purpureus* на техногенних субстратах вказує на ксерофітизацію середовища, яке суттєво відрізняється від природних екоотопів регіону [130].

Виявлено, що значна кількість космополітних толерантних до впливу антропогенно зміненого середовища видів є найчастішими компонентами селітебних територій (звалища сміття, житлові квартали, вулиці міст, канами тощо) [100].

У спектрі географічних елементів однакову частку (по 5 %) у бріосинузіях займають: неморальний (*Polytrichastrum formosum*), поширення якого пов'язане з широколистяними лісами Голарктики [27]. бореально-неморальний – *Amblystegium serpens*, бореально-монтанний (*Sphagnum girgensohnii*), який, окрім поширення у зоні тайги Голарктики, приурочений

до місцезростань у гірських масивах та термофільний середземноморсько-неморальний – *Rhynchostegium murale*.

Отже, неспецифічні гідротермічні та фізико-хімічні властивості породних відвалів обумовили особливості поширення бріофлори та формування бріосинузій з різним видовим складом, життєвими формами (щільно- та пухкодернинні, плетивні) та екологічною приуроченістю щодо вологості, хімізму та трофності субстрату. Внаслідок антропогенного впливу техноземи відвалів заселили синантропні види, зокрема *Ceratodon purpureus*, який займає домінуючу позицію щодо частоти трапляння на шахтних відвалах та проективного покриття у бріосинузіях. Поєднання як статевого, так і безстатевого розмноження мохоподібних забезпечує їх експансію на гетерогенній території внаслідок видобутку вугілля.

На досліджуваних ділянках породних відвалів найчисельнішою є група мохоподібних бореального типу, яка приурочена до зволжених та затінених місцезростань. Збільшення частки космополітних елементів у бріосинузіях та значна частота їх трапляння зумовлена широкою екологічною амплітудою видів бріофітів, що дає можливість заселяти техногенні території з екстремальними або з досить мінливими умовами.

## РОЗДІЛ 5

### ОЦІНКА ВПЛИВУ БРІОСИНУЗІЙ НА УМОВИ СУБСТРАТІВ ПОРОДНИХ ВІДВАЛІВ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

#### 5.1. Порівняльний аналіз сезонних змін мікрокліматичних умов (вологості, температури, рН) під моховими дернинами та у субстраті без рослин залежно від положення на відвалах

В окремих публікаціях показано, що мохоподібні, які приурочені до місцезростань в різних кліматичних умовах, здатні оптимізувати температурний мікрорежим як в дернині, так і у верхньому шарі ґрунту [152; 170]. Слугуючи своєрідним буфером між навколишнім середовищем та ґрунтом, бріофітний покрив нівелює добові та сезонні температурні флуктуації і таким чином захищає від впливу екстремальних температур як насіння, так і проростки вищих судинних рослин [127; 161; 205].

Відзначено, що у квітні та жовтні на досліджуваних ділянках відвалів температурний показник під дернинами мохоподібних був здебільшого вищим, а у липні – нижчим, порівняно із субстратом без рослин (табл. 5.1.1–5.1.3). Різниця мінливості температур в техноземах під моховими дернинами і без них становила у квітні – 0,1 – 0,8 °С, липні – 0,3 – 2,7 °С та жовтні – 0,2 – 2,8 °С відповідно.

Весною на вершині відвалу шахти “Надія” амплітуда змін температурних показників під мохом була від 11,1 °С (за інсоляції – 80,0-88,0 тис. лк та вологості повітря – 43,0 %) до 19,4 °С (за інсоляції – 20,0-33,0 тис. лк та вологості повітря – 65,0 %) , у субстраті без рослин – 10,6 °С – 17,5 °С. У липні температура у техноземі без бріофітного покриву максимально збільшувалась до 33,9 °С, водночас під дернинкою моху *Polytrichastrum formosum* знижувався на 2,2 °С. У жовтні під мохом було тепліше на 2,8 °С, порівняно із субстратом без рослин.

Таблиця 5.1.1

Вплив мохів бріофітних синузій на температурний режим субстратів на відвалах ЦЗФ та шахт “Надія” і “Візейська” (квітень 2013–2015рр).

№ ділянки	Назва видів у бріофітних синузях	Діапазон мінливості інсоляції, тис. лк	Відносна вологість повітря, %	Температура, °С		
				повітря	під мохом	у СБР
<b>Відвал шахти “Надія”- вершина</b>						
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	20,0-33,0	65,0±11,4	22,5±1,3	19,4±1,8	17,5±2,1
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	23,0-38,0	48,0±10,8	24,0±1,4	12,3±0,3	12,3±0,2
3	<i>Campylopus introflexus</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	80,0-88,0	43,0±9,6	23,0±2,1	11,4±0,9 11,1±0,7	10,6±0,9
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	70,0-85,0	44,0±10,4	23,4±2,5	11,5±0,4	10,6±0,8
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	90,0-95,0	42,0±11,3	30,0±1,2	16,3±0,8	15,2±0,6
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	78,0-85,0	41,0±8,7	27,1±2,1	17,2±1,3	16,0±0,5
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Bryum caespiticium</i>	55,0-68,0	49,0±9,4	25,0±2,0	12,7±1,2	12,0±1,2
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	53,0-63,0	46,0±10,0	25,4±2,5	11,0±0,6	11,0±0,8
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	38,0-58,0	32,0±10,4	24,1±1,2	10,9±0,8	10,8±0,9
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	54,0-74,0	35,0±7,8	23,5±2,2	10,5±0,3	10,1±0,6
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	87,0-97,0	33,0±10,0	27,3±2,8	11,4±0,6	10,3±0,4
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	69,0-79,0	33,0±10,0	26,6±2,3	11,2±0,7 11,6±0,8	10,2±0,6
<b>Тераса</b>						
1	<i>Brachythecium glareosum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	30,0-45,0	49,0±13,1	24,8±1,3	10,4±0,8 10,0±0,9	9,4±0,5
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	9,0-19,0	61,0±14,1	19,6±1,2	8,0±0,6 8,4±0,7	8,0±0,9

Примітка: тут і надалі – СБР – субстрат без рослин

Під покривом *Campylopus introflexus* та *Ceratodon purpureus* температура була нижчою на 0,9 °С та 1,9 °С відповідно, порівняно з температурою у субстраті без мохів. Причому під *C. purpureus* було дещо холодніше, ніж під *C. introflexus* (на 1,0 °С), що пов’язано, ймовірно, із

біоморфологією мохових дернин. У квітні на відкритій терасі відвалу під мохоподібними було тепліше, ніж у субстраті без рослин. Різниця температур між субстратами під *Ceratodon purpureus* і *Brachythecium glareosum* та без них становила 1,3 °С та 2,0 °С відповідно.

Таблиця 5.1.2

Вплив мохів бріофітних синузій на температурний режим субстратів на відвалах ЦЗФ та шахт “Надія” і “Візейська” (липень 2013–2015рр.)

№ ділянки	Назва видів у бріофітних синузій	Діапазон мінливості інсоляції, тис. лк	Відносна вологість повітря, %	Температура, °С		
				повітря	під мохом	у СБР
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>						
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>	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
<b>Тераса</b>						
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
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Bryum caespiticium</i>	76,0-88,0	39,0±8,5	32,0±2,0	24,1±1,5	24,9±1,7
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
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>						
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
<b>Тераса</b>						
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
<b>Відвал шахти “Візейська”- вершина</b>						
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
<b>Тераса</b>						
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
<b>Підніжжя</b>						
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

У липні локальні процеси окиснення породи, які супроводжуються горінням, та висока інсоляція (95-100 тис. лк) значно підвищили температуру техногенних субстратів, яка під *Ceratodon purpureus* становила 46,0 °С, у субстраті без рослин – 44,1 °С.

Таблиця 5.1.3

Вплив мохів бріофітних синузій на температурний режим субстратів на відвалах ЦЗФ та шахт “Надія” і “Візейська” (жовтень 2013–2015рр.)

№ ділянки	Назва видів у бріофітних синузій	Діапазон мінливості інсоляції, тис. лк	Відносна вологість повітря, %	Температура, °С		
				повітря	під мохом	у СБР
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>						
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	20,0-30,0	77,0±15,6	21,3±2,2	20,1±2,6	19,0±0,9
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	20,0-35,0	56,0±11,7	19,5±1,9	10,5±0,5	10,0±0,4
3	<i>Campylopus introflexus</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	75,0-85,0	47,0±8,6	24,6±1,6	12,0±1,6 12,1±2,6	12,0±0,9
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	65,0-75,0	47,0±7,3	22,6±1,4	10,9±1,3	10,9±0,8
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	90,0-95,0	41,0±6,4	25,0±2,6	22,0±1,7	23,0±1,9
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	67,0-77,0	49,0±6,3	18,5±1,2	11,7±0,6	11,0±0,2
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Bryum caespiticium</i>	53,0-60,0	56,0±9,2	20,0±2,1	12,7±1,2	11,6±1,3
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	50,0-60,0	52,0±8,4	20,4±1,6	11,0±0,9	11,0±0,6
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	30,0-40,0	37,0±9,1	18,7±1,1	5,0±0,3	3,8±0,2
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	52,0-70,0	34,0±8,1	19,3±1,8	6,7±0,4	6,7±0,8
<b>Тераса</b>						
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	74,0-84,0	30,0±6,8	23,1±2,0	10,0±0,8	9,0±0,7
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	58,0-78,0	33,0±7,4	24,8±2,1	12,1±0,6 10,5±1,8	10,0±0,9
<b>Тераса</b>						
1	<i>Brachythecium glareosum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	20,0-30,0	53,0±10,6	18,6±1,4	3,4±0,2 5,0±0,2	3,0±0,4
<b>Підніжжя</b>						
1	<i>Polytrichum juniperinum</i> <i>Ceratodon purpureus</i>	7,0-17,0	70,0±12,0	13,3±1,1	3,0±0,3 2,8±0,5	2,0±0,2

У жовтні під дерниною було холодніше, ніж у субстраті, не покритому мохом, на 1,2 °С, на що, ймовірно, впливали процеси горіння в техноземі визначеної ділянки, а під *Brachythecium glareosum* температурний показник піднімався вище, порівняно із незадернованим субстратом, на 1,1 °С.

У квітні на вершині відвалу ЦЗФ (за інсоляції – 38,0-58,0 тис. лк та вологості атмосферного повітря – 32,0 %) температура технозему під *Ceratodon purpureus* була на рівні температури субстрату без моху, під *Polytrichum piliferum* (інсоляція – 54,0-74,0 тис. лк, вологість повітря – 35,0 %) підвищувалась на 0,1 °С (табл. 5.1.1). У липні за відносної вологості повітря – 31,0 % та інтенсивності освітлення в діапазоні 83,5-90,5 тис. лк температурний показник під дерниною *Polytrichum piliferum*, порівняно із субстратом, не заселеним мохом, максимально знижувався на 0,8 °С. Слід зазначити, що відкритість експозиції та висота відвалу ЦЗФ (вище 70 м) значною мірою впливали на вологість атмосферного повітря: його відсоток змінювався в межах 29,0 % – 31,0 % і був найнижчим серед показників на інших досліджуваних териконах, окрім тераси відвалу шахти “Надія” (табл. 5.1.2).

У жовтні під *Ceratodon purpureus* температура підвищувалась на 1,3 °С, порівняно із субстратом без рослин (табл. 5.1.3). На терасі відвалу під *C. purpureus* температура субстрату була на 1,3 °С (навесні) та 1,1 °С (восени) більшою, ніж у субстраті без мохового покриву.

Влітку за значної інтенсивності сонячної радіації – 95-100 тис. лк встановлено температурний максимум в незадернованому субстраті – 37,2 °С, водночас під покривом *C. purpureus* температура знижувалась на 2,7 °С.

Впродовж весняно-осіннього періоду 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 із поступовим збільшенням щільності рослинного покриву, що вплинуло на зменшення інтенсивності освітлення поверхні технозему (у квітні – від 69,0– 79,0 тис. лк до 9,0–19,0 тис. лк, липні – від 89–



96 тис. лк до 25–36 тис. лк, жовтні – від 58,0–78,0 тис. лк до 7,0–17,0 тис. лк) та підвищення вологості атмосферного повітря (у квітні від 33,0 % до 61,0 %, липні – від 32,0 % до 55,0 % та жовтні – від 33,0 % до 70,0 %). У квітні та жовтні субстрат під бріофітами охолоджувався менше, ніж незадернований.

Навесні на терасі відвалу температурний показник під дернинами мохів, зокрема під *Brachythecium glareosum*, максимально зростав на 1,3 °С, порівняно з субстратом, не заселеним мохами. У липні температура в субстраті без рослин піднімалась до 26,2 °С, тоді як під дернинками мохів *Brachythecium glareosum* та *Ceratodon purpureus* знижувалась на 2,0 °С та 2,1 °С відповідно. Восени під щільнодернинним мохом було тепліше на 1,8 °С, ніж в субстраті без бріофітного покриву.



Рис. 5.1.1. Температурний показник (49 °С) у приповерхневому шарі субстрату на терасі відвалу шахти “Надія” під бріосинузією *Ceratodon purpureus*–*Bryum argenteum*– syn. (липень 2014р.).

У липні зменшення температурних показників відзначено під моховим покривом не лише у затінених локалітетах (угруповання 1 на вершині відвалу

шахти “Надія”), а й відкритих місцезростаннях (тераси відвалів ЦЗФ та шахти “Надія”). Істотним температурним змінам сприяють бріосинузії, представлені насамперед *Ceratodon purpureus*, який в несприятливих умовах терас утворює найбільш щільні дернини, що здатність протягом тривалого часу утримувати капілярну вологу і таким чином змінювати температуру поверхневого шару субстрату.

Водний режим має вагомe значення для функціонування рослинного організму, його адаптації до умов існування, так як впливає на ріст та розвиток, активність процесів метаболізму, інтенсивність газообміну. У мохоподібних відсутня ефективна система регуляції вмісту води в організмі: вони здатні як до швидкої втрати її в клітинах, так і до швидкої регідратації [202]. Тобто гідратура їх клітин залежить від водного режиму навколишнього середовища. В умовах дефіциту вологи мохи здатні переходити до стану криптобіозу, таким чином без шкоди для життєдіяльності мохових дернин витримувати значне зневоднення [146], а при сприятливіших умовах відновлювати всі життєво важливі функції.

Рослинам моху притаманна висока поглинальна здатність, що сприяє акумуляції вологи, яку бріофіти можуть отримувати не тільки з опадів, а й туману та роси [91]. Утворюючи густу ризоїдну повсть, мохоподібні здатні утримувати вологу у приповерхневому шарі субстрату, таким чином сприяти оптимальному водно-температурному режиму [54; 127; 194].

Результати наших досліджень свідчать, що під покривом бріофітів вологість субстратів у весняно-осінній період завжди була вищою, порівняно з техноземом без рослин (табл. 5.1.4 – 5.1.6). На вершині відвалу шахти “Надія” навесні та влітку відзначено найбільшу мінливість відносного вмісту вологи і в дернині моху (11,1 – 93,3 % – квітень, 9,5 – 93,0 % – липень), і під нею (8,1 – 48,3 % – квітень, 3,0 – 37,8 % – липень) відповідно.

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 у квітні – 2,7 %, липні – 0,4 %, жовтні – 5,5 %) змінюються значно вологішими на вершині (у квітні – 48,3 %, липні – 37,8 %, жовтні – 56,3 %).

Таблиця 5.1.4

Вплив мохового покриву на вміст вологи (%) у верхньому шарі техногенного субстрату породних відвалів (квітень 2013–2015 рр.)

№ Ділянки	Назва видів у бріосинузіях	Вміст вологи, %		
		у моховій дернині	під моховою дерниною	у субстраті без рослин
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	93,3±2,7*	48,3±6,7*	8,0±1,2
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	38,3±5,2*	13,7±0,3*	8,3±0,3
3	<i>Campylopus introflexus</i>	11,7±0,3*	8,7±0,3*	5,1±0,1
	<i>Ceratodon purpureus</i>	11,1±0,1*	8,1±0,2*	
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	15,0±0,1*	9,0±0,3*	4,7±0,3
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	8,7±0,9*	2,7±0,3*	1,1±0,2
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	10,2±0,1*	5,8±0,1	2,6±0,2
<b>Підніжжя</b>				
1	<i>Bryum caespiticium</i>	16,8±2,0*	4,8±0,2	3,9±0,1
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	16,7±1,9*	4,3±0,1*	3,0 ±0,2
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	3,8±0,4*	2,6±0,3	2,0±0,2
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	2,7±0,3*	1,5±0,3*	0,4±0,2
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	2,2±0,2*	1,2±0,2	0,7±0,1
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	8,2±0,3*	3,8± 0,4*	2,5±0,2
	<i>Ceratodon purpureus</i>	7,8±0,2*	3,0±0,2	
<b>Тераса</b>				
1	<i>Brachythecium glareosum</i>	28,8±0,5*	14,8±0,1*	9,4±0,1
	<i>Ceratodon purpureus</i>	27,1±0,8*	13,9±0,3*	
<b>Підніжжя</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	87,6±1,0*	21,8 ±1,1*	18,9±1,8
	<i>Ceratodon purpureus</i>	85,1±1,2*	20,3±1,3	

Примітка: тут і надалі \* – різниця порівняно з контролем (субстрат без рослин) статистично достовірна при  $p < 0,05$ .

Слід зазначити, що в таких умовах мікропонижень рельєфу гаметофіт верхоплідного ендогідричного виду *Polytrichastrum formosum* впродовж квітня-липня-жовтня утримував більш як 93,0 % води. Під дерниною моху

було значно вологіше, ніж в субстраті без рослин (показник зволоження незаселеного мохом технозему був меншим у квітні – у 6,0 разів, липні – у 4,8 рази та жовтні – у 4,5 разів).

Таблиця 5.1.5

Вплив мохового покриву на вміст води (%) у верхньому шарі техногенного субстрату породних відвалів (липень 2013–2015 рр.)

№ ділянки	Назва видів у бріосинузіях	Вміст води, %		
		у моховій дернині	під моховою дерниною	у субстраті без рослин
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	93,0±2,3*	37,8±1,7*	7,9±0,3
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	9,5±0,6*	3,6±0,4*	3,0±0,5
3	<i>Campylopus introflexus</i>	9,9±0,5*	3,0±0,2*	2,4±0,2
	<i>Ceratodon purpureus</i>	10,1±0,7	3,3±0,3	
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	11,6±0,4*	3,4±0,1	2,5±0,2
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	2,0 ±0,1*	0,4±0,03	0,2±0,1
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	6,2±0,6*	4,5±0,3*	0,9±0,1
<b>Підніжжя</b>				
1	<i>Bryum caespiticium</i>	9,5±0,7*	5,2±0,2	1,7±0,2
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	8,6±0,9*	5,9±0,2	1,8±0,2
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	3,4±0,1*	2,3±0,3	1,6±0,2
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	2,9±0,2*	1,0±0,07*	0,2±0,03
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	1,9±0,2*	0,6±0,03*	0,4±0,03
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	3,1±0,4*	2,5±0,2*	1,1±0,1
	<i>Ceratodon purpureus</i>	2,3±0,1*	1,9±0,3	
<b>Тераса</b>				
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	
<b>Підніжжя</b>				
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	

У підніжжі відвалу різниця відносного вмісту води між субстратом, покритим *Ceratodon purpureus*, та без нього, була максимальною: у квітні – 1,2 %, липні – 4,1 % та жовтні – 6,5 % (табл. 5.1.4 – 5.1.6).

На вершині відвалу ЦЗФ за найменшого вмісту вологи у субстраті без рослин (у квітні – 0,4 %, липні – 0,2 %, жовтні – 2,6 %) її відсоток під покривом моху *Polytrichum piliferum* та в гаметофіті підвищувався (у квітні – в 3,8 та 6,8 разів, липні – в 5,0 та 14,5 рази та жовтні – в 1,6 та 4,4 рази відповідно).

Таблиця 5.1.6

Вплив мохового покриву на вміст вологи (%) у верхньому шарі техногенного субстрату породних відвалів (жовтень 2013–2015 рр.)

№ ділянки	Назва видів у бріосинузіях	Вміст вологи, %		
		у моховій дернині	під моховою дерниною	у субстраті без рослин
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	94,1±0,8*	56,3±1,9*	11,3±0,7
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	46,0±1,3*	16,6±0,4*	9,2±0,3
3	<i>Campylopus introflexus</i>	28,2±0,2*	13,8±0,2	13,1± 0,4
	<i>Ceratodon purpureus</i>	26,4±1,1*	15,4±0,8	
4	<i>Polytrichum piliferum</i>	32,6±0,5*	14,0±0,3	12,6±0,2
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	11,9±1,0*	5,5±0,2*	1,3±0,1
2	<i>Brachythecium glareosum</i>	13,5±0,2*	6,7±0,1	3,9± 0,1
<b>Підніжжя</b>				
1	<i>Bryum caespiticium</i>	27,2±1,4*	13,0±1,0*	6,8±0,5
2	<i>Ceratodon purpureus</i>	24,0±0,3*	12,0±0,3*	5,6±0,2
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	5,0±0,7*	3,2±0,4	2,7±0,2
2	<i>Polytrichum piliferum</i>	11,4±0,4*	4,1±0,03*	2,6± 0,2
<b>Тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	10,0±0,1*	4,8±0,2*	2,8±0,03
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	11,2±0,2*	5,7±0,5*	3,8±0,2
	<i>Ceratodon purpureus</i>	10,4±1,2*	4,8±0,8	
<b>Тераса</b>				
1	<i>Brachythecium glareosum</i>	57,6±2,0*	20,9±1,0*	10,3±0,2
	<i>Ceratodon purpureus</i>	53,7±5,0*	19,8±1,2*	
<b>Підніжжя</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	89,1± 2,0*	26,8±0,2*	20,8±1,0
	<i>Ceratodon purpureus</i>	87,7±3,1*	26,6±2,5	

Під *Ceratodon purpureus* відносний вміст вологи підвищувався у квітні до 2,6 % , липні – до 2,3 %, жовтні – до 3,2 %, що у квітні в 1,3 рази, липні – в 1,4 рази та жовтні – в 1,2 рази більше, ніж у техноземі без мохових дернин.

У ксероморфних умовах тераси відвалу показник водного режиму у субстраті без бріофітного покриву становив: у квітні – 0,7 %, липні – 0,4 % та жовтні – 2,8 %, під *C. purpureus* збільшувався у квітні – до 1,2 %, липні – до 0,6 %, жовтні – до 4,8 %, у пагонах моху – у квітні – до 2,2 %, у липні – до 1,9 % та жовтні – до 10,0 %. Низький вміст вологи на відвалі, мабуть, спричиняли відкритість експозиції та значна висота його схилів (до 70-80 м), що стало передумовою для підвищеної швидкості вітру, яка не властива для даного регіону.

