

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕКОЛОГІЇ КАРПАТ

На правах рукопису

Бешлей Степан Володимирович

УДК 582.542.11:581.52(477.83)

**ЕКОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ *CALAMAGROSTIS EPIGEIOS* (L.) ROTH
ТА ЙОГО СЕРЕДОВИЩЕТВОРНА РОЛЬ НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ
ШАХТ (ЧЕРВОНОГРАДСЬКИЙ ГІРНИЧОПРОМИСЛОВИЙ РАЙОН)**

03.00.16 – екологія

Дисертація на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Науковий керівник:
доктор біологічних наук,
старший науковий співробітник
Козловський Микола Павлович

Львів – 2016

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. СУКЦЕСІЇ РОСЛИННОСТІ НА ТЕХНОГЕННО ДЕВАСТОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ, ОСОБЛИ- ВОСТІ ЇХ ПРИРОДНОГО ВІДНОВЛЕННЯ І СПОСОБИ ФІТОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ	9
1.1. Сукцесії рослинності на техногенних відвалах	9
1.2. Особливості природного відновлення	18
1.3. Рекультивація відвалів і середовищетворна роль рослин	25
РОЗДІЛ 2. РАЙОН, ОБ’ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ	35
2.1. Характеристика району дослідження	35
2.2. Об’єкт і методики досліджень	48
РОЗДІЛ 3. ФІТОТОКСИЧНІСТЬ СУБСТРАТИВ Й ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУНИЧНИКА НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ	57
3.1. Фітотоксичність субстратів	57
3.2. Оцінка екологічної амплітуди куничника наземного	62
3.3. Біохімічні адаптивні реакції куничника наземного до чинників техногенного довкілля	64
РОЗДІЛ 4. СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦІЙ КУНИЧНИКА НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	78
4.1. Фітоценологічна характеристика.....	78
4.2. Генеративне та вегетативне розмноження	79
4.3. Щільність і вікова структура	83
РОЗДІЛ 5. СЕРЕДОВИЩЕТВОРНА РОЛЬ КУНИЧНИКА	

НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ	91
5.1. Едафічні характеристики в угрупованнях кунічника наземного	92
5.1.1. Зміни температурного та водного режимів	92
5.1.2. Гранулометричний склад субстрату.....	96
5.1.3. Зміна актуальної кислотності субстрату.....	98
5.1.4. Розподіл важких металів у субстратах і фітомасі кунічника наземного	99
5.2. Асиміляція та перерозподіл органічної речовини в угрупованнях кунічника наземного	105
5.2.1. Нагромадження фітомаси	105
5.2.2. Деструкція клітковини	107
5.2.3. Нагромадження органічного Карбону	110
5.2.4. Роль кунічника наземного у формуванні гумусового горизонту на техногенному субстраті	111
5.3. Алелопатичний вплив виділень кунічника наземного на проростання насіння і ростові показники сосни звичайної	113
ВИСНОВКИ	117
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	120

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АК – амінокислоти

ГАМК – γ -аміномасляна кислота

ГДК – гранично допустима концентрація

КБП – коефіцієнт біотичного поглинання

КУО – колонієутворюючі одиниці

ФС – фенольні сполуки

ЦЗФ – центральна збагачувальна фабрика

ЧГПР – Червоноградський гірничопромисловий район

ВСТУП

Актуальність теми. Освоєння Червоноградського гірничопромислового району (ЧГПР) спричинило негативні зміни в навколишньому природному середовищі, зокрема зміни в біогеоценотичному покриві, забруднення поверхневих і підземних вод, виснаження водоносних горизонтів, утворення відвалів, вимивання важких металів із порід териконів і їхня міграція на прилеглі території, збільшення рівня забруднення довкілля. Хоча обсяги видобутку корисних копалин в Україні протягом останніх десятиріч зменшилися, значну частину гірничодобувних підприємств закрито або законсервовано, деградовані території потребують ревіталізації. Натепер для проведення рекультиваційних робіт перспективним напрямом є використання пристосувальних механізмів рослин, які можна використовувати для фіторекультивації на відвалах вугільних шахт. Пріоритетом є створення лісових екосистем на техногенних ландшафтах, після їх заростання багаторічними травами [206].

На відвалах Львівсько-Волинського вугільного басейну вивчали сукцесію рослинності [27] та фітомеліоративну роль деревних рослин [171]. Встановлено, що на первинних стадіях заростання породних відвалів вугільних шахт ЧГПР поселяються рудеральні види, які відіграють важливу роль у процесах відтворення порушених екосистем. Робіт, які присвячені вивченню ролі трав'яних рослин у ревіталізації вугільних відвалів в умовах Малого Полісся дуже мало. У зв'язку з цим актуальним є з'ясування клітинних, організованих, популяційних аспектів пристосування багаторічних рослин, зокрема кунічника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) до росту й освоєння територій вугільних відвалів і вивчення його середовищотворної ролі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано протягом 2009-2014 років під час навчання в аспірантурі й роботи у відділі екоморфогенезу рослин Інституту екології Карпат НАН України в межах держбюджетної наукової теми “Фенотипна пластичність

та адаптивна здатність мохів, їх роль у ренатуралізації антропогенно трансформованого середовища” (№ державної реєстрації 0110U000206).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи – дослідити екологічні властивості й з’ясувати середовищотворну роль *C. epigeios* на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району.