На відвалі шахти “Візейська” мінливість показників відносного вмісту вологи в субстраті, не заселеним бріофітами, була: у квітні – 2,5 % – 18,9 %, липні – 1,1 % – 7,6 %, жовтні – 3,8 % – 20,8 %, під мохоподібними – у квітні – 3,0 % – 21,8 %, липні – 1,9 % – 11,6 % та жовтні – 4,8 % – 26,8 % (табл. 5.1.4 – 5.1.6).

Впродовж весняно-осіннього періоду найбільшу кількість вологи утримували мохи *Polytrichum juniperinum* та *Ceratodon purpureus* у підніжжі відвалу, найменшу – на вершині. Таку ж тенденцію відзначали і в субстратах як під мохоподібними, так і без них, що значною мірою залежало від щільності рослинного покриву, яка збільшувалась у напрямку від вершини до підніжжя внаслідок самозаростання породного відвалу.

Отже, вологість поверхневого шару субстрату під бріофітними синузіями, навіть за екстремальних температур липня, завжди була більшою, ніж у субстраті без рослин.

Моховий покрив завдяки значній водоутримувальній здатності дернин сприяв стабілізації мікроумов техносубстрату. Максимальну різницю вологості встановлено на вершині відвалу шахти “Надія” під впливом бріосинузії, найбільший вміст у якій належить ендогідричному моху *Polytrichastrum formosum*. Для нього характерна як зовнішня, так і внутрішня

провідність води завдяки наявності елементів провідної системи – трахеїдоподібних клітин (гідроїдів) та ситоподібних трубок – пагони транспортують і зберігають воду у моховій підстилці. Під впливом ектогідричних мохів – *Ceratodon purpureus*, *Campylopus introflexus* бріосинузії істотно впливали на водний режим субстрату завдяки високій поглинальній і водоутримуючій здатності густооблиствених пагонів, особливо їх бурої частини, яка втрачає вологу набагато повільніше. Встановлена висока ізоляційна здатність для бріосинузій із життєвою формою пухкого плетива у бокоплідних мохів *Brachythecium glareosum* та *Sciurohypnum starkei*.

Хімічна реакція субстрату є визначальною в контексті формування рослинного покриву у середовищі. Екологічна пластичність бріофітів до реакції середовища дає змогу заселяти часом непридатні для існування іншими рослинами едафотопи та займати особливі екологічні ніші. Завдяки специфічним властивостям метаболізму, мохові дернини здатні змінювати хімічну реакцію субстрату, внаслідок чого мінеральні сполуки переходять у ґрунтові розчини, що, у свою чергу, що підвищує доступність поживних речовин для рослинних організмів [127; 91; 136].

Порівняльний аналіз сезонної динаміки актуальної кислотності свідчить, що під дернинками моху рН значення субстрату здебільшого підвищувалось, порівняно із субстратом без рослин.

На вершині відвалу шахти “Надія” показники кислотності під бріофітним покривом змінювались впродовж квітня-жовтня – рН 6,0–6,2–6,0, в субстраті без рослин – 5,9–5,8–5,85, тобто значення рН під дернинками протягом весняно-осіннього періоду було вищим, ніж у субстраті без рослин. На терасі відвалу моховий покрив здебільшого підкислював верхній шар технозему (табл. 5.1.7). Як у субстраті без *Ceratodon purpureus*, так і під ним підніжжя відвалу значення рН було найвищим: у межах рН 7,28–7,39 – у квітні, 7,18–7,27 – у липні та 7,10–7,22 – жовтні відповідно. Такий не властивий для техногенних субстратів породних відвалів рівень рН

зумовлений, мабуть, проведенням рекультивації, тобто нанесенням шару суглинкових чи супіщаних ґрунтосумішей. Як відомо з літературних джерел, субстрати глинистої та піщаної природи характеризуються слаболужною реакцією [14].

Таблиця 5.1.7

Сезонна динаміка кислотності верхнього шару субстрату  
на породних відвалах вугільних шахт (2013–2015 рр.)

Назва видів у бріофітних синузях	Значення рН					
	під мохом			у субстраті без рослин		
	к	л	ж	к	л	ж
<b>Відвал шахти "Надія" - вершина</b>						
<i>Polytrichastrum formosum</i>	5,70 ±0,12	5,65±0,02*	5,65 ±0,01*	5,90±0,10	5,84±0,02	5,85±0,01
<i>Sciurohypnum starkei</i>	5,95 ±0,02*	6,00±0,20	6,02±0,03	5,85±0,02	5,88±0,04	5,88± 0,05
<i>Campylopus introflexus</i>	6,00±0,06	6,10±0,06	6,00±0,12	6,05±0,02	5,9±0,15	6,0±0,06
<i>Polytrichum piliferum</i>	5,66±0,03*	5,76±0,15	5,69±0,02 *	6,05±0,02	5,9±0,14	6,0±0,06
<b>Тераса</b>						
<i>Ceratodon purpureus</i>	5,76±0,03*	5,80±0,15	5,85± 0,08	6,05± 0,03	6,05±0,17	6,08±0,05
<i>Brachythecium glareosum</i>	5,74 ±0,01*	5,70±0,09	5,76± 0,06*	6,01±0,01	6,0±0,09	6,04±0,02
<b>Підніжжя</b>						
<i>Bryum caespiticium</i>	6,00±0,1	6,15±0,07	6,20±0,1	5,80±0,08	5,85±0,1	5,85±0,1
<i>Ceratodon purpureus</i>	7,39±0,01	7,03±0,04	7,22±0,02*	7,28± 0,05	7,27±0,07	7,10±0,02
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>						
<i>Ceratodon purpureus</i>	4,68±0,01*	4,63±0,18	4,80±0,12	4,40±0,01	4,35±0,17	4,41±0,02
<i>Polytrichum piliferum</i>	4,60±0,01*	4,60±0,04	4,64±0,02 *	4,25±0,02	4,28±0,04	4,30±0,06
<b>Тераса</b>						
<i>Ceratodon purpureus</i>	4,70±0,06*	4,70±0,10*	5,00± 0,12*	3,60±0,12	3,59±0,06	3,63±0,04
<b>Відвал шахти "Візейська" – вершина</b>						
<i>Polytrichum juniperinum</i>	4,71±0,01*	4,70±0,14	4,82± 0,06	4,61±0,01	4,6±0,15	4,65±0,1
<i>Ceratodon purpureus</i>	4,63±0,26	4,70±0,04	4,67±0,32			
<b>Тераса</b>						
<i>Brachythecium glareosum</i>	6,65±0,02	6,62±0,05	6,59±0,02	6,6±0,01	6,50±0,03	6,56±0,02
<i>Ceratodon purpureus</i>	6,60±0,15	6,70±0,03*	6,63±0,15			
<b>Підніжжя</b>						
<i>Polytrichum juniperinum</i>	5,96±0,01*	5,90±0,03*	6,00±0,06	6,01±0,01	6,1±0,06	6,0±0,06
<i>Ceratodon purpureus</i>	6,03±0,09	5,90±0,06	6,03±0,15			

Примітки: к-квітень; л-липень; ж-жовтень.



Установлено, що у квітні рН значення під дернинами моху підвищувалось (до рН 7,39), порівняно із субстратом без рослин, вочевидь, в результаті вимивання низхідними талими потоками води лужних елементів із схилів рекультивованого відвалу та затримання їх у ризоїдному шарі субстрату.

Уже у липні завдяки інтенсифікації метаболічних процесів у рослинах моху, встановлено суттєве зниження показника рН на 0,36 од., порівняно з весняними показниками, а різниця між значенням рН в субстраті без рослин була 0,24 од. (табл. 5.1.7). У жовтні актуальна кислотність під дернинками дещо знижувалась – на 0,04 од., імовірно, внаслідок розчинення виділень моховою дерниною дощовою водою, а в субстраті без рослин – продовжувала дещо підвищуватись.

Найвищі показники кислотності у техноземі без бріофітів визначено у квітні на терасі відвалу ЦЗФ – рН 3,6, водночас під покривом мохоподібних рівень рН підвищувався до значення рН 4,70. Із літературних джерел відомо, що висока кислотність на териконах виникла унаслідок хімічного окислення сульфурвмісних мінералів – піриту, марказиту і піротину в присутності тіонових бактерій із виділенням сульфатної кислоти, що зумовило утворенню кислих розчинів у техноземі [14; 4].

У квітні на вершині й терасі відвалу шахти “Візейська” показник кислотності під дернинами бріофітів змінювався від 4,71 до 6,65, у субстраті без покриву рослин – від 4,61 до 6,60 відповідно (табл. 5.1.7). Така мінливість значення рН на положеннях відвалу, вочевидь, зумовлена різними термінами насипання породи, завезеної з різних місць видобування вугілля, більшим часом вилуговування на терасі відвалу та пізнішою підсипкою кислішої породи на вершині.

У липні як на вершині, так і терасі відвалу рівень рН під мохами підвищувався, у жовтні – дещо знижувався, тоді як у субстраті без рослин літні показники кислотності були нижчими. Навесні у підніжжі породного відвалу значення рН водного ґрунтового розчину під дернинками моху

перевищували показники у субстраті без рослин з незначною різницею (0,02 од.), у липні під бріосинузіями рівень рН знижувався, тоді як в техноземі, не покритим мохом, – дещо підвищувався, порівняно з весняними показниками. Восени рН значення як під мохоподібними, так і в техноземі без рослин було майже на рівні показників у квітні.

Отже, опановуючи техногенні субстрати відвалів, бріосинузії знижували кислотність субстратів та забезпечували кращі умови для онтогенезу судинних рослин й доступність для поглинання елементів живлення. Показники кислотності на відвалах були досить мінливими – від лужної реакції (підніжжя відвалу шахти “Надія”) до значно кислішої (тераса відвалу ЦЗФ), що значною мірою залежало як від ступеня рекультивації відвалу, так і часом завершення відсіпання шахтної породи.

## **5.2. Визначення рівня нагромадження біогенних елементів (N, P, K, Ca, Na) під бріофітним покривом та їх специфіка акумуляції у клітинах рослин**

В багатьох публікаціях оцінено участь мохоподібних у збагаченні субстрату життєво важливими елементами. Виявлено, що в бореальних екосистемах, де поживні речовини є лімітованими, бріофітний покрив може слугувати резервуаром Фосфору, Нітрогену, Магнію, Кальцію та брати участь у їхньому біогеохімічному кругообігу, збільшенні шару підстилки, поліпшенні мікроклімату та накопиченні біомаси, а порушення цілісності мохового покриву може призвести до дисбалансу в екосистемах [203; 204].

Мінеральні елементи є невід’ємними складовими багатьох органічних сполук та у ряді життєво важливих процесів в рослинному організмі. Одним із найбільш вагомих та необхідних біогенних елементів живлення рослин є Калій, який бере активну участь в осморегуляції, вуглеводному і білковому обміні, у функціонуванні ферментних систем та забезпеченні фотосинтезу [137; 41; 42; 80; 177]. Показано, що моховий покрив приймає участь у

нагромадженні йонів Калію у верхньому горизонті ґрунту [141; 182]. Результати попередніх досліджень свідчать про те, що в породах шахтних відвалів вміст біогенного елемента є незначним [14].

Встановлено, що на відвалі шахти “Надія” кількість Калію під моховими дернинами була більшою, ніж у субстраті без рослин у 1,3–1,5 рази (табл. 5.2.1). Вміст біогенного елемента у незадернованому субстраті відвалу ЦЗФ був найменшим, порівняно з усіма іншими проаналізованими зразками, тоді як під дернинами мохів його вміст підвищувався в середньому у 2 рази.

На відвалі шахти “Візейська”, який є найстарішим серед досліджуваних териконів, рослинний покрив на техноземах почав формуватися значно раніше. Визначено, що вміст Калію як в субстратах під дернинами мохів, так і в рослинах був більшим, ніж на інших відвалах (табл. 5.2.1). Кількість біофільного елемента під моховим покривом була вищою в усіх зразках, що свідчить про вплив бріофітів на обмінні процеси техногенних субстратів [94].

На терасі терикону встановлено найбільший вміст елемента в субстраті як під покривом моху *Brachythecium glareosum*, так і без нього. Отримані результати свідчать, що загальна закономірність розподілу Калію у техноземі під дернинами мохів і без них була наступною: у дещо сухих місцезростаннях (тераса) його вміст був значно вищим, ніж у вологіших (підніжжя). При обговоренні отриманих даних необхідно враховувати і той факт, що наявність біогенного елемента в достатній кількості обумовлює підвищену посухостійкість рослин, яка пов’язана із його здатністю збільшувати оводненість клітин і підтримувати тургор, активно впливаючи на процеси осморегуляції.

Рослини швидко й ефективно поглинають йони  $K^+$  і здатні нагромаджувати їх у клітині в кількості, що значно перевищує їхній вміст у навколишньому середовищі [83]. Нами встановлено, що на вершині відвалу ЦЗФ вміст Калію у рослинах моху *Polytrichum piliferum* максимально у 34 рази перевищував його вміст у незадернованому техноземі (табл. 5.2.1).

Натрій є менш важливим та необхідним елементом для проходження біохімічних процесів в клітинах рослин, але, в умовах нестачі Калію, може частково замінити його. Він є обов'язковим компонентом клітинного соку у рослинних організмах, відіграє важливу роль у підтримці кислотно-лужної рівноваги клітин, оптимального клітинного осмотичного тиску, завдяки чому підвищується посухостійкість рослин [201].

Результати проведених досліджень свідчать, що вміст йонів  $\text{Na}^+$  під бріосинузіями перевищував їхній вміст в субстраті без рослин на усіх досліджуваних ділянках, за винятком підніжжя відвалу шахти “Візейська”. Значну кількість елемента виявлено на терасі відвалу, тоді його вміст під дернинами, порівняно із субстратом без бріофітів, збільшувався у 1,2 рази. Вміст Натрію в техноземах без мохового покриву шахти “Надія” та ЦЗФ істотно не відрізнявся, а в субстратах під мохами підвищувався в 1,3 – 1,7 рази (табл. 5.2.1).

Умови реакції середовища відіграють суттєву роль в осадженні та міграції компонентів ґрунту. Так, у кислому середовищі підвищується рухомість багатьох елементів, утворюється більше їхніх розчинних форм, які при накопиченні стають токсичними для рослин [72].

Кальцій є одним з компонентів біогеохімічної міграції, який впливає на кислотність ґрунту, а також його структуру та процеси ґрунтоутворення [60], що, в свою чергу, змінює поглинання інших елементів живлення рослинами і таким чином позитивно впливає на їх ріст та розвиток. Він гальмує надходження  $\text{H}^+$ , тому за підвищеної його кількості рослини здатні переносити значно кислішу реакцію субстрату.

Обмежуючи надходження інших йонів у рослину,  $\text{Ca}^{2+}$  сприяє усуненню токсичності їхніх надлишкових концентрацій [119;102], що особливо важливо для рослин, які заселяють техногенні едафотопи з підвищеним вмістом токсичних сполук. Важлива роль елемента для рослин в тому, що він є універсальним вторинним месенджером, що бере участь в

передачі специфічних сигналів біореакцій [156; 79; 139; 74], позитивно впливаючи на різні процеси метаболізму та функціональні особливості рослин.

Таблиця 5.2.1

Вміст мінеральних елементів у домінантних видів бріосинузій та субстратах породних відвалів вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району

Досліджувані зразки	Вміст макроелементів, мг/кг повітряно-сухої маси			
	P	K	Na	Ca
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>				
<i>Polytrichum piliferum</i>	810,3±57,6*	1886,6±110,1*	1165,5±106,2*	10359,4±609,4*
Субстрат під дерниною	99,0±3,4*	166,6±9,6*	231,3±7,3*	2333,4±84,4*
Субстрат без рослин	60,1±3,2	108,7±6,2	181,3±9,6	2000,0±52,5
<b>Тераса</b>				
<i>Ceratodon purpureus</i>	502,4±39,6*	1381,6±99,9*	1695,7±163,2*	7583,3±541,7*
Субстрат під дернини	47,3±2,7*	117,0±3,0*	177,3±7,4*	1681,7±70,0*
Субстрат без рослин	30,3±3,7	87,4±6,3	120,8±7,5	1197,0±80,2
<b>Підніжжя</b>				
<i>Ceratodon purpureus</i>	790,4±44,8*	1170,8±91,2*	1721,0±86,1*	8906,3±857,0*
Субстрат під дерниною	33,8± 2,4*	115,9±9,6*	160,4±5,5*	1575,3±60,6
Субстрат без рослин	15,1±2,9	76,4±6,6	118,8±9,5	1439,4±30,3
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>				
<i>Polytrichum piliferum</i>	572,1±42,1*	1836,8±106,4*	2581,5±206,5*	9500,0±593,0*
Субстрат під дерниною	29,4±1,7*	108,7±12,5*	206,3 ±13,0*	1348,5±84,4*
Субстрат без рослин	19,7±1,4	54,3±6,3	122,9 ±7,5	1030,3±54,7
<b>Тераса</b>				
<i>Ceratodon purpureus</i>	681,5±37,7*	1315,2±95,1*	1972,8 ±89,7*	9796,9±515,0*
Субстрат під дерниною	41,2 ±2,1*	108,9±6,4*	168,8±7,2*	1393,9±54,7*
Субстрат без рослин	29,2±1,3	57,9 ±3,6	127,1±11,0	1181,8±26,6
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>				
<i>Polytrichum juniperinum</i>	713,5±46,8*	1957,8±120,2*	2687,5±116,8*	11421,9±671,9*
Субстрат під дерниною	87,7±4,1*	228,0±11,0*	395,8±15,0*	3888,9±320,0
Субстрат без рослин	57,8 ±3,7	134,2±9,5	320,8±12,7	2963,0±185,2
<b>Тераса</b>				
<i>Brachythecium glareosum</i>	919,5±53,2*	2701,7±141,1*	3258,2±171,0*	15317,7±983,4*
Субстрат під дерниною	147,1±5,3*	460,1±19,2*	585,4±16,3*	6111,1±320,8*
Субстрат без рослин	98,9±6,2	300,7±15,8	502,1 ±12,7	4814,8±185,2
<b>Підніжжя</b>				
<i>Polytrichum juniperinum</i>	1064,2±54,5*	2503,4±130,7*	3293,5±158,5*	15781,3±911,2*
Субстрат під дерниною	226,0±7,2*	304,3±12,6	312,5±18,0*	6296,3±370,4
Субстрат без рослин	191,3±5,3	260,9±12,6	385,6±9,1	5555,6±320,7

Показано, що під впливом  $\text{Ca}^{2+}$  підвищувалася стійкість гаметофорів моху *Funaria hygrometrica* Hedw. до впливу важких металів [104]. Взаємодіючи із негативно зарядженими групами фосфоліпідів, він стабілізує клітинну мембрану та знижує її пасивну проникність.

Доведено, що адвентивний мох *Campylopus introflexus*, який виявлений на відвалі шахти “Надія”, акумулював значну кількість йонів  $\text{Ca}^{2+}$ , що, очевидно, є адаптивною реакцією в умовах підвищеного рівня кислотності субстрату і забруднення важкими металами [136].

Результати наших досліджень засвідчують, що вміст  $\text{Ca}^{2+}$  як в субстратах відвалів, так і в рослинах мохоподібних, був значно вищим, ніж вміст Калію, Фосфору та Натрію (табл. 5.2.1). Відзначено збільшення цього елемента в техноземах під моховими дернинами в усіх досліджуваних зразках, порівняно із субстратом без рослин моху. Максимальний вміст Кальцію встановлено у техноземі під покривом *Polytrichum juniperinum* у підніжжі відвалу шахти “Візейська”, у субстраті без дернин вміст елемента був нижчим у 1,1 рази.

Найменшу кількість йонів Кальцію виявлено в незадернованому субстраті відвалу ЦЗФ, тоді як його вміст під мохоподібними збільшувався в 1,2 рази (тераса) та 1,3 рази (вершина). На відвалі шахти “Надія” вміст макроелемента в техноземі під моховими дернинами підвищувався від підніжжя до вершини, а в субстраті без рослин досліджуваних ділянок терикону був меншим (табл. 5.2.1).

Фосфор – облігатний біофільний елемент, який створює енергетичний резерв рослинних клітин: є важливим компонентом нуклеїнових кислот, ферментів і продуктів дихального циклу та фотосинтезу, без яких неможлива життєдіяльність організмів в екосистемах та біосфері загалом [72]. Згідно з даними У. Башуцької [14] породи шахтних відвалів є малозабезпеченими доступними формами сполук Фосфору.

Найнижчий вміст Р в субстраті без рослинного покриву встановлено у підніжжі відвалу шахти “Надія”, проте його кількість під дерниною моху

*Ceratodon purpureus* збільшувалася у 2,2 рази. Дещо вищий вміст елемента в техноземі без рослин відзначено на вершині відвалу ЦЗФ, а під покривом бріофітів його кількість збільшувалась у 1,5 рази. Значний вміст йонів Фосфору виявлено під мохом у підніжжі відвалу шахти “Візейська”, тоді як в субстраті без рослин їхня кількість знижувалась в 1,2 рази.

Відзначено тенденцію до збільшення вмісту Фосфору у всіх досліджуваних зразках терикону від вершини до підніжжя. Нами досліджено, що при незначному вмісті в техноземі біогеного елемента, бріофіти можуть нагромаджувати його у 52 рази більше, порівняно з субстратом без мохових дернин (підніжжя відвалу шахти “Надія”) (табл. 5.2.1).

Нітроген є найважливішим елементом живлення рослинних організмів, тому його частка у ґрунті є вагомим показником потенціальної родючості ґрунту. Нагромадження Нітрогену, як і Карбону, є невід’ємною властивістю процесу ґрунтоутворення, який зумовлений кругообігом речовин у системі “ґрунт-рослина” [51]. Біофільний елемент є необхідним складником чотирьох пірольних кілець молекули хлорофілу, амінокислот (аміно- чи іміногрупа), білків, нуклеїнових кислот як компонент азотистих основ та інших життєво важливих органічних сполук.

У низці публікацій оцінена вагова участь мохоподібних у нагромадженні Нітрогену в екосистемі, фіксація якого з атмосферного повітря відбувається завдяки симбіозу із нітрогенфіксуючою мікробіотою. Такий тип взаємовідносин забезпечує перетворення макроелемента у метаболічно активні форми (нітратну та аміачну) і їх доступність для засвоєння рослинними організмами [158; 170; 178; 195; 181; 160].

На підставі результатів досліджень на крейдянних луках Голландії [207] встановлено, що моховий покрив щорічно вивільняє приблизно 20 % Нітрогену від річної продуктивності квіткових рослин. Виявлено, що після повного видалення значної площі мохового покриву певної території, втрата Нітрогену в екосистемі була значно вищою, ніж його надходження [158]. У первинній сукцесії на піщаних субстратах швидкість нагромадження

біогенного елемента у бріофітному покриві, сформованому *Polytrichum piliferum* та *P. juniperinum*, становила 10,1 кг/га/рік, причому 58 % від акумульованого Нітрогену накопичувалось у моховій підстилці. Це свідчить про те, що бріофітний компонент позитивним чином впливає на умови трансформованих субстратів.

Встановлено, що в умовах холодного клімату Центральної Євенкії мохоподібні *Aulacomnium turgidum* (Wahlenb.) Schwägr., *Pleurozium schreberi* та ін., лишайники *Cladina stellaris* (Opiz). Pouzar & Vezda, *Cetraria islandica* (L.) Ach. та ін. відрізнялися досить високим співвідношенням С:N, порівняно з іншими видами судинних рослин, що вказує на незначну швидкість деструкції бурої частини пагонів. Однак у лишайника *Cetraria islandica* дослідники не могли виділити нефотосинтезуючу частину, пояснюючи це тим, що у даного виду відбувалися інтенсивні процеси розпаду, хоча співвідношення С:N, порівняно з мохом, було більшим. Цьому сприяли умови, у яких виростав лишайник: серед дернин мохів мікроклімат був стабільнішим, краще зберігалась волога та відбувались незначні коливання температурного режиму [140].

Встановлено, що на досліджуваних відвалах валовий вміст загального Нітрогену під бріофітним покривом перевищував його вміст у субстраті без рослин. На відвалі шахти “Надія” найбільший відсоток макроелемента визначено на його вершині у пагонах *Polytrichum piliferum* та під його дерниною, тоді як у субстраті без покриву бріофітів він був меншим в 2,2 та 1,4 рази відповідно (табл. 5.2.2). У субстраті без рослин тераси та підніжжя відвалу валовий вміст Нітрогену не відрізнявся та становив 0,06 %, водночас під мохоподібними підвищувався в 1,3 та 1,5 рази відповідно.

На відвалі ЦЗФ найбільший відсоток біофільного елемента визначено на його вершині під дерниною *Polytrichum piliferum* (0,08 %), у субстраті без бріофітного покриву – 0,06 %. Виявлено незначний вміст макроелемента на терасі відвалу, зокрема у субстраті без мохових дернин (0,03 %), водночас під



бріофітним покривом він був більшим в 1,3 рази. Відсоток акумульованого Нітрогену у гаметофіті моху становив 0,10 %, на вершині – 0,12 %.

Значний вміст макроелемента виявлено під мохом у підніжжі відвалу шахти “Візейська” (0,31%) та менший у 1,4 рази у незадернованому субстраті.

Таблиця 5.2.2

Вміст загального Нітрогену у доміантних мохах бріофітних синузій та техногенних субстратах залежно від положення на шахтних відвалах

Доміантні види мохів у бріосинузіях	Вміст загального Нітрогену, %		
	у гаметофіті моху	під дерниною моху	у субстраті без рослин
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>			
<i>Polytrichum piliferum</i>	0,29±0,18*	0,18±0,009*	0,13±0,012
<b>Тераса</b>			
<i>Ceratodon purpureus</i>	0,10±0,006*	0,08±0,003*	0,06±0,003
<b>Підніжжя</b>			
<i>Ceratodon purpureus</i>	0,11±0,008*	0,09±0,002*	0,06±0,008
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>			
<i>Polytrichum piliferum</i>	0,12±0,01*	0,08±0,004*	0,06±0,002
<b>Тераса</b>			
<i>Ceratodon purpureus</i>	0,10±0,009*	0,04±0,002*	0,03±0,002
<b>Відвал шахти “Візейська”- вершина</b>			
<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,15±0,008*	0,05±0,002*	0,03±0,003
<b>Тераса</b>			
<i>Brachythecium glareosum</i>	0,39±0,018*	0,14±0,004	0,12±0,004
<b>Підніжжя</b>			
<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,44±0,021*	0,31±0,01*	0,23±0,006

Його кількість в гаметофіті моху була найвищою (0,44 %), порівняно з його кількістю в інших досліджуваних зразках, відібраних на різних положеннях шахтних відвалів.

На терасі відсоток загального Нітрогену під дерниною *Brachythecium glareosum* був більшим (у 1,2 рази), ніж у субстраті без мохового покриву. В техноземі без бріофітів з вершини відвалу частка Нітрогену становила 0,03 %, та збільшувалась в 2,5 рази під мохом. Виявлено, що мікрокліматичні

умови на території відвалів впливали на нагромадження біогенного елемента: в умовах значної інтенсивності сонячної радіації та дефіциту вологи його вміст знижувався.

Такі результати підтверджені іншими дослідженнями із бокоплідними мохами *Pleurozium schreberi* та *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., де встановлено негативну кореляцію між нагромадженням Нітрогену та високим рівнем інсоляції. Водночас, проведений аналіз впливу температурного режиму на накопичення макроелемента у рослинах дав можливість дослідникам припустити, що у зв'язку із потеплінням на планеті, нітрогенфіксація цими видами, які зазвичай ростуть в бореальних екосистемах, пришвидшиться (вони можуть стати значним джерелом Нітрогену у північних екосистемах), що може задовільнити високу потребу в біогенному елементі угруповань судинних рослин та підвищить їх продуктивність вже у теплішому кліматі [174].

Таким чином, мохоподібні, заселяючи збіднені на поживні речовини породні відвали та формуючи бріофітні синузії, забезпечують поверхневі шари субстрату важливими мінеральними елементами, створюючи сприятливіші умови для заселення та життєздатності вищих судинних рослин.

### **5.3. Оцінка вмісту органічного Карбону під моховою дерниною як показника ініціації формування акумулятивно-органічного шару**

Органічні сполуки відіграють важливу роль у процесі ґрунтоутворення. Вони сприяють вбирній здатності та буферності ґрунту, впливають на його фізичні та хімічні властивості, водний режим та формування його профілю [36]. У болотних екосистемах здатність органічної речовини акумулювати та утримувати воду забезпечує стабільне існування рослинних угруповань, які використовують запаси відмерлих частин рослинних організмів як поживний субстрат. Такі органогенні субстрати слугують джерелом Нітрогену та

Карбону. Виявлено, що кількість органічного Карбону у фотосинтезуючих органах сфагнових мохів та у бурій частині був вищим, ніж у зелених частинах та мортмасі кущів та трав [106].

Показано, що мохи як піонерні види на техногенних субстратах унаслідок деструкції дернин впливають на нагромадження органічної речовини у верхньому горизонті технозему [128; 136]. В багатьох північних екосистемах мохоподібні, незважаючи на невелику біомасу, зберігають й акумулюють більше Карбону, ніж будь-які інші види рослин [186; 162].

На досліджуваних відвалах мохові синузії сприяли депонуванню органічного Карбону у ризоїдному шарі субстрату, вміст якого був більший у 1,5 – 3,0 рази, порівняно із субстратом без рослин. Незначний відсоток органічного Карбону в незадернованому техноземі відзначено на терасі та вершині відвалу ЦЗФ, тоді як його вміст під моховими дернинами підвищувався у 2,1 та 2,7 рази відповідно (табл. 5.3.1).

Таблиця 5.3.1

Вміст органічного Карбону в техноземах породних відвалів  
Червоноградського гірничопромислового району

Положення на відвалі – домінантні види бріофітних синузій	Органічний Карбон, %	
	під дерниною моху	у субстраті без рослин
<b>Відвал шахти “Надія”</b>		
вершина – <i>Polytrichum piliferum</i>	2,40±0,15*	1,30±0,07
тераса – <i>Ceratodon purpureus</i>	1,00±0,07*	0,50±0,04
підніжжя – <i>Ceratodon purpureus</i>	1,09±0,05*	0,36±0,02
<b>Відвал ЦЗФ</b>		
вершина – <i>Polytrichum piliferum</i>	0,27±0,02*	0,10±0,01
тераса – <i>Ceratodon purpureus</i>	0,44±0,03*	0,21±0,01
<b>Відвал шахти “Візейська”</b>		
вершина – <i>Polytrichum juniperinum</i>	2,70±0,17*	1,10±0,06
тераса – <i>Brachythecium glareosum</i>	4,22±0,25*	2,81±0,17
підніжжя – <i>Polytrichum juniperinum</i>	6,78±0,40*	4,29±0,30

На відвалі шахти “Надія” відсоток органічного Карбону під дернинами максимально збільшувався на його вершині, що, ймовірно, пов’язано із

сприятливішими мікроумовами цього локалітету. Тобто вміст органічного Карбону корелював із вмістом у субстраті вологи.

На териконі шахти “Візейська”, порівняно з іншими відвалами, відсоток Карбону як в техноземі під моховим покривом, так і без нього був найвищим (за винятком субстрату, не заселеного мохом, з вершини відвалу). У підніжжі відвалу його вміст у субстраті без рослин був нижчим в 1,6 рази, ніж під моховою дерниною. Збільшення відсотка органічного Карбону в техносубстратах від вершини до підніжжя відвалу, вочевидь, пов’язано зі зливом та зсувом поверхневого шару нестійкого субстрату внаслідок вітрової і водної ерозій на схилах породних відвалів, збільшенням щільності рослинного покриву, відповідно, і вмісту вологи, що пришвидшує деструкцію органічної речовини та процеси мінералізації.

Відмінності у кількості Карбону в техноземах на різних положеннях відвалу можуть бути зумовлені неоднаковою вологістю субстратів й, вірогідно, вищим відсотком мохової підстилки. Так, для сірчаних відвалів було встановлено пряму залежність між потужністю мохової підстилки та вмістом органічного Карбону у субстраті під бріофітним покривом [67].

Отже, завдяки деструкції мохових дернин технозем відвалів збагачується органічною речовиною, що значною мірою впливає на активність формування органо-аккумулятивного шару у верхньому горизонті техногенних субстратів. Такий безпосередній вплив бріофітів на склад технозему сприяє його регенерації та створює сприятливі умови для подальшого заселення і функціонування угруповань багатьох судинних рослин.

#### **5.4. Аналіз вмісту мікроелементів у мохових дернинах та техногенних субстратах в мінливих умовах існування**

Унаслідок видобутку вугілля винесена на поверхню літосфери материнська порода при відносній бідності біологічно важливими

мінеральними макроелементами (N, P і K) містить значну кількість мікроелементів [4], окремі з яких є вагомими компонентами біохімічних процесів у клітині, зокрема: є складниками ферментних систем як кофактори (Мідь, Манган, Ферум, Цинк, Нікель), невід'ємними компонентами у комплексі цитохромів *b<sub>6</sub>/f* Z-схеми переносу електронів у фотохімічних реакціях (Ферум), активують окремі реакції циклу Кребса, беруть участь у фотолізі води та належать до кисеньвиділяючого комплексу фотосистеми II (Манган) [101; 198; 44]. Досить суттєвим є концентрація мікроелементів, оскільки навіть необхідні для метаболізму елементи при їх кількісному збільшенні у клітинах діють як важкі метали і стають токсичними для рослин. Окрема група металів, наприклад, Кадмій, хоча не має біологічної функції, досить легко засвоюється рослинами, і, навіть при низьких концентраціях, негативно впливає на життєво важливі процеси у рослинному організмі [185].

Здатність акумулювати хімічні елементи у значних кількостях стало предметом вивчення мохів як об'єктів для проведення діагностики забруднення середовища [165]. Показано, що кількісний показник вмісту ВМ у біомасі бріофітів *Atrichum undulatum* (Hedw.) P.Beauv. та *Sphagnum squarrosum* Crome діагностував стан лісових екосистем, де знаходяться небезпечні об'єкти для зберігання і знищення хімічної зброї у Брянській області. Також відзначено здатність мохоподібних акумулювати радіонукліди: <sup>137</sup>Cs, <sup>232</sup>Th, що значною мірою залежить від водного режиму, рослини-поглинача, а також кліматичних умов забрудненої території [151].

Бріофіти можуть бути індикаторами рівня забруднення території не лише завдяки здатності акумулювати полютанти, а й завдяки диференційованій чутливості до концентрацій забруднювачів, що визначає їх екологічну поведінку.

У результаті досліджень території, на якій проводили знищення хімічної зброї у Пензенській області, виявлено залежність показників проективного покриття епігейних та епіфітних видів мохів від рівня

забруднення території: в міру віддалення від джерела забруднення проективне покриття бріофітних синузій збільшувалось. Водночас склад бріофлори на експлуатованій території практично не відрізнявся від ділянок, на яких не виявляли антропогенного впливу [134].

Встановлено, що мох *Racomitrium crispulum* Hook. f. et Wils. проявляв толерантність до дії різних концентрацій важких металів – Cu і Cd. Це свідчить про те, що клітини моху здатні зберігати свою цілісність і підтримувати гомеостаз унаслідок перебудови їхніх фізіологічних та метаболічних властивостей [197].

Важливі результати отримали у дослідженнях з використанням моху *Scorpiurum circinatum* (Brid.) Fleisch. & Loeske у районі Ацерра (Неаполь, Італія), який називають “італійський трикутник смерті” через різке зростання захворювань, зокрема новоутворень, у людей. Саме рівень накопичення у рослинах моху значної кількості важких металів дав можливість провести оцінку забруднення досліджуваної території. Водночас, незважаючи на високі концентрації металів, значного пошкодження ультраструктури хлоропластів у клітинах моху не відзначено [155].

Останніми роками використанням мохоподібних як інформативних індикаторів забруднення певної території займаються і на теренах України. У найновіших публікаціях є повідомлення про здатність моху *Bryum argenteum* акумулювати важкі метали як з атмосфери, так і незначну частину з ґрунту, що свідчить про його приналежність до рослин-індикаторів [77]. Встановлено, що *Bryum argenteum* активно накопичував і радіоактивні елементи ( $^{137}\text{Cs}$  і  $^{90}\text{Sr}$ ), що сприяло його використанню як індикатора забруднення наземних екотопів радіонуклідами [76].

Отримані результати аналізу вмісту важких металів свідчать, що на породних відвалах бріосинузії найбільше акумулювали Цинк, Нікель та Манган (5.4.1, 5.4.2). На відвалі шахти “Надія”, зокрема його вершині, відзначено значне нагромадження Нікелю (120,7 мг/кг повітряно-сухої маси) та Мангану (822,1 мг/кг повітряно-сухої маси) у гаметофіті моху *Ceratodon*

*purpureus*, порівняно з іншими досліджуваними зразками (табл. 5.4.1). *Polytrichum piliferum* акумулював лише Нікель, вміст якого під дерниною був нижчим у 2,6 рази. Кількість Кадмію у субстраті вершини відвалу була більшою, ніж в інших зразках техноземів (1,0 мг/кг повітряно-сухої маси), однак не перевищувала гранично допустимої концентрації (ГДК).

Таблиця 5.4.1

Валовий вміст мікроелементів у бріофітному покриві та техногенних субстратах відвалів шахт “Надія” та ЦЗФ

Варіанти	Вміст валових форм важких металів, мг/кг повітряно-сухої маси						
	Zn	Cd	Ni	Fe	Mn	Pb	Cu
Елементи	1	1	2	-	3	1	2
Клас небезпеки	1	1	2	-	3	1	2
ГДК для ґрунту, мг /кг	300,0	3,0	85,0	3,7·10 <sup>3</sup>	1,5·10 <sup>3</sup>	30,0	100,0
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	86,3	0,5	120,7	632,4	822,1	0,9	11,9
Субстрат під дерниною	85,6	1,0	48,4	1971,4	74,4	9,3	14,9
Субстрат без рослин	59,5	1,0	49,9	653,0	76,8	9,6	15,4
<i>Polytrichum piliferum</i>	21,2	0,1	19,4	590,0	47,1	2,6	6,6
Субстрат під дерниною	38,4	0,5	7,6	3806,0	221,0	15,4	26,0
Субстрат без рослин	105,3	0,5	14,4	2249,0	717,8	20,1	29,7
<b>Тераса</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	20,3	0,2	41,2	733	50,0	2,6	5,8
Субстрат під дерниною	29,3	0,5	14,6	5577,6	107,3	15,6	17,6
Субстрат без рослин	11,7	0,5	14,7	3924,7	9,8	20,5	8,8
<b>Підніжжя</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	39,8	0,2	25,7	883,1	75,2	2,4	5,2
Субстрат під дерниною	29,5	0,5	4,6	3914,3	64,5	10,1	11,1
Субстрат без рослин	17,1	0,5	5,8	7225,6	9,5	10,4	12,3
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	173,6	0,3	15,2	418,9	2,8	2,8	3,7
Субстрат під дерниною	23,7	0,5	4,9	1589,1	9,9	4,9	11,8
Субстрат без рослин	11,8	0,5	5,9	3030,7	19,7	15,7	14,8
<b>Тераса</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	51,9	0,1	53,7	823,0	116,1	1,3	5,4
Субстрат під дерниною	10,7	0,5	40,9	1284,4	19,5	4,9	11,7
Субстрат без рослин	15,8	0,5	7,9	8676,8	9,9	25,6	14,8
Чорна порода, основний відвал	134,5	0,9	113,5	864,6	157,2	8,7	29,7
Червона порода, основний відвал	289,4	0,9	72,8	1586,8	74,7	14,9	37,3
Свіжонасипна порода	144,3	0,8	201,8	2778,1	263,8	12,4	35,7

Мох *Ceratodon purpureus* на терасі відвалу нагромаджував Нікель, а під дерниною його вміст знижувався у 2,8 рази. У підніжжі відвалу мохові рослини найбільше накопичували Манган та менше Цинк і Нікель, водночас під моховим покривом вміст мікроелементів був меншим.

Порівняно із субстратом без рослин, визначено як збільшення вмісту важких металів, так і їх зниження у субстраті під мохоподібними.

Кількісне зменшення мікроелементів під дернинами, порівняно із субстратом без мохового покриву, вочевидь, відбувалось внаслідок переміщення їх по ризоїдній повсті до надземної частини гаметофіту. Водночас накопичення ВМ під покривом моху, мабуть, відбувалось унаслідок транспортування їх з водою після дощу, чи туману із листових пластинок, або верхівок пагонів рослин до поверхневого шару субстрату.

Найбільше акумульованого Цинку у гаметофіті моху *Ceratodon purpureus* відзначено на вершині відвалу ЦЗФ (173,6 мг/кг повітряно-сухої маси) та значно менше Нікелю (15,2 мг/кг повітряно-сухої маси). Окрім вище зазначених мікроелементів мох з тераси відвалу нагромаджував і Манган (116,1 мг/кг повітряно-сухої маси) (табл. 5.4.1).

Визначено, що у свіжонасипній породі містилась значна кількість Нікелю та Мангану, що максимально у 2,8 (Ni) та 3,5 (Mn) разів перевищувала його вміст у червоній перегорілій породі основного відвалу.

Найбільше акумульованих важких металів у гаметофіті мохів виявлено на терасі (*Brachythecium glareosum*) та у підніжжі (*Polytrichum juniperinum*) найстарішого та самозарослого відвалу шахти “Візейська” (табл. 5.4.2).

Окрім Цинку, Нікелю та Мангану, *Polytrichum juniperinum* акумулював і Кадмій, який під моховою дерниною був нижчим у 2,8 рази. Вочевидь, рослини моху нагромаджували цей елемент із відвального пилу ЦЗФ, так як значна його висота та фрагментованість рослинного покриву стали передумовою для формування підвищеного вітрового режиму, який сприяв міграції токсичних елементів на суміжні відвали.



Окрім цього, на відвалі ЦЗФ проводиться постійне відсипання винесеної із надр землі материнської породи, у результаті чого відбувається постійне розсіювання токсичних сполук, зокрема ВМ, у навколишнє середовище.

Таблиця 5.4.2

Валовий вміст мікроелементів у бріофітному покриві та техногенних субстратах відвалу шахти “Візейська”

Елементи	Вміст валових форм важких металів, мг/кг повітряно-сухої маси						
	Zn	Cd	Ni	Fe	Mn	Pb	Cu
Клас небезпеки	1	1	2	-	3	1	2
ГДК для ґрунту, мг /кг	300,0	3,0	85,0	$3,7 \cdot 10^3$	$1,5 \cdot 10^3$	30,0	100,0
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	36,7	0,1	4,5	545,9	74,5	2,5	6,3
Субстрат під дерниною	20,4	0,3	7,4	1226,3	195,1	4,7	17,7
<i>Polytrichum juniperinum</i>	28,1	0,2	31,5	514,3	51,4	3,6	6,7
Субстрат під дерниною	22,4	0,5	29,0	7808,2	102,7	19,6	21,5
Субстрат без рослин	25,2	0,5	31,7	8173,6	102,5	16,8	27,0
<b>Тераса</b>							
<i>Ceratodon purpureus</i>	21,8	0,1	31,5	1244,3	226,8	2,4	2,8
Субстрат під дерниною	19,3	0,3	6,7	1110,0	58,9	9,3	21,0
<i>Brachythecium glareosum</i>	61,3	0,6	86,0	1781,0	489,5	6,6	10,2
Субстрат під дерниною	18,0	0,4	12,2	7795,6	57,3	17,0	15,5
Субстрат без рослин	18,6	0,4	6,7	8531,2	59,0	13,5	12,7
<b>Підніжжя</b>							
<i>Polytrichum juniperinum</i>	61,8	1,1	29,7	606,1	182,5	1,1	9,1
Субстрат під дерниною	17,6	0,4	6,4	2459,4	10,0	8,9	12,0
<i>Ceratodon purpureus</i>	65,1	0,4	84,1	584,8	592,9	0,8	9,6
Субстрат під дерниною	106,5	0,9	111,7	5119,0	51,5	8,6	30,9
Субстрат без рослин	16,2	0,4	6,5	6873,5	40,4	8,9	12,1

Виявлено, що відвальний пил, утворений унаслідок часткового подрібнення окремих частин породи під впливом вітру, опадів, тепла та мінливості температури повітря, видувається з відвалів та переноситься на значні відстані: концентрація пилу на відстані 150 м від шахтних відвалів при швидкості повітря 3–3,5 м/с та його вологості – 90 % становить 10–15 мг/м<sup>3</sup> [21].

Слід зазначити, що у шахтних породах перевищення вмісту важких металів відносно ГДК виявлено лише для Нікелю (ЦЗФ та відвал шахти “Візейська”) та Феруму (на усіх досліджуваних відвалах).

Отже, заселяючи техногенні та практично непридатні для існування багатьох рослинних організмів субстрати, бріосинузії сприяють їх регенерації: позитивним чином впливають на збагачення поверхневого шару біогенними елементами (Нітрогеном, Калієм, Фосфором, Кальцієм), органічним Карбоном, відіграють роль деструкторів токсичних елементів та впливають на перебіг сукцесійних процесів на антропогенно трансформованих територіях. Мохоподібні, акумулюючи значну кількість важких металів, вилучають їх із біогеохімічного циклу, таким чином зменшують токсичність субстрату. Нагромадження мохами поліютантів підтверджує їх роль як інформативних індикаторів забруднення середовища.

### 5.5. Дослідження еколого-трофічних груп мікробіоти під моховим покривом у мінливому середовищі шахтних відвалів

Мікроорганізми відіграють важливу роль у кругообігу Нітрогену, Карбону, Сульфуру та Фосфору, беруть активну участь у деструкції органічної речовини тощо.



Рис. 5.5.1. Співвідношення різних груп мікроорганізмів у субстратах тераси відвалу шахти “Надія”

Разом із кафедрою мікробіології ЛНУ імені І. Франка проведено порівняльний аналіз вмісту мікробіоти у техноземах породних відвалів під моховими дернинами та без рослин [179]. Встановлено, що найбільша кількість еколого-трофічних груп мікроорганізмів у субстратах відвалів присутня під бріофітним покривом (рис. 5.5.1, 5.5.2, 5.5.3).

Здебільшого під дернинами мохів переважали олігонітрофіли (аероби, що фіксують атмосферний Нітроген та використовують його мінеральні форми) та безбарвні сіркоокислювальні бактерії нейтрофіли.

Бріосинузії певною мірою сприяли розвитку целюлозоруйнівальних мікроорганізмів, зокрема актинобактерій, які відіграють вагомую роль у процесах гумусоутворення, а також у формуванні структурних компонентів едафотопу.



Рис. 5.5.2. Співвідношення різних груп мікроорганізмів у субстратах тераси відвалу ЦЗФ

Ці грам-позитивні мікроорганізми можуть утворювати позаклітинні ферменти (гідролази), що здатні розкладати складні полімерні сполуки (гумусоподібні речовини, хітин, лігнін).

Безбарвні сіркоокислювальні бактерії – ацидофіли відзначено на відвалі ЦЗФ як в субстраті під бріофітами, так і без мохового покриву.



Рис. 5.5.3. Співвідношення різних груп мікроорганізмів у субстратах тераси відвалу шахти “Візейська”

Їхня присутність обумовлена наявністю значного вмісту Сульфуру в породі терикону і свідчить про процеси окиснення сульфурвмісних мінералів з утворенням сульфатної кислоти. Виявлення сульфур- і сульфатвідновлювальних бактерій вказує про активність процесів кругообігу сполук Сульфуру.

Отже, під бріофітними синузіями створюється сприятливе середовище для розвитку еколого-трофічних груп мікробіоти, що пришвидшує процеси регенерації техногенного субстрату, утвореного унаслідок видобутку вугілля.

## РОЗДІЛ 6

### БІОХІМІЧНІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ БРІОФІТІВ У ТРАНСФОРМОВАНИХ УМОВАХ ШАХТНИХ ВІДВАЛІВ

#### **6.1. Біохімічні аспекти пристосування мохоподібних до екологічних умов техногенного середовища**

Останнім часом вивчення механізмів толерантності рослинних організмів до дії негативних факторів довкілля стало одним із найбільш актуальних питань біологічної науки. Здатність рослин пристосовуватись до значних мінливостей середовища сприяє їхньому поширенню в умовах з досить широким спектром впливу різних екологічних чинників. Тому важливим було оцінити адаптивну здатність та стійкість мохоподібних на основі дослідження їх фізіолого-біохімічних стрес-реакцій [74]. Незважаючи на невеликі розміри, бріофіти дуже важливі компоненти багатьох екосистем, які зберегли здатність адаптуватися до негативного впливу навколишнього середовища.

#### **6.1.1. Сезонна динаміка вмісту пігментів фотосинтезу у пагонах *Ceratodon purpureus* залежно від умов місцезростання на відвалах**

На функціонування фотосинтетичного комплексу як основи пластичного та енергетичного обміну в рослинній клітині істотно впливають фізіологічні, морфологічні та біохімічні процеси усього організму. Взаємозв'язки фотосинтетичної системи з іншими функціями в рослинному організмі є визначальним в контексті реалізації процесу фотосинтезу та є передумовою для існування його багатоступеневих регуляторних систем.

Зміни у функціонуванні пігментної системи рослин значною мірою залежать від впливу чинників середовища, їх тривалості та інтенсивності. На

відвалах ЧГПР значна напруженість екологічних факторів (дефіцит вологи, високий температурний режим, підвищена інсоляція та ін.), суттєво впливають на кількісні та якісні зміни пігментів у клітинах, спричиняючи їх деградацію, вільнорадикальне фотоокислення тощо.

Зміна вмісту хлорофілів є одним з біохімічних показників реакції рослин на вплив факторів зовнішнього середовища та ступеня їх адаптації до різних екологічних умов. В умовах негативних чинників на породних відвалах вагому участі в захисті фотосинтетичного апарату беруть допоміжні пігменти фотосинтезу – каротиноїди (каротини та ксантофіли), виконуючи функцію хімічних буферів в реакціях фотосинтезу.

На підставі результатів досліджень встановлено, що в квітні на вершині відвалу шахти “Надія” вміст хлорофілу *a* у пагонах *Ceratodon purpureus* був нижчим (0,485 мг/г м. с. р.), ніж у липні (0,714 мг/гм. с. р.) (рис. 6.1.1.).

В умовах затінення співвідношення хлорофілів *a/b* зменшувалось завдяки підвищенню вмісту хлорофілу *b*, що, імовірно, забезпечувало допоміжну світлозбиральну функцію в антенних комплексах фотосистем. Восени у підніжжі відвалу вміст пігментів фотосинтезу у пагонах *Ceratodon purpureus* знижувався, порівняно із літніми показниками, але був вищим, ніж навесні.

У квітні на терасі породного відвалу концентрація зелених пігментів фотосинтезу у клітинах моху збільшувалась (хлорофіл *a* – 0,720 мг/г м. с. р, хлорофіл *b* – 0,544 мг/г м. с. р), а співвідношення хлорофілів/каротиноїдів становило 2,95 (рис. 6.1.1.). У липні, коли в місцях виростання моху температура та інсоляція були високими, а вологість субстрату досить низькою, відзначено зниження концентрації хлорофілу *a*, вочевидь, внаслідок його деструкції, водночас кількість каротиноїдів зростала (табл. 6.1.1.).

Підвищення рівня допоміжних пігментів вказує на активне функціонування адаптивних антиоксидантних механізмів у фотосинтетичному апараті рослин за дії стресових чинників.

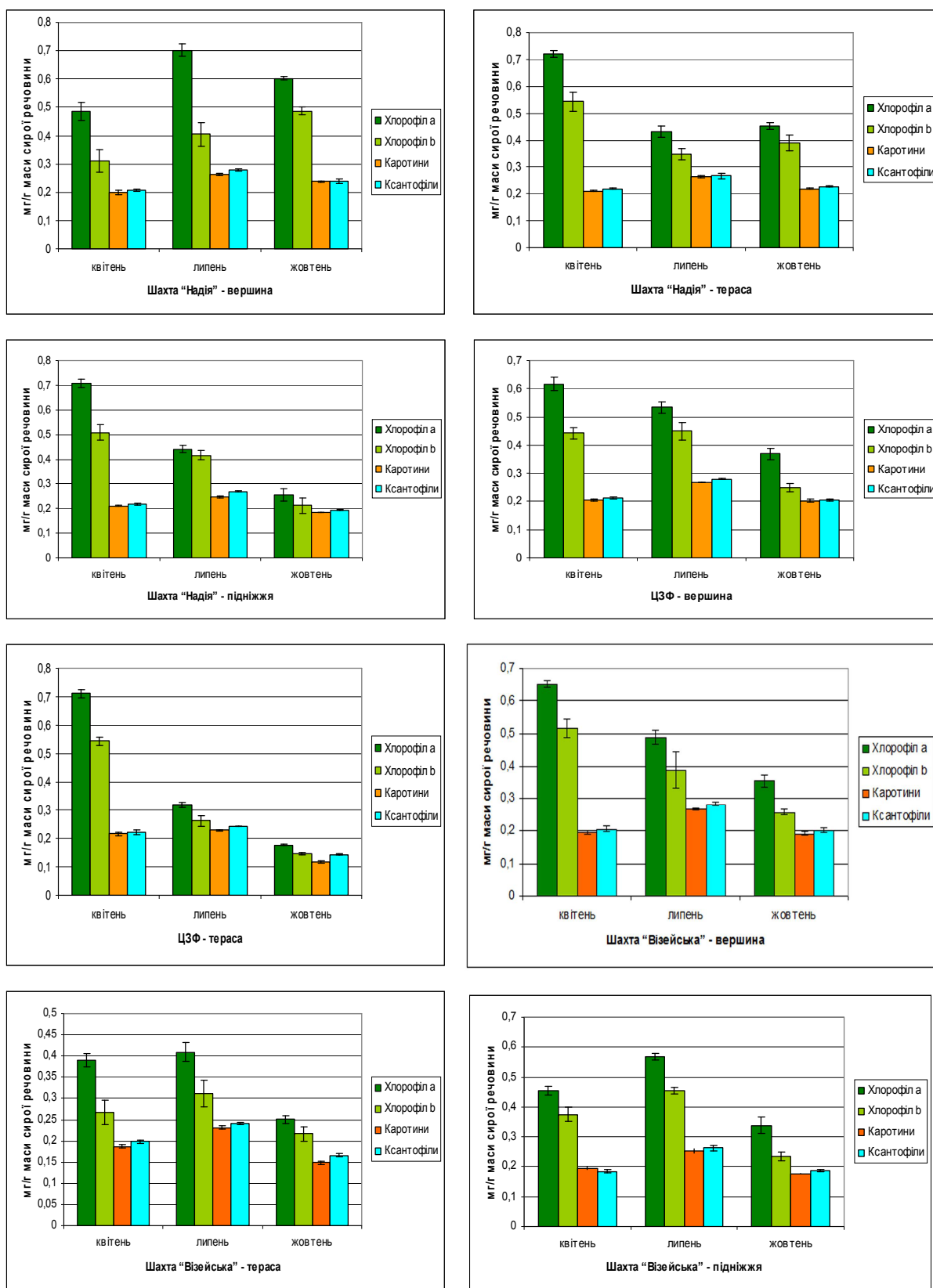


Рис. 6.1.1. Сезонна динаміка вмісту пігментів фотосинтезу у пагонах *Ceratodon purpureus* з різних місцезростань техногенних територій

В умовах екстремальної сонячної радіації каротиноїди, взаємодіючи із збудженими молекулами триплетного хлорофілу та синглетного кисню, здатні переводити їх на основний рівень та розсіювати надлишкову енергію у вигляді тепла, таким чином перешкоджаючи розвитку окислювальних процесів у клітинах рослин [166; 110].

Таблиця 6.1.1.

Сезонні зміни показників співвідношення хлорофілів ( $a/b$ ) та суми хлорофілів до каротиноїдів ( $X/K$ ) у пагонах *Ceratodon purpureus* техногенних територій

Місяці Локалітет	Квітень		Липень		Жовтень	
	$a/b$	X/K	$a/b$	X/K	$a/b$	X/K
<b>Відвал шахти "Надія"</b>						
Вершина	1,56	1,97	1,76	2,04	1,24	2,29
Тераса	1,32	2,95	1,23	1,81	1,16	1,88
Підніжжя	1,39	2,84	1,10	1,65	1,21	1,24
<b>Відвал ЦЗФ</b>						
Вершина	1,25	2,53	1,20	1,76	1,48	1,52
Тераса	1,31	2,85	1,20	1,22	1,22	1,24
<b>Відвал шахти "Візейська"</b>						
Вершина	1,26	2,91	1,25	1,60	1,38	1,57
Тераса	1,46	1,71	1,32	1,52	1,16	1,49
Підніжжя	1,21	2,18	1,25	1,94	1,44	1,58

У жовтні вміст хлорофілів  $a$  та  $b$  у клітинах *Ceratodon purpureus* дещо перевищував їх вміст у липні, а вміст каротинів та ксантофілів знижувався.

Встановлено, що на вершині відвалу ЦЗФ вміст хлорофілу  $a$  та сумарна кількість зелених пігментів у пагонах моху зменшувалась від квітня до жовтня. Влітку вміст хлорофілу  $b$  зростав, що забезпечувало вищу стабільність пігмент-білкових комплексів тилакоїдів, відповідно співвідношення хлорофілів  $a/b$  у клітинах моху знижувалось (до 1,2). На терасі відвалу в пагонах моху концентрація зелених пігментів ( $a+b$ ) була невеликою (0,579 мг/г м. с. р.), водночас активувався біосинтез допоміжних пігментів, що є реакцією-відповіддю фотосинтетичного комплексу на дію значної інтенсивності світла. У жовтні сумарна кількість пігментів



фотосинтезу в усіх досліджуваних зразках мохів знижувалась, імовірно, внаслідок сповільнення процесів росту та розвитку мохоподібних, а отже і їхнього метаболізму.

Весною на освітленій ділянці вершини відвалу шахти “Візейська” вміст хлорофілів ( $a+b$ ) у пагонах *Ceratodon purpureus* підвищувався до 1,170 мг/г м. с. р. на фоні зниження сумарної кількості допоміжних пігментів до 0,402 мг/г м. с. р. У липні зберігалась тенденція до зниження концентрації зелених пігментів у клітинах моху на відкритих ділянках місцевиростань з одночасним зменшенням співвідношення хлорофілів/каротиноїдів. В умовах затінення на терасі та в підніжжі відвалу сумарна кількість хлорофілів у пагонах *Ceratodon purpureus* була вищою, ніж у квітні та жовтні.

Отже, зміни у кількості та співвідношенні пігментів у різні періоди року на відвалах проявляли пристосувальний характер фотосинтезуючої системи мохів, що сприяло ефективності використання сонячної радіації різної інтенсивності.

### **6.1.2. Визначення хлорофільного індексу як показника фотосинтетичної продуктивності бріофітних синузій**

Особливості функціонування екосистем залежать від швидкості, інтенсивності утворення та трансформації органічної речовини, що визначає первинну продуктивність рослинних фітоценозів. Вагомим показником фотосинтетичної продуктивності рослинного покриву є хлорофільний індекс (ХІ), який характеризується співвідношенням сумарної кількості зелених пігментів у рослинах до їх надземної фітомаси. Показано, що мохоподібні, формуючи майже суцільний надземний покрив та накопичуючи значну фітомасу, впливають на продуктивність фітоценозів в північних екосистемах [195]. Виявлено високий показник хлорофільного індексу для моху *Dicranum majus* Sm., який формує лісові бріоугруповання ( $1,83 \text{ г/м}^2$ ), і дещо менший

для *Pleurozium schreberi* (Brid.) Mitt. – 0,673 г/м<sup>2</sup>, що суттєво залежить від видових особливостей мохів та екологічних умов середовища [150].

Залежно від положення на шахтних відвалах та ступеня їх рекультивації визначено показники хлорофільного індексу для бріофітних синузій (табл. 6.1.2.1, 6.1.2.2).

Таблиця 6.1.2.1

Хлорофільний індекс бріосинузії залежно від умов місцезростань  
на породних відвалах ЦЗФ та шахти “Надія”

№ ділянки	Види моху у бріоугрупованнях	Вміст хлорофілів (a+b), мг/г маси сирової речовини	Надземна фітомаса, г/м <sup>2</sup>	Хлорофільний індекс, г/м <sup>2</sup>
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>				
1	<i>Polytrichastrum formosum</i>	0,209±0,004	315,7±26,2	0,066±0,004
	<i>Campylopus introflexus</i>	0,356 ±0,03	303,7±18,0	0,108±0,008
	<i>Rhynchostegium murale</i>	0,226±0,023	156,1±15,8	0,035±0,003
	<i>Sphagnum girgensohnii</i>	0,156±0,018	182,9±12,9	0,027±0,004
	<i>Aulacomnium palustre</i>	0,211±0,014	150,2±10,4	0,032±0,004
	<b>Всього</b>		<b>1108,6</b>	<b>0,268</b>
2	<i>Sciurohypnum starkei</i>	0,745±0,049	215,3±15,6	0,159±0,01
	<b>Всього</b>		<b>215,3</b>	<b>0,159</b>
3	<i>Campylopus introflexus</i>	0,610±0,036	289,1 ±18,0	0,175±0,003
	<i>Ceratodon purpureus</i>	0,662±0,050	132,5±10,2	0,088±0,01
	<b>Всього</b>		<b>421,6</b>	<b>0,263</b>
<b>тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	0,689±0,034	94,4±10,6	0,065±0,006
	<i>Bryum argenteum</i>	0,715±0,05	103,2±7,8	0,074±0,009
	<b>Всього</b>		<b>197,6</b>	<b>0,139</b>
2	<i>Brachytecium glareosum</i>	0,652±0,034	283,2±15,3	0,184±0,011
	<i>Brachytecium albicans</i>	0,647±0,025	303,8±16,4	0,196±0,01
	<b>Всього</b>		<b>587,0</b>	<b>0,380</b>
<b>підніжжя</b>				
2	<i>Bryum pseudotriquetrum</i>	0,753±0,063	227,1±12,9	0,170±0,005
	<i>Ceratodon purpureus</i>	0,687±0,077	123,9±15,3	0,083±0,004
	<b>Всього</b>		<b>351,0</b>	<b>0,253</b>
<b>Відвал ЦЗФ – вершина</b>				
1	<i>Polytrichum piliferum</i>	0,592±0,026	156,1±13,1	0,092±0,009
	<b>Всього</b>		<b>156,1</b>	<b>0,092</b>
<b>тераса</b>				
1	<i>Ceratodon purpureus</i>	0,486±0,069	123,9±13,5	0,058±0,003
	<b>Всього</b>		<b>123,9</b>	<b>0,058</b>

Встановлена залежність величини хлорофільного індексу від їх екологічної приуроченості до умов місцезростання у техногенному середовищі, складу бріофлори, сумарної кількості зелених пігментів у фотосинтезуючих органах та площі асимілюючої поверхні.

На відвалі шахти “Надія”, зокрема його вершині, найнижчий хлорофільний індекс визначено для моновидової синузії *Sciurohypnum starkei* – syn. з життєвою формою пухкого плетива, який становив 0,159 г/м<sup>2</sup>, а запас фітомаси – 215,3 г/м<sup>2</sup>. Для щільнодернинної синузії *Campylopus introflexus*–*Ceratodon purpureus* – syn. встановлено вищий показник хлорофільного індексу – 0,263 г/м<sup>2</sup>, та більшу надземну фітомасу – 421,6 г/м<sup>2</sup>.

У бріосинузії *Polytrichastrum formosum*–*Campylopus introflexus* – syn. запас надземної фітомаси становив 1108,6 г/м<sup>2</sup>, однак величина ХІ була низькою через незначну сумарну кількість зелених пігментів у фотосинтезуючих органах рослин (табл. 6.1.2.1).

На терасі породного відвалу показник ХІ для синузії *Ceratodon purpureus*–*Bryum argenteum* – syn., яка приурочена до умов з недостатнім зволоженням субстрату та значним ступенем інсоляції, становив 0,139 г/м<sup>2</sup>. У більш сприятливих умовах місцезростання серед трав’яного ярусу на ділянці горбистого мікрорельєфу у бріосинузії *Brachythecium glareosum*–*Brachythecium albicans* – syn. величина ХІ (0,380 г/м<sup>2</sup>) збільшувалась. У підніжжі відвалу для мохової синузії *Ceratodon purpureus*–*Bryum pseudotriquetrum* – syn. запас надземної фітомаси становив 351,0 г/м<sup>2</sup>, а хлорофільний індекс – 0,253 г/м<sup>2</sup>.

На вершині відвалу ЦЗФ фітомаса та величина ХІ для бріосинузії *Polytrichum piliferum* – syn. були 156,1 г/м<sup>2</sup> та 0,092 г/м<sup>2</sup> відповідно, а на терасі у щільнодернинній синузії *Ceratodon purpureus* – syn. як фітомаса (123,9 г/м<sup>2</sup>), так і показник ХІ (0,058 г/м<sup>2</sup>) були нижчими, аніж на вершині, що пов’язано із зменшенням площі асиміляційної поверхні рослин та зниженням біосинтезу хлорофілу *a* в умовах існування з недостатнім водним режимом та значним впливом сонячного світла.

Хлорофільний індекс бріосинузій залежно від умов місцезростань  
на породному відвалі шахти “Візейська”

№ ділянки	Види моху у бріоугрупованнях	Вміст хлорофілів (a+b), мг/г маси сирової речовини	Надземна фітомаса, г/м <sup>2</sup>	Хлорофільний індекс, г/м <sup>2</sup>
<b>Відвал шахти “Візейська”-вершина</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,812±0,025	162,2±16,4	0,131±0,009
	<i>Pohlia nutans</i>	0,667±0,031	147,5±15,6	0,098±0,008
	<i>Ceratodon purpureus</i>	0,549±0,023	138,4±10,7	0,075±0,008
	<b>Всього</b>		<b>408,1</b>	<b>0,304</b>
<b>тераса</b>				
1	<i>Brachythecium glareosum</i>	0,647±0,053	318,6±13,5	0,206±0,002
	<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,667±0,025	191,7±14,0	0,128±0,006
	<i>Cirriphyllum crassinervium</i>	0,511±0,022	236,0±10,6	0,120±0,006
	<b>Всього</b>		<b>746,3</b>	<b>0,454</b>
<b>підніжжя</b>				
1	<i>Polytrichum juniperinum</i>	0,915±0,037	442,5±10,2	0,440±0,020
	<i>Brachythecium glareosum</i>	0,551±0,025	327,4±5,1	0,180±0,007
	<i>Brachythecium salebrosum</i>	0,574±0,023	330,4±12,9	0,190±0,012
	<i>Cirriphyllum crassinervium</i>	0,490±0,022	244,8±10,6	0,120 ±0,008
	<i>Brachythecrastrum velutinum</i>	0,562±0,040	227,1 ±10,6	0,128±0,013
	<b>Всього</b>		<b>2485,3</b>	<b>1521,0</b>

Для пухкодернинної бріосинузії *Brachythecium glareosum* – syn. з тераси відвалу шахти “Візейська”, яка утворює майже суцільний покрив на дослідній ділянці, показник хлорофільного індексу (0,454 г/м<sup>2</sup>) був вищим, аніж на вершині у бріосинузії *Polytrichum juniperinum* – syn. (0,304 г/м<sup>2</sup>), завдяки більшій площі асимілюючої поверхні. Встановлено найбільші фітомасу (2485,3 г/м<sup>2</sup>) та величину хлорофільного індексу (1521,0 г/м<sup>2</sup>) для пухкодернинної бріосинузії *Polytrichum juniperinum* – syn. з підніжжя відвалу, в якій значне проективне покриття займають види, що формують високі дернини та плетиво із значною надземною фітомасою, сумарною кількістю зелених пігментів та найбільшою кількістю складу бріофлори.

Встановлено, що в досліджуваних бріофітних синузях відвалу шахти “Візейська” запас надземної фітомаси та величина ХІ підвищувався від

вершини до підніжжя, що пов'язано з поступовим заселенням та формуванням мохового покриву у напрямку від підніжжя відвалу та вказує на його вагомий внесок у загальну продуктивність рослинних угруповань на девастованих територіях.

Таким чином, для досліджуваних бріосинузій найбільший запас фітомаси та величину ХІ визначено на відвалі шахти “Візейська”, а найменшу – на відвалі ЦЗФ. Істотно підвищувались показники продуктивності синузій, до складу яких належать *Polytrichum juniperinum* та *Brachythecium glareosum* з високим вмістом пігментів фотосинтезу у зелених пагонах рослин. Поступово формуючи на шахтних відвалах заростання, мохоподібні виконують вагому роль у продукційному процесі на трансформованих територіях та підвищують функціональну здатність змінених екосистем.

### **6.1.3. Оцінка вмісту біологічно активних речовин (фенольних сполук, розчинних цукрів та вільного проліну) у гаметофіті моху *Ceratodon purpureus* в мінливих умовах існування**

Рослини впродовж життєвого циклу зазнають впливу стресових чинників різної природи, на які вони реагують низкою адаптивних перебудов (фізіологічних, біохімічних, молекулярних). Такі механізми захисту у рослинному організмі спрямовані на збереження їхньої життєздатності в несприятливих умовах середовища існування і реалізуються завдяки активації синтезу у клітинах таких низькомолекулярних сполук, як вуглеводи, вільний пролін [75; 89; 154; 200] та вторинних метаболітів (фенольних сполук) [47].

Із літературних джерел відомо, що клітини рослин акумулювали фенольні сполуки за дії таких екзогенних чинників, як низькі та високі температури [192], чи важкі метали [71; 148]. Встановлена участь фенольних сполук як ендogenous регуляторів фізіологічних процесів, які впливають на

активність антиоксидантної системи [149]. Синтез вторинних метаболітів індуюють 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 клітинах рослини фенольних сполук з фунгіцидними властивостями [43].

Встановлено, що у досліджуваних бріосинузіях породних відвалів вміст фенолів у пагонах *Ceratodon purpureus* змінювався від 0,91 мг/г маси сирої речовини (м. с. р.) у підніжжі відвалу шахти “Візейська” до 1,59 мг/г м. с. р. на терасі відвалу ЦЗФ (табл. 6.1.3.1). Відзначено, що кількість фенольних сполук у мохоподібних значною мірою залежала від інтенсивності освітлення відвалів та наявності вмісту вологи у субстратах.

Таблиця 6.1.3.1.

Вміст фенольних сполук та розчинних цукрів в гаметофіті моху *Ceratodon purpureus* із різних місцезростань вугільних відвалів

Місцезростання моху	Вміст фенольних сполук, мг/г маси сирої речовини	Вміст розчинних цукрів, мг/г маси сирої речовини
Контроль	0,88±0,02	23,62±1,31
“Надія” – вершина	1,02±0,06	31,75±2,0
тераса	1,48±0,10*	36,0±2,47*
підніжжя	1,06±0,05*	29,17±2,8
ЦЗФ – вершина	1,09±0,11	32,33±2,09*
тераса	1,59±0,08*	35,58±2,76*
“Візейська” – вершина	1,13±0,04*	33,08±2,06*
тераса	1,09±0,06*	27,68±1,56
підніжжя	0,91±0,05	24,42±1,13

Примітки: тут і далі – контроль (фонова територія) – зразки мохів, відібрані на відстані 5 км від шахтних відвалів.

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

Синтез вторинних метаболітів певною мірою індювала і температура технозему. Тобто на окремих положеннях відвалів активний біосинтез

фенолів відбувався під впливом багатофакторного абіотичного стресу. В умовах найвищої температури субстрату (42,0 °С – тераса відвалу шахти “Надія”) вміст фенолів у гаметофіті моху підвищувався до 1,48 мг/г м. с. р. На вершині та у підніжжі відвалу кількість фенольних сполук суттєво не відрізнялася – 1,02 та 1,06 мг/г м. с. р. відповідно, проте перевищувала показники контролю у 1,2 рази.

На вершині відвалу ЦЗФ вміст вторинних метаболітів був у 1,2 рази більшим, ніж у контролі, тоді як на терасі зростав у 1,8 рази. Ймовірно, акумуляція фенолів у клітинах моху відбувалась унаслідок безпосередньої дії сонячної радіації значної інтенсивності.

Встановлено, що у підніжжі відвалу шахти “Візейська” вміст фенольних сполук у гаметофіті моху (0,91 мг/г м. с. р.) суттєво не відрізнявся від їхнього вмісту в контролі (0,88 мг/г м. с. р.), що можна пояснити подібними умовами місцезростання бріофітів до умов фонові території.

За дії стресових чинників зміна водного потенціалу у клітинах рослин відбувається завдяки нагромадженню осмотично активних речовин, зокрема розчинних цукрів та вільного проліну. Накопичення у рослинах метаболітів сприяє підтримці осмотичного балансу клітин, запобігає дезінтеграції мембран, інактивації ферментів та денатурації білків, знижує водний потенціал клітини, перешкоджаючи її інтенсивній дегідратації, а також активує роботу захисної антиоксидантної системи [73; 96; 175; 184; 199]. Також відомо про сигнальну роль розчинних цукрів як вторинних месенджерів, що беруть участь в регулюванні експресії генів [193; 168; 39].

Досліджено, що в умовах осмотичного стресу, спричиненого нафтовим забрудненням середовища, адаптивні реакції моху *Bryum argenteum* реалізувались завдяки збільшенню вмісту у клітинах осмопротекторів – розчинних цукрів та вільного проліну [66]. Підвищення біосинтезу імінокислоти та вуглеводів визначено і в тканинах хвої сосни звичайної при водному дефіциті [131].

Результати аналізу свідчать, що на терасі відвалу шахти “Надія” кількість розчинних цукрів у пагонах моху *Ceratodon purpureus* була максимальною – 36,0 мг/г м. с. м., тоді як у зразках моху, відібраного на фоновій території (контроль), цей показник становив 23,62 мг/г м. с. р. [63]. На вершині відвалу вміст вуглеводів підвищувався у 1,3 рази, порівняно з контролем, у підніжжі в умовах більшого зволоження субстрату вміст первинного метаболіту перевищував контроль у 1,2 рази (табл. 6.1.3.1).

На вершині відвалу ЦЗФ кількість розчинних цукрів у гаметофіті моху становила 32,33 мг/г маси сирової речовини. На терасі вміст вуглеводів зростав до 35,58 мг/г м. с. р. і перевищував контроль у 1,5 рази. Із збільшенням вологи у субстраті відвалу шахти “Візейська” від вершини до підніжжя кількість розчинних цукрів у пагонах моху знижувалась майже до показника у контролі – від 33,08 до 24,42 мг/г м. с. р.

Залежно від положення на шахтних відвалах визначено особливості сезонних змін вмісту вільного проліну у гаметофіті моху *Ceratodon purpureus*. Результати досліджень свідчать, що навесні на вершині відвалу шахти “Надія” вміст проліну у пагонах моху становив 0,022 мг/г м. с. р., у липні був більшим у 5,7 рази, а у жовтні – лише в 1,3 рази (рис. 6.1.3.1).

На терасі відвалу шахти визначено найбільшу кількість осмопротектора: у квітні в умовах підвищеної температури субстрату (30 °С) внаслідок горіння породи, вміст проліну становив 0,136 мг/г м. с. р., а влітку – підвищувався до 0,244 мг/г м. с. р., що, очевидно, є проявом адаптивної реакції моху до впливу стресових гідротермічних умов (t субстрату – 42 °С, вміст вологи – 0,4 %) та екстремальної інсоляції (95-100 тис. лк). У жовтні кількість метаболіту у клітинах моху з тераси була нижчою, ніж в інші місяці.

Навесні у підніжжі відвалу вміст проліну у пагонах *C. purpureus* становив 0,023 мг/г м. с. р., тоді як у липні за інтенсивності освітлення – 74-80 тис. лк та вологості субстрату (5,9 %) підвищувався до 0,167 мг/г м. с. р. У



жовтні кількість осмопротектора збільшувалась у 2,2 рази, порівняно з весняними показниками, та знижувалась у 3,3 рази, порівняно з літніми.

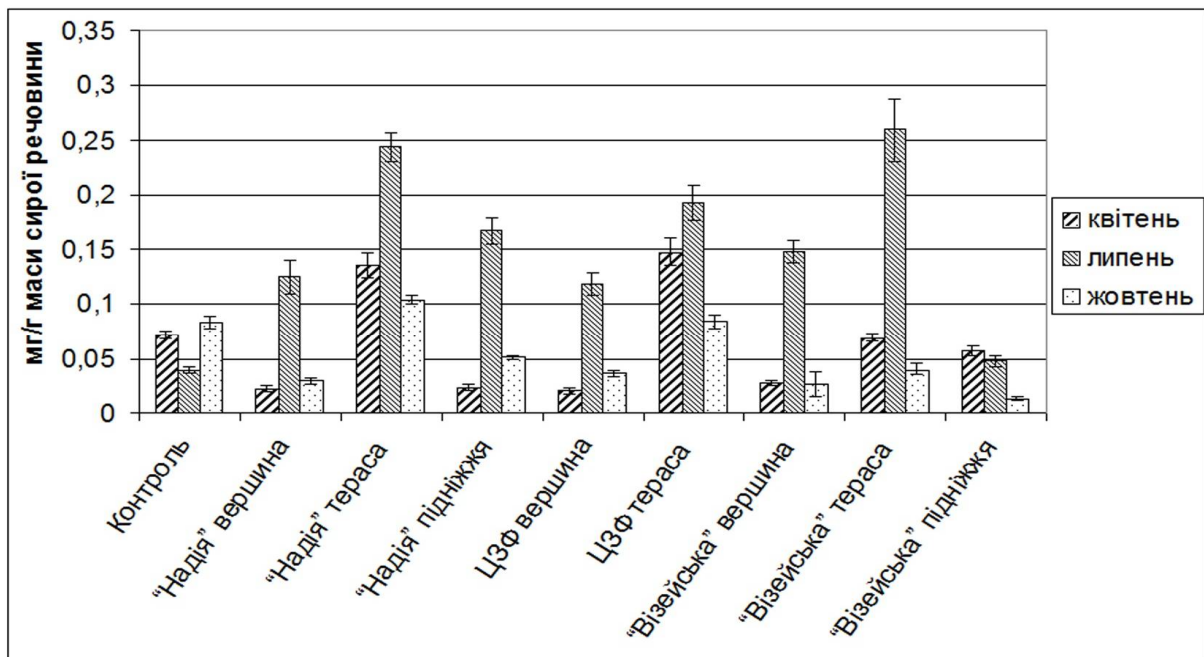


Рис. 6.1.3.1 Сезонна динаміка вмісту вільного проліну у пагонах *Ceratodon purpureus* у стресових умовах породних відвалів

На вершині відвалу ЦЗФ у гаметофіті *C. purpureus* вміст метаболіту проліну у квітні був невеликим – 0,021 мг/г м. с. р., у липні зростав у 5,6 рази, а в жовтні лише у 1,7 рази (0,036 мг/г м. с. р.), порівняно з весняними показниками. Навесні на освітленій ділянці тераси ЦЗФ вміст імінокислоти у пагонах моху становив 0,148 мг/г м. с. р., влітку за інтенсивності освітлення – 95-100 тис. лк та незначного зволоження субстрату (0,6 %), кількість вільного проліну в пагонах моху підвищувався до 0,192 мг/г м. с. р. та зменшувався до 0,084 мг/г м. с. р. восени.

Виявлено, що у квітні на вершині відвалу шахти "Візейська" вміст проліну у клітинах моху становив 0,027 мг/г м. с. р., у липні за впливу сонячної радіації (89-96 тис. лк) і температури (29,1 °С) та вологості субстрату – 1,9 % – його вміст підвищувався до 0,149 мг/г м. с. р. На терасі в більш сприятливих мікроумовах місцезростання моху (температура та

вологість субстрату – 22,1 °С та 11,2 % відповідно) за інтенсивності освітлення 72,0-84,0 тис. лк, вміст імінокислоти підвищувався до 0,259 мг/г м. с. р. і був найбільшим, порівняно із зразками моху з інших положень на відвалі. Ймовірно, в цьому випадку активація синтезу метаболіту індукована факторами, не пов'язаними з осмотичними ефектами. У квітні в підніжжі відвалу вміст проліну в клітинах моху становив 0,057 мг/г м. с. р., влітку знижувався 1,1 рази, восени – у 4,4 рази, порівняно з весняними показниками. У жовтні встановлена тенденція до зниження вмісту вільного проліну у пагонах моху на усіх положеннях відвалу.

Отже, в техногенних умовах існування механізми захисту у мохоподібних реалізувались завдяки активації біосинтезу розчинних цукрів, фенольних сполук та вільного проліну. Установлено залежність вмісту метаболітів у пагонах мохів від мікрокліматичних умов на відвалах, а в окремих випадках на синтез вільного проліну у клітинах, імовірно, впливали стресори іншої природи. Окрім того, присутність іонів  $Ca^{2+}$  у субстраті [61] могла індукувати або накопичення імінокислоти у пагонах мохів, або ж запускати інші компенсаційні механізми стійкості (синтез антиоксидантних ферментів, підвищення термостабільності білків і білково-ліпідних комплексів та ін.), в результаті чого синтез імінокислоти не активувався. Зниження кількості вільного проліну в клітинах мохів в холодний період року може бути також і результатом деструктивних процесів, що супроводжують стрес, зокрема, бути джерелом енергії за дії негативних чинників техногенного середовища.

## **6.2. Вплив екстрактів з мохових дернин та техногенних субстратів на проростання насіння в модельних біотестах**

На сьогодні однією із першочергових проблем у фітоценології є питання взаємовідносин рослинних організмів в угрупованнях. Здавна алелопатичний вплив рослин вчені розглядали як складне природне явище,

що зумовлене взаємодією ряду компонентів та чинників середовища існування, які забезпечують тривале функціонування як штучних, так і природних фітоценозів [38]. Важливими в алелопатичному відношенні є водорозчинні виділення, які вилуговуються унаслідок опадів із вегетативних органів мохових рослин. При тому їх кількісний та якісний склад залежить від температури, вологості, реакції ґрунту, умов аерації, а також виду, віку рослин та сезону року.

Результати аналізу із використанням водних витяжок мохоподібних на проростання насіння та подальший онтогенез проростків є суперечливими, які інколи важко обґрунтувати, що, як зауважують вчені [208], повинно стимулювати до ще більш детальних досліджень. Бріофіти можуть сприяти проростанню насіння [208], або ж, навпаки, пригнічувати їх ріст та розвиток. Виявлено, що водні витяжки з *Polytrichum piliferum* та *Pleurozium schreberi* як інгібували, так і каталізували ростові процеси проростків *Pinus sylvestris*, що залежало від видової специфіки мохів, а також концентрації водної витяжки [99]. На результати можуть впливати видова приналежності мохів, рівень рН водних витяжок, насіння рослин з різними екологічними вимогами, а також наявність різних груп мікроорганізмів, грибів, пилу, мікрочастинок ґрунту [167].

Отримані результати аналізу дали можливість відзначити певну специфіку впливу різних концентрацій водних витяжок на проростання насіння та морфометричні показники проростків редису.

Встановлено, що у співвідношення 1:3 найкраще проростання насіння редису відбувалось на витяжках із субстрату під моховим покривом. Кількість пророслих насінин редису у контролі загалом перевищувала їх кількість у субстраті без рослин.

Водні витяжки із мохів та субстратів під ними дещо інгібували ріст та нагромадження маси проростків, порівняно з контролем, причому отримані витяжки із субстратів з-під дернин менше пригнічували ріст кореня і пагона та формування їх маси, ніж витяжки із мохів (табл.6.2.1, 6.2.2).

Таблиця 6.2.1

Вплив витяжок з мохових дернин *Ceratodon purpureus* і техногенних субстратів на проростання насіння редису (n=25) та морфометричні показники його проростків, співвідношення 1:3

Варіанти	Кількість пророслих насінин, шт	Довжина, см		Маса, г	
		кореня	пагона	кореня	Пагона
Контроль (вода)	10,3±0,9	5,60±0,49	6,21±0,34	0,018±0,001	0,071±0,004
<b><i>Відвал шахти “Надія” – вершина</i></b>					
Мохова дернина	10,7±0,3	6,14±0,22	6,67±0,16	0,023±0,001	0,078±0,002
Субстрат під дерниною	9,5±0,8	4,63±0,60	5,58±0,45	0,020±0,001	0,057±0,002
Субстрат без рослин	10,3±0,4	3,46±0,32	6,10±0,41	0,012±0,001	0,051±0,003
<b><i>Тераса</i></b>					
Мохова дернина	11,0±0,3	5,55±0,46	6,04±0,35	0,016±0,002	0,067±0,001
Субстрат під дерниною	11,5±0,7	6,09±0,50	6,41±0,15	0,020±0,002	0,073±0,005
Субстрат без рослин	9,3±0,3	3,16±0,33	3,29±0,3	0,010±0,001	0,039±0,005
<b><i>Підніжжя</i></b>					
Мохова дернина	10,3±0,8	4,43±0,51	7,31±0,24	0,018±0,001	0,085±0,004
Субстрат під дерниною	10,7±0,3	5,80±0,54	6,37±0,21	0,022±0,001	0,076±0,007
Субстрат без рослин	9,5±0,5	3,51±0,35	5,06±0,32	0,015±0,002	0,062±0,003
<b><i>Відвал ЦЗФ- вершина</i></b>					
Мохова дернина	10,3±0,9	5,00±0,37	5,50±0,24	0,018±0,001	0,059±0,003
Субстрат під дерниною	12,3±0,8	5,79±0,36	6,00±0,14	0,016±0,001	0,090±0,003*
Субстрат без рослин	10,3±0,5	4,19±0,58	4,76±0,78	0,012±0,001*	0,054±0,003*
<b><i>Тераса</i></b>					
Мохова дернина	10,0±0,9	5,38±0,50	6,17±0,20	0,017±0,002	0,059±0,005
Субстрат під дерниною	11,3±0,3	4,31±0,71	6,36±0,13	0,015±0,001	0,077±0,003
Субстрат без рослин	8,5±0,8	4,76±0,55	5,83±0,19	0,012±0,001	0,066±0,002

Відзначено утворення найдовших корінців на витяжці з моху із вершини відвалу шахти “Надія”, які перевищували контроль та показники із незадернованого субстрату в 1,1 та 1,8 рази відповідно. У цьому ж варіанті

формувався і найбільша їх маса, яка була більшою за контроль в 1,2 рази та субстрат без мохового покриву в 1,5 рази.

Таблиця 6.2.2

Вплив витяжок з мохових дернин *Ceratodon purpureus* і техногенних субстратів на проростання насіння редису (n=25) та морфометричні показники його проростків, співвідношення 1:3

Варіанти	Кількість пророслих насінин, шт	Довжина, см		Маса, г	
		кореня	пагона	кореня	пагона
Контроль (вода)	10,3±0,9	5,60±0,49	6,21±0,34	0,018±0,001	0,071±0,004
<b><i>Відвал шахти “Візейська” – вершина</i></b>					
Мохова дернина	11,3±0,6	5,66±0,43	5,49±0,35	0,018±0,001	0,062±0,008
Субстрат під дерниною	10,7±0,9	5,79±0,44	5,86±0,43	0,024±0,005	0,069±0,006
Субстрат без рослин	10,3±0,3	4,06±0,55	5,72±0,32	0,013±0,002*	0,056±0,004
<b><i>Тераса</i></b>					
Мохова дернина	11,5±0,7	4,46±0,29	7,37±0,53	0,015±0,001*	0,074±0,003
Субстрат під дерниною	12,3±0,9	5,97±0,92	7,07±0,56	0,019±0,002	0,067±0,005
Субстрат без рослин	11,0±0,8	5,77±0,76	7,17±0,31	0,018±0,002	0,064±0,004
<b><i>Підніжжя</i></b>					
Мохова дернина	11,7±0,5	5,64±0,67	5,80±0,39	0,020±0,002	0,070±0,005
Субстрат під дерниною	12,7±0,3	5,63±0,37	6,60±0,29	0,019±0,001	0,077±0,005
Субстрат без рослин	13,3±0,5	6,31±0,49	6,01±0,57	0,017±0,001	0,073±0,005

Довжина та маса пагона були найбільшими під впливом водної витяжки з моху, відібраного у підніжжі відвалу, та перевищували контроль і показники із субстрату без рослин.

Встановлено, що морфометричні показники проростків на витяжках із незадернованого субстрату, відібраного на відвалі шахти “Візейська”, були істотно більшими, ніж у варіантах (субстрат без моху) з відвалів шахти “Надія” та ЦЗФ.

Таблиця 6.2.3

Вплив витяжок з мохових дернин *Ceratodon purpureus* і техногенних субстратів на проростання насіння редису (n=25) та морфометричні показники його проростків, співвідношення 1:6

Варіанти	Кількість пророслих насінин, шт	Довжина, см		Маса, г	
		кореня	пагона	кореня	пагона
Контроль (вода)	10,3±0,9	5,60±0,49	6,21±0,34	0,018±0,001	0,071±0,004
<b>Відвал шахти “Надія” – вершина</b>					
Мохова дернина	11,3±0,7	6,65±0,47	7,03±0,38	0,020±0,001	0,079±0,006
Субстрат під дерниною	9,3±0,9	6,99±0,36	7,17±0,45	0,018±0,001	0,077±0,003
Субстрат без рослин	9,0±0,6	4,96±0,35	6,64±0,55	0,016±0,002	0,075±0,006
<b>Тераса</b>					
Мохова дернина	10,7±0,3	4,48±0,56	6,94±0,31	0,016±0,001	0,080±0,005
Субстрат під дерниною	11,3±1,2	6,49±0,31	7,17±0,62	0,018±0,001	0,084±0,005
Субстрат без рослин	10,3±0,3	5,11±0,47	4,53±0,22*	0,015±0,001	0,068±0,005
<b>Підніжжя</b>					
Мохова дернина	12,0±0,6	7,14±0,63	5,16±0,24	0,019±0,001	0,070±0,004
Субстрат під дерниною	11,3±0,7	5,60±0,57	6,91±0,66	0,018±0,002	0,080±0,005
Субстрат без рослин	11,3±0,9	5,03±0,68	5,81±0,52	0,016±0,002	0,069±0,003
<b>Відвал ЦЗФ- вершина</b>					
Мохова дернина	11,0±0,6	5,66±0,55	6,57±0,49	0,019±0,001	0,076±0,003
Субстрат під дерниною	11,3±0,7	9,33±0,66*	7,31±0,38	0,025±0,001	0,096±0,003*
Субстрат без рослин	10,3±0,9	4,61±0,49	5,34±0,53	0,016±0,001	0,073±0,005
<b>Тераса</b>					
Мохова дернина	12,3±0,3	5,24±0,45	7,31±0,29	0,017±0,001	0,086±0,004
Субстрат під дерниною	10,7±0,3	6,73±0,48	6,81±0,35	0,019±0,001	0,081±0,005
Субстрат без рослин	10,0±1,2	5,67±0,49	6,77±0,45	0,015±0,002	0,077±0,006

Імовірно, це пов'язано із багатшим складом технозему на необхідні елементи живлення для життєдіяльності рослинних організмів.

Найдовші пагони проростків утворювалися на витяжці з моху із тераси відвалу, які були більшими в 1,4 рази, порівняно з контролем та субстратом

без рослин. Маса пагона максимально збільшувалась на витяжці із субстрату з-під бріюфітної дернини та без неї в 1,3 та 1,8 рази відповідно.

Аналіз отриманих даних свідчить, що на відвалі шахти “Надія” морфометричні показники проростків редису на витяжках із мохових рослин та субстратів під ними у розведенні 1:6 загалом перевищували показники контролю та незадернованого субстрату (табл. 6.2.3, 6.2.4).

Таблиця 6.2.4

Вплив витяжок з мохових дернин *Ceratodon purpureus* і техногенних субстратів на проростання насіння редису (n=25) та морфометричні показники його проростків, співвідношення 1:6

Варіанти	Кількість пророслих насінин, шт	Довжина, см		Маса, г	
		кореня	пагона	кореня	Пагона
Контроль (вода)	10,3±0,9	5,60±0,49	6,21±0,34	0,018±0,001	0,071±0,004
<b>Відвал шахти “Візейська” – вершина</b>					
Мохова дернина	10,0±1,2	8,27±0,78	7,50±0,31	0,021±0,001*	0,072±0,008
Субстрат під дерниною	9,3±0,9	6,51±0,65	7,61±0,29*	0,020±0,001	0,095±0,003*
Субстрат без рослин	10,7±1,5	5,97±0,36	6,23±0,18	0,016±0,014	0,054±0,002*
<b>Тераса</b>					
Мохова дернина	11,7±0,9	8,01±0,46*	8,37±0,45*	0,026±0,002*	0,079±0,007
Субстрат під дерниною	11,0±0,6	6,61±0,21	7,97±0,27*	0,027±0,002*	0,080±0,007
Субстрат без рослин	9,7±0,7	5,70±0,38	5,99±0,14	0,017±0,001	0,055±0,002*
<b>Підніжжя</b>					
Мохова дернина	12,3±0,9	7,71±0,45*	6,21±0,16	0,021±0,001	0,070±0,007
Субстрат під дерниною	12,7±0,3	5,24±0,48	6,59±0,18	0,019±0,001	0,076±0,004
Субстрат без рослин	9,7±0,7	5,90±0,46	5,97±0,28	0,018±0,001	0,061±0,004

Найдовшими корінці виростили під впливом водної витяжки із моху, що приурочений до умов підніжжя відвалу – 7,14 см, а довжина пагонів максимально збільшувалась на витяжках субстратів з-під дернин моху (вершина та тераса) – 7,17 см.

Найбільшій масі пагона сприяла витяжка із субстрату з-під моху на терасі відвалу – 0,084 г. Витяжки, отримані із відібраних зразків моху та субстрату під ним на вершині відвалу шахти ЦЗФ, стимулювали ростові показники проростків редису, порівняно з контролем та субстратом без рослин, водночас водна витяжка із технозему мід мохом сприяла появі більших та важчих наземних та підземних органів проростків. В окремих дослідах у витяжках з тераси відвалу довжина та маса кореня були нижчими, порівняно з контролем та незадернованим субстратом (лише довжина кореня).

Водні витяжки із мохових дернин та субстратів з-під них, відібраних на відвалі шахти “Візейська”, індукували ріст та розвиток проростків редису. Їхні морфометричні показники загалом перевищували контроль та незадернований субстрат.

Отже, водні витяжки з мохів та субстратів під ними у співвідношенні 1:6 істотноше впливали на збільшення морфометричних показників проростків редису, ніж у розведенні 1:3, водночас дія отриманих витяжок із субстрату без рослин загалом інгібувала проростання та розвиток проростків. Встановлено, що в обох варіантах розведення значна стимуляція росту та формування маси проростків відбувалась під впливом витяжок субстратів з-під бріюфітного покриву, ніж із мохових дернин.

Однією із причин зниження морфометричних показників проростків редису на витяжках з мохів та субстратів під ними, порівняно з контролем, вочевидь, було значне забруднення токсичними сполуками субстрату, з якого отримували водні витяжки. Окрім того, за дії екстремальних чинників відвалів у мохах підвищується біосинтез органічних сполук, зокрема і фенолів, які, інгібуючи ростові процеси мохоподібних, могли разом із фізіологічними виділеннями транспортуватись у субстрат.

Вплив водних витяжок на проростання насіння редису та його морфометричні показники залежала від співвідношення вода/наважка



мохової дернини чи субстрату з-під неї. Витяжки із незадернованого субстрату загалом чинили інгібуючий вплив на ріст та розвиток проростків.

## РОЗДІЛ 7

### УЧАСТЬ МОХОВОГО ПОКРИВУ У ВІДНОВЛЕННІ ДЕВАСТОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ГІРНИЧОДОБУВНОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

Заростання породних відвалів відбувається як первинна сукцесія рослинного покриву з послідовними стадіями заселення толерантних видів мохоподібних, які відрізняються як за видовим складом, так і за структурно-функціональною організацією мохових угруповань. Флористичний склад досліджуваних угруповань залежав від положення (вершина, тераса, підніжжя) на відвалі, його віку та приуроченості до умов місцезростань. Для наймолодшого відвалу ЦЗФ характерні одно- та двовидові бріоугруповання переважно з видів мохів-поселенців, тоді як на відвалі шахти “Візейська” з майже сформованим рослинним покривом, зокрема у його підніжжі, стійкі мохові угруповання формують 8 представників бріофлори, в основному – багаторічні стаери. На відвалі шахти “Надія” в досить неоднорідних умовах існування бріофітні угруповання представлені від одного до п’яти видів мохоподібних.

Стійкі мохові угруповання виділено у ранг епігейних синузій, які є самостійними просторово виокремленими угрупованнями, що займають окрему екологічну нішу (моховий ярус). Результати аналізу бріоугруповань свідчать, що на досліджуваних ділянках породних відвалів переважають щільнодернинні синузії, дещо меншу частку становлять пухкодернинні та плетивні синузії. Здебільшого діагностичним видом щільнодернинних синузій на відвалах шахти “Надія” та ЦЗФ є *Ceratodon purpureus*, а пухкодернинних (відвал шахти шахти “Надія” та ЦЗФ) – *Polytrichum piliferum* та *Polytrichum juniperinum* – переважно відвал шахти “Візейська”. Плетивні синузії з діагностичним видом – *Brachythecium glareosum* характерні для відвалів шахт “Надія” та “Візейська”.

Субстрати з екстремальними мікроумовами шахтних відвалів, зокрема ЦЗФ та “Надія”, заселяють піонерні, переважно дводомні, екологічно пластичні види поселенці, зокрема *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *B. caespiticium*, *Campylopus introflexus*. Здатність розмножуватись не тільки генеративним способом, а й вегетативно (завдяки спеціалізованим виводковим органам: ламкими верхівками стебел, виводковими брунькам, підземними бульбочкам) дає можливість мохам підтримувати життєвий потенціал та ефективно поширюватись у мінливому, іноді непридатному для існування інших видів судинних рослин середовищі.

На шахтних відвалах види-поселенці із значним проєктивним покриттям та частотою трапляння, заселяють техноземи, які бідні на біогенні елементи й органічні сполуки та з екстремальним гідротермічним режимом (ЦЗФ та тераса відвалу шахти “Надія”). Поселенці є верхоплідними видами, які характеризуються підвищеним генетичним поліморфізмом фертильних рослин, а також значною пластичністю розвитку завдяки здатності як до статевого, так і безстатевого розмноження [92]. На техноземах зі значно стабільнішими екологічними умовами та багатшим мінеральним і органічним складом поселяються види за життєвою стратегією – багаторічні стаєри (*Brachythecium glareosum*, *Sciurohypnum starkei*, *Brachythecium salebrosum*). Для них характерним є низька статева та безстатєва репродукція, значна тривалість життя та швидкий ріст. Такі види формують бріосинузії у підніжжі відвалу шахти “Візейська” та на самозарослій вершині та терасі відвалу шахти “Надія”.

Особливості поширення мохоподібних та специфіка формування бріоугруповань значною мірою залежить від фізико-хімічного складу породи та гідротермічного режиму на відвалах, їхнього віку, відповідно, і стадії сукцесійних процесів. На наймолодшому відвалі ЦЗФ найтипівіші бріосинузії здебільшого є моновидовими з переважанням ксеромезофітних, інцертофільних та олігомезотрофних видів. Ущільнення деревного ярусу на відвалі шахти “Візейська” покращило умови середовища, що стало

передумовою для заселення представників бріофлори мезофітної та мезогірофітної груп. Гетерогенність мікрокліматичних та едафічних умов на відвалі шахти “Надія” сприяла поширенню мохоподібних досить різних екологічних груп – кальцефіли, ацидофіли, інцертофіли; ксеро- мезофіти, гірофіти; евтрофи, оліготрофи тощо.

На початкових етапах заростання відвалів техногенні субстрати опановують піонерні види із формою росту щільної низької дернини (вершина та тераса відвалу ЦЗФ, тераса та підніжжя відвалу шахти “Надія”), зокрема *Ceratodon purpureus*, *Bryum argenteum*, *Pohlia nutans*. Заселяючи переважно відкриті та сухі субстрати, мохоподібні отримують значний вплив сонячної енергії, водночас завдяки невисоким щільно розміщеним пагонам та густій ризоїдній повсті вони забезпечують мінімальну втрату вологи у дернині. Окрім піонерних видів, які утворюють низькі щільні дернини, досить часто домінують є ендогідричні види роду *Polytrichum* з низькими, або високими пухкими дернинами. На подальших етапах формування рослинного покриву на техногенних субстратах заселяються види із біоморфною структурою пухкого чи щільного плетива (вершина відвалу шахти “Надія”, тераса та підніжжя відвалу шахти “Візейська”), які приурочені до вологіших умов місцезростання. Для них характерні вужчі межі пластичності, які зумовлені більш стабільною реакцією організму до сприятливіших екологічних умов на відвалах.

На досліджуваних відвалах найбільшу частку займають бореальні види мохів, які поширюються в основному з прилеглих фонових територій і здебільшого приурочені до зволжених та затінених місцезростань: в умовах мікропонижень рельєфу та підніжжя відвалів із самозаростанням деревних та трав’яних рослин. Меншу частку становлять космополіти, хоча за частотою трапляння ці види, зокрема *Ceratodon purpureus*, займають домінуючу позицію на техногенних субстратах.

Заселяючи несприятливі для онтогенезу судинних рослин породні відвали, мохоподібні позитивно впливали насамперед на водний режим

субстрату завдяки великій щільності пагонів у структурі низьких мохових дернин та добре розвинутій ризоїдній повсті, яка утримує воду. Важливу роль в акумуляції та зберіганні вологи у бріофітів відіграє не одна особина, а колоніальна біоморфна структура, яка мінімізує процес випаровування та сприяє збереженню вологи не тільки безпосередньо у дернині, а й під нею [126]. На досліджуваних відвалах впродовж весняно-осіннього періоду відсоток зволоження під бріосинузіями зберігався вищим, ніж у субстраті без рослин. Вміст вологи як у техноземі, так і дернині залежав від умов місцезростань бріофітів. Забезпечення оптимального режиму зволоження у поверхневому горизонті технозему сприяло підвищенню деструкції органічної речовини та процесів мінералізації продуктів розпаду, що, в свою чергу, призводить до збагачення технозему елементами живлення та доступності поживних речовин для проростків судинних рослин.

В мінливих умовах породних відвалів мохоподібні в спекотний період року зменшували температурні максимуми у субстраті під дерниною, порівняно із субстратом без рослин, тоді як у холодні місяці температурні показники під бріофітним покривом здебільшого були вищими, ніж у незадернованому субстраті.

За участю бріосинузій, що заселили відвали видобутку вугілля, значення рН водного ґрунтового розчину під їхнім покривом здебільшого підвищувалось. Мінливість показників кислотності у техноземі залежала як від ступеня рекультивації відвалу, так і його віку: на наймолодшому відвалі ЦЗФ процеси окиснення у породі сприяли низькому значенню рН, водночас моховий покрив підвищував показники водного ґрунтового розчину. Під впливом мохової дернинки встановлюється слабокисла реакція у субстраті, яка сприяє руйнуванню мінералів шахтної породи, мобільності речовин та елементів тощо. Такі умови поступово стають сприятливими як для поселення різних видів бріофітів, так і росту та формування рослинного покриву за участю судинних рослин.

Бріофітам як невід'ємній складовій багатьох екосистем властива важлива роль в активному збагаченні субстратів поживними речовинами, зокрема внаслідок фіксації атмосферного Карбону та Нітрогену, що має ключове значення як для локальних, так і глобальних біогеохімічних циклів [202.; 180; 173; 162; 187]. Отримані результати аналізу свідчать, що мохи у бріосинузіях, акумулюючи біогенні мінеральні елементи в клітинах унаслідок активного метаболізму, сприяють їхньому нагромадженню в субстратах під моховим покривом. Різниця в накопиченні макроелементів мохоподібними залежала від місцезростань на відвалі, які відрізнялись окремими показниками мікроумов у техноземі. Встановлено, що моховий покрив сприяв депонуванню Нітрогену у ризоїдному шарі субстрату, частка якого залежала від воднотемпературного режиму на відвалах та ступеня їх заростання.

У досліджуваних екотопах шахтних відвалів ЧГПР вміст органічного Карбону під бріосинузіями підвищувався, порівняно із субстратом без рослин. Інтенсивність деструкції органічної речовини залежала, насамперед, від мікрокліматичних умов місцезростання мохів (водного та температурного режимів): в умовах сформованого деревного ярусу відвалу шахти “Візейська” вміст органічного Карбону під моховим покривом значно відрізнявся від його вмісту на інших відвалах.

Мохоподібні, акумулюючи значну кількість важких металів, вилучають їх із біогеохімічного циклу, таким чином зменшуючи кількість токсичних сполук у субстраті.

Навесні сприятливі мікрокліматичні умови на породних відвалах здебільшого індукували синтез хлорофілу *a* у пагонах мохів, а в липні за сумісної дії стресових чинників (високі температура та інсоляція, низька вологість субстрату) його вміст знижувався. Зменшення співвідношення хлорофілів/каротиноїдів у фотосинтезуючих органах рослин знижувало ризик окислювальних реакцій у хлоропластах в умовах найбільшої інтенсивності освітлення. Підвищення вмісту хлорофілу *b* у клітинах мохів

забезпечувало додаткове поглинання квантів сонячного світла в умовах затінення, а при екстремальній сонячній радіації стабілізувало функціонування пігментної системи.

Сумарна кількість зелених пігментів, загальна фітомаса асимілюючих органів, видовий склад бріосинузій, а також екологічна приуроченість до умов місцезростання у техногенному середовищі є визначальними у формуванні первинної продуктивності мохового покриву. Істотно збільшувалися показники продуктивності мохових синузій, які репрезентують домінантні види *Polytrichum juniperinum* та *Brachythecium glareosum* з високим вмістом пігментів фотосинтезу у зелених пагонах рослин завдяки значній площі асимілюючої поверхні. Поступово формуючи на техногенних субстратах заростання – від моновидових (відвал ЦЗФ, тераса відвалу шахти “Надія”) до маловидових (відвали шахт “Надія” (вершина) та “Візейська”), бріофіти виконують вагому роль у продукційному процесі рослинного покриву на шахтних відвалах.

В екстремальних умовах місцезростання у мохів механізми захисту реалізовувались завдяки активному синтезу вільного проліну та фенольних сполук та меншою мірою – водорозчинних вуглеводів. Адаптивні реакції (підвищення вмісту осмопротекторів – проліну та розчинних цукрів) в умовах дефіциту вологи у літній період сприяли підтриманню гомеостазу рослинного організму в стресових умовах існування. Вміст проліну, розчинних цукрів та фенолів у тканинах мохів залежав від ступеня зволоження субстрату, високих температур та значної сонячної радіації. На індукцію біосинтезу імінокислоти проліну впливали й інші чинники відвалів, зокрема іони  $\text{Ca}^{2+}$ .

Поліфункціональна дія низькомолекулярної сполуки – проліну у весняно-осінній періоди забезпечувала резистентність мохів і до низького температурного режиму внаслідок його катаболізму для забезпечення енергією функціонування організму за стресових низьких температур.

Водні витяжки з мохових дернин та задернованого шару субстрату у співвідношенні 1:6 сприяли істотнішому проростанню насіння та вищим морфометричним показникам проростків редису, порівняно із контролем. А такі ж витяжки у розведенні 1:3 здебільшого інгібували їх онтогенез, однак, порівняно із субстратом без рослин, загалом дія водних витяжок стимулювала ріст та формування маси надземних і підземних органів проростків редису.



## ВИСНОВКИ

У роботі проаналізовано зміни екологічних і біоморфологічних структур епігейних бріосинузій залежно від абіотичних умов на відвалах видобутку вугілля Червоноградського гірничопромислового району, визначено первинну продуктивність, фізіологічні стреспротекторні реакції та роль у процесах відновлення порушених територій.

1. Визначено 14 типових маловидових (від 1 до 8) безрангових епігейних бріосинузій, які ідентифікували за домінантними видами мохоподібних та їх життєвими формами. Показано, що видовий склад і проективне покриття бріосинузій залежать від віку породних відвалів, типу їх рекультивації та мікрокліматичних умов місцезростання.

2. Встановлено, що зміни екобіоморфологічної структури бріосинузій зумовлені гетерогенністю абіотичних умов на відвалах. Відзначено, що найбільшу частку (65 %) становлять бореальні види бріофітів, здебільшого з фонових територій, і 15 % – космополіти. Серед біоморф переважають мохи із життєвими формами: щільна дернина та пухке плетиво, а екоморф – ксеромезофіти, мезофіти, олігомезотрофи, мезотрофи та інцертофіли.

3. Хлорофільний індекс як показник первинної продуктивності епігейних бріосинузій змінювався залежно від їхнього видового складу, вмісту хлорофілу *a* і *b* та фітомаси мохових дернин в різних умовах місцезростань на відвалах.

4. В умовах дефіциту вологи, високої інсоляції та температури у бріосинузіях встановлено підвищену здатність до синтезу розчинних цукрів, вільного проліну та фенольних сполук, що є проявом стрес-толерантності.

5. Завдяки здатності бріосинузій швидко поглинати вологу і нагромаджувати її, на техногенних відвалах поліпшувались мікроумови під моховим покривом: зокрема у липні показники вологи збільшувались (від 0,3 % до 31,3 %), а температури зменшувались (від 0,3 °C до 2,7 °C), порівняно із субстратом без рослин.

6. Визначено, що формування епігейних бріосинузій сприяє підвищенню різноманіття еколого-трофічних груп мікроорганізмів (оліготрофів, безбарвних сіркоокислювальних бактерій нейтрофілів) та ініціює формування органо-акумулятивного шару під моховим покривом, порівняно із субстратом без рослин.

7. З'ясовано ренатуралізаційну участь бріосинузій, яка проявляється як у покращенні мікрокліматичних показників, так і мікроумов в 0-3 см шарі субстрату під моховим покривом завдяки збагаченню біогенними елементами (Нітрогеном, Фосфором, Калієм, Кальцієм), депонуванню органічного Карбону та перерозподілу мікроелементів між рослинами та субстратом.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ**

1. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М.: МГУ, 1970. – 488 с.
2. Бабаджанова О. Ф. Чинники пожежної небезпеки породних відвалів вугледобування / О. Ф. Бабаджанова, Ю. Г. Сукач, Р. Ю. Сукач // Збірник наукових праць ЛДУ БЖД, 2012. – №20. – С. 137-143.
3. Баишева Э. З. Разнообразие мохообразных естественных экосистем: подходы к изучению и особенности охраны / Э. З. Баишева // Успехи современной биологии. – 2007. – Т. 127, № 3. – С. 316-333.
4. Баранов В. І. Хіміко-мінералогічний склад порід відвалу вугільних шахт ЦЗФ "Львівсистеменерго" та їх вплив на проростання насіння / В. І. Баранов, І. Б. Книш // Промислова ботаніка: стан та перспективи розвитку / Матеріали V міжнар. наук. конф. Донецьк, 2007. – С. 36.
5. Баранов В. І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ "Львівсистеменерго" як об'єкта для озеленення / В. І. Баранов // Вісник Львів. ун-ту. Серія: біологічна. – 2008. – Вип. 46. – С. 172-178.
6. Баранов В. І. Зміни вмісту сірки, вільних амінокислот і білка в рослинах ріпаку, підживлених капсульованими добривами на субстратах породного відвалу вугільних шахт / В. І. Баранов, М. Я. Гавриляк, Я. В. Телегус // Біологічні студії / *Studia Biologica*. – 2010. – Т. 4, № 1. – С. 53-62.
7. Баранов В. І. Очерет звичайний – фіторемедіант важких металів у дренажних канавах породних відвалів вугільних шахт / В. І. Баранов, І. М. Книш, І. А. Блайда та ін. // Біологічні студії / *Studia Biologica*. – 2012. – Т. 6, № 1. – С. 93-100.
8. Барсуков О. О. Мохоподібні Харківської області / О. О. Барсуков // Автореф. дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.05 "Ботаніка". – Київ, 2015. – 22 с.
9. Бачурина Г. Ф. Флора мохів Української РСР / Г. Ф. Бачурина, В.М. Мельничук. – К.: Наукова думка, 1987. – Вип. I. – 180 с.

10. Бачурина Г. Ф. Флора мохів Української РСР / Г. Ф. Бачурина, В. М. Мельничук. – К.: Наукова думка, 1988. – Вип. II. – 179 с.
11. Бачурина Г. Ф. Флора мохів Української РСР / Г. Ф. Бачурина, В. М. Мельничук. – К.: Наукова думка, 1989. – Вип. III. – 175 с.
12. Бачурина Г. Ф. Флора мохів України / Г. Ф. Бачурина, В. М. Мельничук. – К.: Академперіодика, 2003. – Вип. IV. – 255 с.
13. Башуцька У. Б. Антропогенно-природні сукцесії рослинності девастрованих ландшафтів Червоноградського гірничопромислового району: автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.03.01 / У. Б. Башуцька; Укр. державний лісотехнічний ун-ет. – Л., 2004. – 17 с.
14. Башуцька У. Б. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району: Монографія / У. Б. Башуцька. – Львів: РВВ НЛТУ України, 2006. – 180 с.
15. Блайда И. А. Состав и активность бактериального сообщества отходов углеобогащения / И. А. Блайда // *Biotechnologia Acta*. – 2014. – Vol. 7 (5). – С. 94-100.
16. Блайда І. А. Фізико-хімічна та мікробіологічна характеристика породних відвалів збагачення вугілля / І. А. Блайда, Т. В. Васильєва, В. Ф. Хитрич, Н. Ю. Васильєва, О. І. Джамбек, О. А. Джамбек // *Мікробіологія та біотехнологія*, 2016. – № 2. – С. 74-89.
17. Бойко М. Ф. Про синузії мохоподібних / М. Ф. Бойко // *Укр. бот. журн.* – 1978. – 35(1). – С. 87-92.
18. Бойко М. Ф. Інцертофіли – домінуючий тип екохемоморф мохоподібних степової зони України / М. Ф. Бойко // *Чорноморськ. бот. журн.* – 2010. – Т. 6, № 4. – С. 417-427.
19. Бучацька Г. Геоекологічні, геодинамічні та гідрогеологічні чинники погіршення якості вод Соснівського водозабору за результатами моделювання Червоноградського гірничопромислового району / Г. Бучацька, Н. Дворянська, В. Дяків // *Проблеми геології фанерозою України. Матеріали 5 всеукраїнської науков. конф.* Львів, 2014. – С. 14-18.

20. Вадюнина А. Ф. Методы исследования физических свойств почв / А. Ф. Вадюнина, З. А. Корчагина. – М.: Агропромиздат, 1986. – 416 с.
21. Воробйов Є. О. Методи вимірювання температури і газів породних відвалів, що горять / Є. О. Воробйов, М. О. Ніколенко, С. О. Сокирка та ін. // V Науково-практична конференція “Донбас – 2020”. Донецьк, 2010. – С. 182-187.
22. Гавриленко В. Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина, под ред. Рубина Б. А. – М.: Высшая школа, 1975. – 392 с.
23. Галушка В. П. Екологічні проблеми шахтарського краю / В. П. Галушка, П. Р. Третьак // Лісівнича академія наук України: Наукові праці, 2007. – Вип. 5. – С. 98-102.
24. Гапон С. В. Епіфітні бріоугруповання Лісостепу України: Аналіз флори і бріосинтаксономія / С. В. Гапон // Укр. бот. журн. – 2010. – Т. 67, №3. – С. 446–453.
25. Гапон С. В. Біоморфологічна структура бріофлори Лісостепу України / С. В. Гапон // Чорноморськ. бот. журн. – 2010. – Т. 6, № 1. – С. 41-47.
26. Гапон С. В. Мохоподібні Лісостепу України (рослинність та флора): дис. ... д-ра біол. наук: спец. 03.05.00 “Ботаніка” / С. В. Гапон. – Київ, 2011. – 855 с.
27. Гапон С. В. Географічна структура бріофлори Лісостепу України / С. В. Гапон // Наук. вісн. Ужгород. ун-ту. Серія біологічна. – 2012. – Вип. 32. – С. 55-59.
28. Гапон С. В. Методичний аспект дослідження мохової рослинності / С. В. Гапон // Укр. бот. журн. – 2013. – Т. 70, № 3. – С. 292-297.
29. Глухов А. З. Бріоіндикація техногенного забруднення навколишнього середовища південного сходу України: Монографія / А. З. Глухов, О. В. Машталер. – Донецьк: Вебер, 2007. – 153 с.

30. Глухов А. З. О применении популяционных биомаркеров травянистых растений в мониторинге фиторекультивации техногенных земель / А. З. Глухов, А. И. Хархота, И. В. Агурова и др. // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. Донецкий бот. сад НАН Украины, – 2010. – Вып. 10. – С. 3-10.
31. Глухов А. З. Возрождение экосистем Донбасса, нарушенных горными работами / А. З. Глухов, С. А. Приходько, С. П. Жуков // Екологія і природокористування, 2013. – Вип. 16. – С. 113-121.
32. Голубець М. А. Екосистемологія / М. А. Голубець. – Львів: Поллі, 2000. – 316 с.
33. Горова А. І. Оцінка стану довкілля Червоноградського гірничопромислового регіону за санітарно-гігієнічними показниками / А. І. Горова, А. В. Павличенко, С. Л. Кулина // Матеріали Міжнар. конференції “Форум гірників – 2011”. – С. 101-111.
34. Горова А. І. Використання методів біотестування для обґрунтування напрямів рекультивації породних відвалів / А. І. Горова, А. В. Павличенко, С. Л. Кулина, О. Л. Шкредетко // Матеріали Міжнар. науково-практичної конференції “Рекультивація складних техноекосистем в новому тисячолітті: ноосферний аспект”. Дніпропетровськ, 2012. – С. 138-140.
35. Горова А. І. Електронна паспортизація породних відвалів / А. І. Горова, А. В. Павличенко, В. В. Федотов, Ю. В. Бучавий // Матеріали Міжнар. науково-практичної конференції “Рекультивація складних техноекосистем в новому тисячолітті: ноосферний аспект”. Дніпропетровськ, 2012. – С. 78-80.
36. Грицан Ю. І. Гідроекологічна оцінка едафотопів ділянок рекультивації земель Орджнікідзевського гірничо-збагачувального комбінату / Ю. І. Грицан, Г. В. Вагнер, О. М. Семенчук // Матеріали Міжнар. науково-практичної конференції “Рекультивація складних техноекосистем в новому тисячолітті: ноосферний аспект”. Дніпропетровськ, 2012. – С. 80-82.

37. Гришко В. М. Важкі метали: надходження в ґрунти, транслокація у рослинах та екологічна безпека / В. М. Гришко, Д. В. Сищиков, О. М. Піскова, О. В. Данильчук, Н. В. Машталер. Донецьк. Донбас”, 2012. – 302 с.
38. Гродзинський А. М. Аллелопатія рослин и почвоутомление / А. М. Гродзинський. Избр. труды– К. : Наук. думка. 1991. – 432 с.
39. Гродзинський Д. М. Адаптивна стратегія фізіологічних процесів рослин / Д. М. Гродзинський 47-е Тимирязевське читання 25 лет спустя. Киев. Наукова думка, 2013. – 301 с.
40. Гудзь С. П. Практикум з мікробіології / С. П. Гудзь, С. О. Гнатуш, Г. В. Яворська та ін. Підручник для студ. вищ. навч. закл. – Л: ЛНУ ім. І. Франка, 2014. – 436 с.
41. Дегодюк Е. Г. Трансформація біосферних функцій педосфери у процесах кругообігу біогенних елементів в антропогенно порушених фітоценозах / Е. Г. Дегодюк, С. Е. Дегодюк, С. З. Гуральчук / Живлення рослин: теорія і практика, 2005. – С. 11.
42. Дмитрук Ю. М. Основи біогеохімії, – Книги – XXI. / Ю. М. Дмитрук, М. А. Бербець. – Чернівці, 2009. – 288 с.
43. Дразнікова А. М. Фунгіцидні властивості екстрактів фенольних сполук моху роду *Sphagnum* L. / А. М. Дразнікова // Актуальні проблеми ботаніки і екології. Матеріали між нар. конференції молодих учених. Березне, 2011. – С. 25-26.
44. Екологічна безпека агропромислового виробництва: монографія / за науковою редакцією акад. О. І. Фурдичка, А. Л. Бойка. – К.: ДІА, 2013. – 416 с.
45. Загороднюк Н. В. Лісові масиви півдня України як оселища мохоподібних / Н. В. Загороднюк // VI відкритий з'їзд фітобіологів Причорномор'я: збірн. тез та доповідей, – Херсон, 2015. – С. 25-27.
46. Запрометов М. Н. Биохимические методы в физиологии растений / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1971. – 191 с.

47. Запрометов М. Н. Фенольные соединения: распространение, метаболизм и функции в растениях / М. Н. Запрометов – М.: Наука, 1993. – 272 с.
48. Зборщик М. П. Минералогические особенности осадочных горных пород, склонных к самовозгоранию / М. П. Зборщик, В. В. Осокин, Б. С. Панов и др. // Разработка месторождений полезных ископаемых. – К., 1989. – Вып. 83. – С. 92-98.
49. Зборщик М. П. Предотвращение самонагрева горных пород / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – К.: Техника, 1990. – 176 с.
50. Зборщик М. П. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – 178 с.
51. Зуй М. Ф. Хімічний склад та аналіз основних компонентів ґрунтів / М. Ф. Зуй. Київ, 2003. – 26 ст.
52. Игнатов М. С. Флора средней части европейской России. Том 1: Sphagnaceae – Hedwigiaceae. / М. С. Игнатов, Е. А. Игнатова. – М.: КМК, 2003. – 608 с.
53. Игнатов М. С. Флора средней части европейской России. Том 2: Fontinalaceae – Amblistegiaceae. / М. С. Игнатов, Е. А. Игнатова. – М.: КМК, 2004 – 335 с.
54. Ипатов В. С. Влияние лишайниковых и зеленомошных ковров на водный режим верхнего корнеобитаемого слоя почвы в сухих сосняках / В. С. Ипатов, В. И. Трофимец // Экология, 1988. – № 1. – С. 19-23.
55. Иванов Є. Особливості ландшафтної структури гірничопромислових геокомплексів / Є. Иванов // Вісн. Львів. ун-ту. Серія географ., 2004. – Вип. 31. – С. 106-113.
56. Иванов Є. А. Радіоекологічні дослідження / Є. А. Иванов // Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. – 2004. – 143с.
57. Иванов Є. Ландшафти гірничопромислових територій: Монографія / Євген Иванов. – Львів: Видавничий. центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 334 с.



- 58.Іванов Є. Геохімічне забруднення ґрунтів підприємствами вугільної промисловості (на прикладі шахти “Зарічна”) / Є. Іванов, О. Яцух, Н. Лобанська // Еколого-географічні аспекти і проблеми природокористування. Наукові записки, 2010. – Режим доступу до джер.: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/3737/1/011Ivanov.pdf>
- 59.Кабата-Пендиас А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас: Пер. с англ. - М.: Мир, 1989. – 439 с.
- 60.Карнаухов А. И. Бионеорганическая химия / А. И. Карнаухов, А. Т. Безнис. – К.: Вища школа, 1992. – 223 с.
- 61.Карпинець Л. І. Вплив бріофітів на вміст макроелементів та органічного Карбону в технозомах відвалів Червоноградського гірничопромислового комплексу / Л. І. Карпинець, О. В. Лобачевська, В. І. Баранов // Вісн. Харків. ун-ту. Сер. біол. – 2014. – Вип. 3. – С. 52-58.
- 62.Карпинець Л. І. Вплив бріофітного покриву на умови едафотопу породних відвалів Червоноградського гірничопромислового комплексу / Л. І. Карпинець, О. В. Лобачевська, В. І. Баранов // Вісн. Львів. ун-ту. Серія біол. – 2014. – Вип. 65. – С. 255-265.
- 63.Карпинець Л. І. Вплив мохів на мікрокліматичні умови едафотопів породних відвалів і їхні адаптаційні реакції / Л. І. Карпинець, О. В. Лобачевська, В. І. Баранов // Біологічні Студії (Studia Biologica). – 2016. – Т. 10, №3-4. – С. 119-128.
- 64.Кирильчук А. А. Хімія ґрунтів. Основи теорії і практикум / А. А. Кирильчук, О. С. Бонішко. Навчальний посібник. – Львів: ЛНУ ім. Івана Франка, 2011. – 354 с.
- 65.Кияк Н. Я. Участь бріофітів у відновленні девастрованих територій сірчаного видобутку / Н. Я. Кияк, О. Л. Баїк // Біологічні Студії (Studia Biologica). 2011. – Т. 6, № 2. – С. 22-36.
- 66.Кияк Н. Я. Морфо-фізіологічна адаптація моху *Bryum argenteum* Hedw. до нафтового забруднення середовища / Н. Я. Кияк // IV-й відкритий з'їзд фітобіологів Причорномор'я. Херсон, 2012. – С. 16-17.

67. Кияк Н. Я. Роль бріюфітного покриву у ренатуралізації техногенних субстратів на території видобутку сірки / Н. Я. Кияк, О. Л. Баїк // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2012. – Вип. 59. – С. 114-121.
68. Кордюм Е. Л. Клеточные механизмы адаптации растений. / Е. Л. Кордюм, К. М. Сытник, В. В. Бараненко и др. – Киев: Наук. думка, 2003. – 277 с.
69. Книш І. Б. Розподіл вмісту хімічних елементів у породах териконів Червоноградського гірничо-промислового району / І. Б. Книш, В. В. Харкевич // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. геол. – 2003. – Т. 17. – С. 148-158.
70. Книш І. Б. Геохімія мікроелементів у породах терикона шахти “Візейська” Львівсько-Волинського кам’яновугільного басейну / І. Б. Книш // Вісн. Львів. ун-ту. Серія геологічна. – 2008. – Вип. 22. – С. 58-71.
71. Кобилецька М. С. Вплив іонів кадмію на вміст фенольних сполук та вільного проліну в рослинах кукурудзи / М. С. Кобилецька, О. І. Терек // Вісн. Львів. ун-ту. Серія: біологічна. – 2002. – Вип. 28. – С. 311-316.
72. Ковда В. А. Биогеохимия почвенного покрова. / В. А. Ковда. – М.: Наука. – 1985. – 262 с.
73. Колупаев Ю. Е. Участие растворимых углеродов и низкомолекулярных соединений азота в адаптативных реакциях растений / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец // Вісн. Харків. ун-ту. Серія: Біологія. – 2010. – Вип. 2(20). – С. 36-53.
74. Колупаев Ю. Е. Формирование адаптативных реакций растений на действие абиотических стрессоров. / Ю. Е. Колупаев, Ю. В. Карпец. – Киев: Основа, 2010. – 352 с.
75. Колупаев Ю. Е. Пролин: физиологические функции и регуляция содержания в растениях в стрессовых условиях / Ю. Е. Колупаев, А. А. Вайнер, Т. О. Ястреб // Вісн. Харків. ун-ту. Серія: Біологія. – 2014. – Вип. 2 (32). – С. 6-22.
76. Комісар О. С. Мох *Bryum argenteum* Hedw. як індикатор радіоактивного забруднення урбоєкосистеми (м. Миколаїв, Україна) / О. С. Комісар,

- М. Ф. Бойко, М. О. Троїцький, Г. А. Макарова // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя: ЗНУ, 2012. – Вип. 17, № 1. – С. 81-92.
77. Комісар О. С. Важкі метали в гаметофітах моху *Bryum argenteum* Hedw. та ґрунтах на територіях заводів міста Миколаєва (Україна) / О. С. Комісар, М. Ф. Бойко // Чорноморськ. бот. журн. – 2013. – Т.9, № 4. – С. 533-541.
78. Кондратюк Е. Н. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, Р. И. Бурда и др. – Киев: Наук. думка, 1980. – 260 с.
79. Кордюм Е. Л. Клеточные механизмы адаптации растений. / Е. Л. Кордюм, К. М. Сытник, В. В. Бараненко и др. – Киев: Наук. думка, 2003. – 277 с.
80. Кошкин Е. И. Физиология устойчивости сельскохозяйственных культур / Е. И. Кошкин. – М.: Дрофа, 2010. – 638 с.
81. Кроїк Г. А. Закономірності розподілу техногенних та токсичних елементів у відходах добування та переробки вугілля Західного Донбасу / Г. А. Кроїк, О. В. Мельник // Вісник ДНУ. Серія: “Геологія. Географія”. – Д.: Вид-во ДНУ, 2012. – Вип. 14. – Т. 20, № 3/2. – С. 77-82.
82. Кузик І. М. Вплив породних відвалів шахт на компоненти довкілля та визначення можливостей щодо його зменшення / І. М. Кузик // Екологія і природокористування, 2012. – Вип. 15. – С. 23-37.
83. Кузнецов В. В. Физиология растений / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. Изд. 2-е. – М.: Высшая школа, 2006. – 742 с.
84. Кузярін О. Т. Бріофлора вугільних відвалів Львівсько-Волинського промислового регіону / О. Т. Кузярін // Біологічні Студії (Studia Biologica). – 2013. – Т. 7, № 1. – С. 105-114.
85. Кузьмішина С. В. Мікробіота породного відвалу Центральної збагачувальної фабрики Червоноградського гірничопромислового району за внесення золи / С. В. Кузьмішина, С. О. Гнатуш // Сучасні проблеми викладання та наукових досліджень біології у ВНЗ України. Матеріали І Всеукр. науково-практичної конференції молодих вчених та студентів з міжнародною участю. Дніпропетровськ, 2014. – С. 78-81.

86. Кузьмішина С. В. Активність каталази у пробах породних відвалів вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району / С. В. Кузьмішина, С. О. Гнатуш // Збірник наукових праць "Біологічні дослідження - 2015", 2015. – С. 219-221.
87. Кучерявий В. П. Фітомеліорація: навч. посіб / В. П. Кучерявий. – Львів: Вид-во "Світ", 2003. – 540 с.
88. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин // 4-е изд. М.: Высшая школа, 1990. – 352 с.
89. Лобачевська О. В. Вміст вільного проліну та активність антиоксидантного захисту у мохоподібних за стресових умов / О. В. Лобачевська // Чорноморськ. бот. журн. – 2008. – Т. 4, № 2. – С. 230-236.
90. Лобачевська О. В. *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. – новий адвентивний вид моху для флори України / О. В. Лобачевська, Р. Р. Соханьчак // Укр. бот. журн. – 2010. – Т. 67, № 3. – С. 432-437.
91. Лобачевська О. В. Вплив мохоподібних на кислотність та вміст вологи у верхньому шарі техногенного ґрунту / О. В. Лобачевська // Міжнар. наук.-практ. конференція. Дніпропетровськ, 2012. – С. 235-237.
92. Лобачевська О. В. Мохоподібні породних відвалів Червоноградського гірничопромислового району / О. В. Лобачевська // Чорноморськ. бот. журн. – 2012. – Т. 8, № 1. – С. 67-76.
93. Лобачевська О. В. Мохоподібні як модель дослідження екофізіологічної адаптації до умов природного середовища / О. В. Лобачевська // Чорноморськ. бот. журн. – 2013. – Т. 10, № 1. – С. 48-60.
94. Лобачевська О. В. Участь мохів у відновленні девастрованих територій видобутку вугілля / О. В. Лобачевська, Л. І. Карпинець, У. А. Оксенюк // Матеріали II Міжнар. Наук.-практ. конф. "Екологічна безпека як основа сталого розвитку суспільства. Європейський досвід і перспективи". Львів, 2015. – С. 77-79.
95. Лобачевська О. В. Нові відомості про поширення мохоподібних на породних відвалах Червоноградського гірничопромислового району /

- О. В. Лобачевська, Р. Р. Соханьчак, Л. І. Карпінець // Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції Проблеми відтворення та охорони біорізноманіття України. Полтава, 2016. – С. 92-95.
96. Маевская С. Н. Реакция атиоксидантной и осмопротекторной систем проростков пшеницы на засуху и регидратацию / С. Н. Маевская, М. К. Николаева // Физиология растений, 2013. – Т. 60, № 3. – С. 351-359.
97. Мандрик В. О. Фітомеліорація земель, порушених гірничодобувною галуззю, у Львівсько-Волинському вугільному басейні / В. О. Мандрик // Заповідна справа в Галичині, на Поділлі та Волині. Науковий вісник. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 412-416.
98. Машталер А. В. Біомоніторинг видами Bryophyta техногенно трансформованого середовища південного сходу України / А. В. Машталер // Дис... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 "Екологія". – Донецьк, 2006. – 175 с.
99. Машталер А. В. Характер влияния водных вытяжек *Pleurozium Schreberi* (Brid.) Mitt. и *Polytrichum piliferum* Hedw. на рост проростков *Pinus sylvestris* / А. В. Машталер, О. С. Ососкова // Проблемы экологии и охраны природы техногенного региона. - Донецк: ДонНУ, 2008. – Вип. 8. – С. 77-82.
100. Машталер А. В. Видовой состав и особенности произрастания мохообразных на селитебных территориях Луганской области // А. В. Машталер, Е. А. Макарецова // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону. – 2012. – № 1 (12). – С. 97-101.
101. Медведев С. С. Физиология растений / С. С. Медведев. Учебник. СПб.: Изд-во Ст.-Петербур. ун-та, 2004. – 336 с.
102. Медведев С. С. Кальциевая сигнальная система растительной клетки / С. С. Медведев // Клеточная сигнализация / Отв. ред. А. Н. Гречкин. – Казань: ФЭН, 2010. – С. 26-36.
103. Межибор А. М. Биогеохимическая характеристика сфагновых мхов и эпифитных лишайников в районах нефтегазодобывающего комплекса

- Томской области / А. М. Межибор, Т. С. Большунова // Известия Томского политехнического университета. – 2014. – Т. 325, №1.– С. 205-213.
104. Мельник І. В. Роль кальцієвого статусу в адаптації *Funaria hygrometrica* / І. В. Мельник, О. В. Лобачевська // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. Матеріали ІХ наук. конференції молодих учених. – Львів, 2009. – С. 158-160.
105. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М.: Гидрометеиздат, 1981. – 110 с.
106. Миляева, Е. В. Запасы углерода и азота в болотных экосистемах средней тайги Западной Сибири / Е. В. Миляева, В. А. Степанова, Е. К. Вишнякова // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012: Материалы Междунар. научной конференции "Дистанционные методы зондирования Земли и фотограмметрия, мониторинг окружающей среды, геоэкология": сб. материалов в 2 т. - Новосибирск : СГГА, 2012.– Т. 2, № 3. – С. 166-170.
107. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев. – Москва: Изд-во МГУ, 1989. – 304 с.
108. Минеев В. Г. Практикум по агрохимии / В. Г. Минеев. – Москва: Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
109. Миркин Б. М. Словарь понятий и терминов современной фитоценологии / Б. М. Миркин, Г. С. Розенберг, Л. Г. Наумова. М.: Наука, 1989. – 223 с.
110. Мокроносов А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. Учебник для студ. вузов. 2-е изд., испр. и доп. – М.: Издательский центр "Академия", 2006. – 448 с.
111. Мусієнко М. М. Спектрофотометричні методи в практиці фізіології, біохімії та екології рослин / М. М. Мусієнко, Т. В. Паршикова, П. С. Славний. – К. : Фітосоціоцентр, 2001. – 153 с.
112. Мягченко О. П. Основы экологии / О. П. Мягченко. Підручник. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 312 с.

113. Никитин Б. А. Определение содержания гумуса в почве / Б. А. Никитин // Агрохимия, 1972. – Том 3, №3. – С. 123-125.
114. Ніколайчук В. І. Лабораторно-практичні роботи з ґрунтознавства / В. І. Ніколайчук, П. П. Білик. – Ужгород, 1997. – 112 с.
115. Павличенко А. В. Дослідження екологічних наслідків розміщення вугледобувних підприємств у навколишньому середовищі / А. В. Павличенко, А. А. Коваленко // Розробка родовищ: Збірник наукових праць. – 2014. – Т. 8. – С. 498-507.
116. Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии / А. В. Петербургский. – М.: Колос, 1954. – 456 с.
117. Плешков Б. П. Ускоренный полумикрометод определения сахаров. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М.: Колос, 1976. – С. 115-117.
118. Позняк С. П. Ґрунтознавство і географія ґрунтів: Підручник. Ч. 1 / С. П. Позняк. – Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2010. – 270 с.
119. Полевой В. В. Физиология растений: Учебник для биол. спец. вузов / В. В. Полевой. – М.: Высшая школа, 1989. – 494 с.
120. Польшина С. М. Методичні рекомендації до лабораторних і практичних робіт з ґрунтознавства / С. М. Польшина. – Чернівці: ЧДУ, 1991. – 60 с.
121. Попович В. В. Фітомеліорація затухаючих терриконів Львівсько-Волинського вугільного басейну / В. В. Попович // Автореф. дис. ...: канд. с/г наук: спец. 06.03.01 "Лісові культури та фітомеліорація". – Львів, 2011. – 22 с.
122. Попович В. В. Фитомелиорация затухающих терриконов Львовско-Волинского угольного бассейна: Монография / В. В. Попович. – Львов, 2014. – 174 с.
123. Попович В. В. Снижение техногенного прессинга полиэлементных аномалий девастированных ландшафтов путем фитомелиоративного восстановления / В. В. Попович // Біологічний вісник МДПУ, 2016. – №1. – С. 94-114.

124. Рабик І. В. Структура і динаміка бріофітних угруповань на девастованих землях Львівщини (на прикладі відвалу гірничо-хімічного підприємства “Сірка”) / І. В. Рабик, І. С. Данилків, О. І. Щербаченко // Вісн. Львів. ун-ту. Серія: біологічна. – 2010. – Вип. 53. – С. 58-66.
125. Рабик І. В. Сезонна динаміка бріофітного покриву на відвалі сірчаного видобутку / І. В. Рабик, І. С. Данилків, О. І. Щербаченко, Н. А. Кіт // Чорноморськ. бот. журн. – 2012. – Т.8, №1. – С. 77-86.
126. Рабик І. В. Особливості біоморфологічної структури бріофітного покриву сірчанних відвалів / І. В. Рабик, І. С. Данилків // Наук. основи збереження біотичної різноманітності. – 2013. – Том 4(11), № 1. – С. 123-130.
127. Рагуліна М. Є. Функціональна роль бріофітів у ренатуралізації техногенно змінених екосистем Волино - Поділля / М. Є. Рагуліна, О. Б. Вовк, О. Л. Орлов // Наук. записки Держ. природознавчого музею. – 2009. – Вип. 25. – С.117-124.
128. Рагуліна М. Є. Мохоподібні (Bryophyta) як агенти ініціального ґрунтоутворення в техногенних екосистемах / М. Є. Рагуліна, О. Л. Орлов // Наук. записки Держ. природознавчого музею. Львів, 2011. – Вип. 27. – С. 89-94.
129. Рагуліна М. Є. Сукцесії мохового покриву на техногенних піщаних відслоненнях Волино-Поділля / М. Є. Рагуліна // Наук. записки Держ. природознавчого музею, 2012. – Вип. 28. – С. 63-68.
130. Рагуліна М. Є. Участь мохоподібних у процесах самовідновлення техногенно порушених екосистем Волино-Поділля та Передкарпаття / М. Є. Рагуліна // Дис. ... канд. біол. наук: спец. 03.00.16 "Екологія". – Львів, 2015. – 206 с.
131. Росіцька Н. В. Фізіолого-біохімічні аспекти формування стійкості *Pinus sylvestris* L. до дії посухи / Н. В. Росіцька // Наук. записки Тернопільського національного пед. ун-ту. Серія: Біол., 2011. – № 2 (47). – С. 212-215.



132. Рыковский Г. Ф. Флора Беларуси. Мохообразные./ Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский. – Т 1 / Под ред. В.И. Парфенова. Минск. "Тэхналогія". – 2004. – 437 с.
133. Рыковский Г. Ф. Флора Беларуси. Мохообразные./ Г. Ф. Рыковский, О. М. Масловский. – Т 2 / Под ред. В. И. Парфенова. Минск. "Беларусская навука". – 2009. – 213 с.
134. Серебрякова Н.Н. Эколого-биологические особенности листостебельных мхов и использование их в экологическом мониторинге: на примере Пензенской области / Н. Н. Серебрякова // Автореф. дис. ...: канд. биол. наук: спец. 03.00.05, 03.00.16 "Ботаника". – Саратов, 2009. –19 с.
135. Сетт И. В. Изучение структуры популяций растений на отвалах угольных шахт Донбасса / И.В. Сетт // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2004. – Вып 4. – С. 221-227.
136. Соханьчак Р. Р. Вплив моху *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. на відновлення техногенних субстратів шахтних відвалів / Р. Р. Соханьчак, О. В. Лобачевська // Біологічні студії (Studia Biologica). – 2012. – Т. 6, №1. – С. 101-108.
137. Тарчевский И. А. Сигнальные системы клеток растений. / И. А. Тарчевский – М.: Наука, 2002. – 295с.
138. Теппер Е. З. Практикум по микробиологии / Е. З. Теппер, В. К. Шельникова, Г. И. Переверзева // [3-е изд.]. – М.: Агропромиздат, 1987. – 239 с.
139. Терек О. І. Механізми адаптації та стійкості рослин до несприятливих факторів довкілля / О. І. Терек // Журнал агробіології та екології. – 2004. – 1, №1-2. – С. 41-56.
140. Токарева И. В. Содержание органического вещества и его водорастворимой фракции в моховолишайниковых ассоциациях криолитозоны / И. В. Токарева, А. С. Прокушкин // Экология и мониторинг леса. Лесной Весник, 2012. – Вып. 1. – С. 156-160.

141. Трофимец В. И. Средообразующая роль лишайникового и мохового покровов в сухих сосняках / В. И. Трофимец, В. С. Ипатов // Бот. журн. – 1990. – Т. 75, № 8. – С. 1102-1108.
142. Узбек И. Х. Целлюлозоразрушающие микроорганизмы как компонент биологического фактора почвообразования / И. Х. Узбек // Экологія та ноосферологія. – 2006. – Т. 17, № 1-2. – С. 11-16.
143. Узбек І. Х. Едафотопи техногенних ландшафтів як біокосні системи / І. Х. Узбек, Т. І. Галаган // Ґрунтознавство, 2008. – Т. №1-2. – С. 73-78.
144. Улична К. О. Динаміка мохових синузій бучин Опілля / К. О. Улична // Укр. бот. журн. – 1980. – Т.37, №6. – С. 45-48.
145. Улычна К. О. К методике изучения эпифитных моховых обрастаний / К. О. Улычна, С. В. Гапон, Т. Г. Кулык // Проблемы бриологии в СССР. – Ленинград: Наука, 1986. – С. 201-206.
146. Ходосовцев О. Є. Лишайникові та мохові угруповання нижньодніпровських арен: синтаксономія та індикація дефляційних процесів / О. Є. Ходосовцев, М. Ф. Бойко, О. В. Надеіна, Ю. А. Ходосовцева // Чорноморськ. бот. журн. – 2015. – Т.7, №1. – С. 44-66.
147. Чернавина И. А. Большой практикум по физиологии растений. Минеральное питание. Физиология клетки. Рост и развитие. / И. А. Чернавина, Н. Г. Потапов, Л. Г. Косулина, Т. Е. Кренделева. – М.: Высшая школа, 1978. – 408 с.
148. Чечуй О. Ф. Вміст фенольних сполук у насінні сої при проростанні за оксидативного стресу, спричиненого впливом іонів кобальту і кадмію / О. Ф. Чечуй // Физиология и биохимия культурных растений, 2011. – Т. 43, № 4. – С. 362-366.
149. Шавнин С. А. Влияние урбанизации на состав и содержание фенольных соединений в хвое сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / С. А. Шавнин, Е. В. Колтунов, М. И. Яковлева // Современные проблемы

науки и образования, 2015. – Режим доступа до джер.: <http://www.science-education.ru/120-17151->

150. Шмакова Н. Ю. Сравнительная оценка листового и хлорофильного индексов для определения годичной продукции органического вещества в сообществах горной тундры Хибин / Н. Ю. Шмакова, О. В. Кудрявцева // Ботанический журнал. – 2002. – Т. 87, № 3. – С. 85-97.
151. Шматова Л. М. Бриоиндикация состояния лесных экосистем района опасных техногенных объектов / Л. М. Шматова / Автореф. дисс. ... канд. биол. наук: спец. 03.02.08 "Экология" (биологические науки – по отраслям)). – Брянск, 2012. – 23 с.
152. Щербаченко О. І. Вплив мохів на водний і температурний режим субстрату відвалу сірчаного видобутку / О. І. Щербаченко, І. В. Рабик, Н. А. Кіт // IV–й відкритий з'їзд фітобіологів Причорномор'я. Херсон, 2012. – С. 25.
153. Щербаченко О. І. Участь мохоподібних у ренатуралізації девастрованих територій Немирівського родовища сірки (Львівська обл.) / О. І. Щербаченко, І. В. Рабик, О. В. Лобачевська // Укр. бот. журн. – 2015. – Т. 72, № 6. – 596-602.
154. Arabzadeh N. The Effect of Drought Stress on Soluble Carbohydrates (Sugars) in Two Species of *Haloxylon persicum* and *Haloxylon aphyllum* / N. Arabzadeh // Asian Journal of Plant Sciences. – 2012. – Vol. 11. – P. 44-51.
155. Basile A. Heavy metal deposition in the Italian “triangle of death” determined with the moss *Scorpiurum circinatum* / A. Basile, S. Sorbo, G. Aprile, B. Conte, R. Castaldo Cobianchi, T. Pisani, S. Loppi // Environmental Pollution. – 2009. – Vol. 157. – P. 2255-2260.
156. Bates J. W. Mineral nutrition substratum ecology and pollution. Bryophyte Biology / J. W. Bates // Cambridge University press. – 2000. – P. 248-311.
157. Bates L. Rapid determination of free proline for water-stress studies / L. Bates, R. Waldren, I. Teare // Plant and Soil. – 1973. – № 39. – P. 205-207.

158. Bowden W. B. Roles of bryophytes in stream ecosystems / W. B. Bowden, D. Arscott, D. Pappathanasi et al. // J. N. Amer. Benthol. Soc. – 1999. – Vol. 18. – P. 151-184.
159. Crandall-Stotler B. Morphology and classification of the Marchantiophyta. Bryophyte Biology / B. Crandall-Stotler, R. E. Stotler // Cambridge: Cambridge Univer. Press. – 2000. – P. 21-70.
160. Deane-Coe K. K. Cyanobacteria associations in temperate forest bryophytes revealed by  $\delta^{15}\text{N}$  analysis / K. K Deane-Coe // The Journal of the Torrey Botanical Society. – 2016. – Vol. 143, №1. – P. 50-57.
161. Delach, A. The effect of *Polytrichum piliferum* on seed germination and establishment on iron mine tailings in New York / A. Delach, W. Kimmerer // The Bryologist. – 2002. – Vol. 105, № 2. – P. 249-255.
162. DeLuca T. H. Feathermosses, nitrogen fixation and the boreal biome / T. H. DeLuca // IBERS Knowledge-Based Innovations. – 2011. – Vol. 4. – P. 27-31.
163. During H. J. Ecological classifications of bryophytes and lichens / H.J. During // Bryophytes and Lichens in a Changing Environment / Eds. by J. W. Bates, A. M. Farmer – Clarendon Press, Oxford. – 1992. – P. 1-31.
164. Elenberg H. Zeigerwerte von Laubund Lebermoosen. Zeigerwerte von, Pflanzen in Mitteleuropa / H. Elenberg, R. Dull // Scripta geobotanica. – 1992. – P. 175-214.
165. Folkeson L. Heavy-metal accumulation in the moss *Pleurozium schreberi* in the surroundings of two peat-fired power plants in Finland / L. Folkeson // An. Bot. Fen. – 1981. – 56, №21. – P. 2755-2759.
166. Foyer C. H. Relationships between antioxidant metabolism and carotenoids in the regulation of photosynthesis. The photochemistry of carotenoids / C. H. Foyer, J. Harbinson. – [Eds. H. A. Frank, A. J. Young, R. J. Cordell]. – Dordrecht: Kluwer Acad. Publ. – 1999. – P. 305-325.

167. Frahm J. -P. Are bryophyte extracts inhibiting or promoting seed growth? / J.-P. Frahm, S. Risse, B. van Saan-Klein // *Archive for bryology*. – 2012. – Vol. 127. – P 1-10.
168. Gibson S. I. Plant sugar-response pathways. Part of a complex regulatory web / S. I. Gibson // *Plant Physiol*. – 2000. – Vol. 124. – P. 1532–1539.
169. Gimingham C. H. Preliminary investigations on the structure of bryophytic communities / C. H. Gimingham, E. T. Robertson // *Transaction of British Bryological Society*, 1950. – № 1. – P. 330-344.
170. Glime J. M. *Bryophyte Ecology* / J. M. Glime // 2007. – Vol. 1. *Physiological Ecology*. Ebook sponsored by Michigan Technological University and the International Association of Bryologists. Accessed on: 03.11.2016 at: <http://www.bryoecol.mtu.edu>
171. Govindaparyari H. Bryophytes: indicators and monitoring agents of pollution / H. Govindaparyari, M. Leleeka, M. Nivedita, P. L. Uniyal // *Department of Botany, University of Delhi*. – 2010. – P. 35-41.
172. Grolle R. An annotated checklist of the Hepaticae and Anthocerotae of Europe and Macaronesia / R. Grolle, D.C. Long // *Journal of Bryology*. – 2000. – Vol. 22. – P.103-140.
173. Gundale, M. J. Bryophytes attenuate anthropogenic nitrogen inputs in boreal forests / M. J. Gundale, T. H. DeLuca, A. Nordin // *Global Change Biology*. – 2011. – Vol. 17. – P. 2743-2753.
174. Gundale M. J. The interactive effects of temperature and light on biological nitrogen fixation in boreal forests / M. J. Gundale, M. Nilsson, S. Bansal, A. Jäderlund // *New Phytologist*. – 2012. – 194(2). – P. 453-463.
175. Hessini K. Effect of water stress on growth, osmotic adjustment, cell wall elasticity and water-use efficiency in *Spartina alterniflora* / K. Hessini, J. P. Martinezc, M. Gandour, A. Albouchi, A. Soltani, C. Abdellya // *Environmental and Experimental Botany*. – 2009. – Vol. 67. – P. 312-319.

176. Hill M. O. An annotated checklist of the mosses of Europe and Macaronesia / M. O. Hill, N. Bell, M. A. Bruggeman-Nannenga et al. // Journal of Bryology. – 2006. – Vol. 28. – P. 198-267.
177. Johnston A. E. The Importance of Potassium in Soil and Plants / A. E. Johnston // Fertilizer association of Ireland. Proceedings of Spring Scientific Meeting. “Balancing Nutrient Supply – Best Practice and New Technologies”. – 2010. – Vol. 45. – P. 2-17.
178. Kip N. Detection, isolation, and characterization of acidophilic methanotrophs from *Sphagnum* mosses / N. Kip, W. Ouyang, J. van Winden, A. Raghoebarsing, L. van Niftrik, A. Pol, Y. Pan, L. Bodrossy, E. G. van Donselaar, G-J. Reichart et al. // Applied and Environmental Microbiology. – 2011. – Vol. 77. – P. 5643-5654.
179. Kuzmishyna S. Microbiota of the coal pit waste heaps of Chervonograd mining region / S. Kuzmishyna, S. Hnatush, O. Moroz, L. Karpinets, V. Baranov // Вісник Львівського університету. Сер. біол. – 2014. – Вип. 67. – С. 234-242.
180. Lindo Z. The bryosphere: An integral and influential component of the Earth’s biosphere / Z. Lindo, A. Gonzeles // Ecosystems. – 2010. – Vol. 13. – P. 612-627.
181. Lindo Z., Nilsson M. C, Gundale M. J. Bryophyte-cyanobacteria associations as regulators of the northern latitude carbon balance in response to global change / Z. Lindo, M. C. Nilsson, M. J. Gundale // Glob. Chang. Biol. – 2013. – Vol. 19, №7. – 2022-2035.
182. Longton R. E. The role of bryophytes and lichens in terrestrial ecosystems. / R.E. Longton // In: Bryophytes and Lichens in a Changing Environment / Eds. J. W. Bates and A. M. Farmer. – Clarendon Press, Oxford. – 1992. – P. 32-76.
183. Magdefrau K. Life-forms of Bryophytes. Bryophyte Ecology / K. Magdefrau. – London; New York. – 1982. – P. 45-58.
184. Mehr Z. Changes on proline, phenolic compounds and activity of antioxidant enzymes in *Anethum graveolens* L. under salt stress / Z. Mehr, H. Khajeh,

- S. Bahabadi, S. Sabbagh // International journal of Agronomy and Plant Production. – 2012. – Vol. 3. – P. 710-715.
185. Milone M. T. Antioxidative responses of wheat treated with realistic concentration of cadmium / M. T. Milone, S. Cristina, H. Clijsters, F. Navari-Izzo // Environ. Exp. Bot. – 2003. – Vol. 50. – P. 265-276.
186. O'Neill K. P. Role of bryophyte-dominated ecosystems in the global carbon budget / K. P. O'Neill // In: Bryophyte Biology. Eds A. J. Shaw, B. Gofinet. Cambridge University press. – 2000. – P. 344-368.
187. Porada P. Estimating global carbon uptake by lichens and bryophytes with a process-based model / P. Porada, B. Weber, W. Elbert, U. Puschl, A. Kleidon // Biogeosciences. – 2013. – Vol. 10, № 11. – P. 6989-7033.
188. Rastorfer J. R. Establishment of Bryophytes on a reclaimed surface mine sites at Goose Lake Prairie State Park, Illinois / J. R. Rastorfer // The Land Reclamation Program. – Argonne, Illinois: Argonne National Laboratory. – 1979. – P. 199-214.
189. Reimann, C. The influence of a city on element contents of a terrestrial moss (*Hylocomium splendens*) / C. Reimann, A. Arnoldussen, R. Boyd, T. E. Finne, Ø. Nordgulen, T. Volden, P. Englmaier // Science of the Total Environment. – 2006. – Vol. 369. – P. 419-432.
190. Richards P. W. The ecology of tropical forest bryophytes / P. W. Richards // New Manual of Bryology. – Nichinan: The Hattori Botanical Laboratory. – 1984. – Vol. 2. – P. 1233-1270.
191. Ringen D. The role of moss in facilitating natural revegetation of metal-contaminating sites during primary succession / Режим доступа до джер.: [http://www.bioed.org/ibscore/journal/Articles\\_all/1999/IBS.pdf/](http://www.bioed.org/ibscore/journal/Articles_all/1999/IBS.pdf/)
192. Rivero R. M. Resistance to cold and heat stress: accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants / R. M. Rivero, J. M. Ruiz, P. C. Garcia et al. // Plant Science. – 2001. – Vol. 160, №1. – P. 315-321.
193. Rosa M. Soluble sugars-metabolism, sensing and abiotic stress: a complex network in the life of plants / M. Rosa, C. Prado, G. Podazza, R. Interdonato,

- J. A. Gonzalez, M. Hilal, F. E Prado // *Plant Signal Behav.* – 2009. – Vol. 4, №5. – P. 388-93.
194. Ross B. A. The role of mosses in reclamation of brine spills in forested areas / B. A. Ross, G. R. Webster, D. H. Vitt // *Department of Botany. Journ. Can. Petroleum Technology.* – 1984. – Vol. 23, № 6. – P. 1-5.
195. Rousk K. Moss-cyanobacteria associations as biogenic sources of nitrogen in boreal forest ecosystems / K. Rousk, D. L. Jones, T. H. DeLuca // *Front Microbiol.* – 2013. – Vol. 4. – Режим доступа до джер.: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3683619/>
196. Rowntree J. K. Formation of Specialized Propagules Resistant to Desiccation and Cryopreservation in the Threatened Moss *Ditrichum plumbicola* (Ditrichales, Bryopsida) / J. K. Rowntree, J. G. Duckett, C. L. Mortimer // *Annals of Botany.* – 2007. – Vol. 100. – P. 483-496.
197. Saxena D. K. Effect of Cu and Cd on Oxidative Enzymes and Chlorophyll Content of Moss *Racomitrium crispulum* / D. K. Saxena, Md. Saiful-Arfeen // *Taiwania.* – 2009. – Vol. 54, №4. – 365-374.
198. Sengar R. S. Occurrence, Uptake, Accumulation and Physiological Responses of Nickel in Plants and its Effects on Environment / R. S. Sengar, S. Gupta, M. Gautam, A. Sharma, K. Sengar // *Research Journal of Phytochemistry.* – 2008. – Vol. 2. – P. 44-60.
199. Sinay H. Proline and total soluble sugar content at the vegetative phase of six corn cultivars from Kisar Island Maluku, grown under drought stress conditions / H. Sinay, R. L. Karuwal // *International Journal of Advance Agricultural Research.* – 2014. – Vol. 2. – P. 77-82.
200. Špoljarević M. The relationship of proline content and metabolism on the productivity of maize plants / M. Špoljarević, D. Agić, M. Lisjak, A. Gumze, I. Wilson, J. Hancock, T. Teklić // *Plant Signal Behav.* – 2011. – Vol. 6, №2. – P. 251-257.
201. Taiz L, Zeiger E. *Plant Physiology.* 2nd ed. / L. Taiz, E. Zeiger. – Sunderland, Massachusetts: Sinauer Associates, Inc., Publishers. – 1998. – 792 p.



202. Turetsky M. R. New Frontiers in Bryology and Lichenology. The Role of Bryophytes in Carbon and Nitrogen Cycling / M. R. Turetsky // *Bryologists*. – 2003. – Vol.106, №3. – P. 395-409.
203. Turetsky M. R. The role of mosses in ecosystem succession and function in Alaska's boreal forest / M. R. Turetsky, M. C. Mack, T. N. Hollingsworth, J. W. Harden // *Canadian Journal of Forest Research*. – 2010. –Vol. 40, №7. – 1237-1264.
204. Turetsky M. R. The resilience and functional role of moss in boreal and arctic ecosystems / M. R. Turetsky, B. Bond-Lamberty, E. Euskirchen, J. Talbot, S. Frolking, A. D. McGuire, E-S. Tuittila // *36th New Phytologist Symposium: Cell biology at the plant microbe interface*. – 2012. –Vol.196, №1. – P. 49-67.
205. Van Tooren B. F. Microclimatological effects of the bryophyte layer. (The ecological role of the bryophyte layer of Dutch chalk grasslands) / B. F. van Tooren. – 1989. – Ch. 7. – P. 59-63.
206. Victoria F. C. Life-forms of moss species in defrosting areas of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica / F. C. Victoria, D. P. Costa, A. B. Pereira // *Biosci. J., Uberlândia*. – 2009. – Vol. 25, № 3. – P. 151 -160.
207. With J. Cover, biomass and nutrient content of bryophytes in Dutch chalk grasslands / J. With, den Hertog, J. Verhaar // *Lindbergia*. – 1988. – Vol. 14.– P. 47-58.
208. Zhou, Y.-L. The regulating activity of the Extract from Mosses / Y.-L. Zhou, L. Ran, W. Dai, M. Zhou // *Proceedings IAB Symposium on 2000's Bryology*. – 1998. – P. 97.