Для досягнення мети були поставлені такі **завдання:**

- вивчити токсичність субстратів відвалів вугільних шахт для рослин на різних стадіях їх формування;
- встановити екологічну амплітуду куничника наземного до абіотичних чинників вугільних відвалів;
- дослідити клітинні адаптивні реакції *C. epigeios* до факторів субстрату відвалів;
- визначити популяційні характеристики куничника наземного та з’ясувати його механізми самопідтримання й самовідновлення на різних стадіях сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт;
- оцінити середовищотворну роль куничника наземного: нагромадження в його органах важких металів із субстрату; зміни рН субстратів; запасання біомаси; деструкцію відмерлої органіки; нагромадження органічного Карбону в субстраті, формування мікрокліматичних умов у його угрупованнях.

Об’єктом дослідження є куничник наземний на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району.

Предметом дослідження є екологічні властивості та середовищотворна роль куничника наземного на відвалах вугільних шахт.

Методи досліджень – біогеоценологічні, популяційні, фізіологічні, хімічні, біохімічні, статистичні.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше встановлено екологічну амплітуду куничника наземного до фізико-хімічних властивостей субстратів відвалів Червоноградського гірничопромислового регіону та його екологічну валентність до несприятливих чинників на організмовому та

популяційному рівнях. Показано, що при переході із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів у ценопопуляціях *C. epigeios* зменшується здатність до самовідновлення внаслідок пригнічення як генеративного, так і вегетативного розмноження. З'ясовано середовищотворну роль куничника наземного на відвалах, яка проявляється у покращенні едафічних, мікрокліматичних умов і формуванні гумусового горизонту на техногенному субстраті.

Практичне значення одержаних результатів. Встановлені фізіологічні та еколого-популяційні аспекти біології *C. epigeios* можуть бути використані для фіторекультивациі відвалів вугільних шахт. Окремі біохімічні показники є індикаторами антропогенного впливу на рослинні угруповання, популяційні параметри слугують характеристикою динаміки фітоценозів у ході сукцесії рослинності на відвалах вугільних шахт. Отримані результати використовують під час викладання загального курсу “Фізіологія та біохімія рослин”, спецкурсів “Фізіологія адаптації рослин”, “Фітомоніторинг” для студентів біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка.

Особистий внесок здобувача. Основні результати дисертаційної роботи здобувач отримав самостійно. Протягом 2009-2014 років автор особисто провів основний обсяг експериментальної частини дисертації, статистичної обробки результатів, підбору й опрацювання літературних джерел. У наукових працях, опублікованих у співавторстві, в дисертації використані лише ті ідеї та положення, які є результатом особистої праці здобувача. Права співавторів публікацій при написанні дисертації та автореферату не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи було висвітлено у доповідях на VII, VIII Міжнародних наукових конференціях студентів і аспірантів “Молодь і поступ біології” (Львів, 2010, 2012); VI, VII, VIII наукових конференціях “Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку” (Шацьк, 2010, 2011, 2012);

Міжнародній науковій конференції молодих учених “Актуальні проблеми ботаніки та екології” (Ялта, 2010; Березне, 2011); VI міжнародній науковій конференції “Відновлення порушених природних екосистем” (Донецьк, 2011); IV студентській науково-практичній конференції. “Захист навколишнього середовища. Збалансування природокористування” (Львів, 2011); VI міжнародній науковій конференції “Биоразнообразие и роль животных в экосистемах” (Дніпропетровськ, 2011); XI науковій конференції молодих учених “Наукові основи збереження біотичної різноманітності” (Львів, 2012); Всероссийском симпозиуме “Растение и стресс” (Москва, 2010); VII съезде Общества физиологов растений России “Физиология растений – фундаментальная основа экологии и инновационных биотехнологий” (Нижний Новгород, 2011); IV межд. научно-практич. конф. “Грани современной науки” (Краснодар, 2012).

Публікації. За матеріалами дисертації опубліковано 25 наукових праць, у тому числі 10 статей, з яких: 6 у фахових виданнях України, які входять до переліку МОН України (Наукові основи збереження біотичної різноманітності, Наукові записки Державного природознавчого музею, Науковий вісник НЛТУ України, Біологічні студії / *Studia Biologica*); 3 у фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних (Вісник Львівського університету. Серія: біологічна); 1 в іноземному виданні, яке входить до міжнародної наукометричної бази даних «Scopus» (*Journal of Basic Microbiology*) та 15 тез доповідей.

Структура та обсяг дисертації. Обсяг основного змісту кандидатської роботи становить 119 сторінок машинописного тексту. Робота складається із вступу, п’яти розділів, що містять 27 таблиць, 18 рисунків, висновків і списку використаних джерел (250 найменувань). Загальний обсяг дисертації разом із списком літератури становить 147 сторінок.

РОЗДІЛ 1

СУКЦЕСІЇ РОСЛИННОСТІ НА ТЕХНОГЕННО ДЕВАСТОВАНИХ ТЕРИТОРІЯХ, ОСОБЛИВОСТІ ЇХ ПРИРОДНОГО ВІДНОВЛЕННЯ І СПОСОБИ ФІТОРЕКУЛЬТИВАЦІЇ

1.1. Сукцесії рослинності на техногенних відвалах

Термін “сукцесія” вперше використав наприкінці ХІХ століття американський фітоценолог Г. Каульс для опису змін рослинних угруповань. Однак цілісна система уявлень про сукцесії як послідовності змін фітоценозів була розроблена пізніше Ф. Е. Клементсом [141, 227, 228], яка передбачає незворотність рослинних змін, їх спрямування і, як наслідок цього, їх передбачуваність. Основною причиною зміни фітоценозів є зміна середовища внаслідок життєдіяльності рослин, які входять до їх складу. Він уперше простежував динаміку рослинного угруповання від моменту його утворення до формування стабільного самопідтримувального стану. Весь ряд угруповань, від піонерного, нестійкого, до відносно сталого, Ф. Е. Клементс назвав серією (сукцесійним рядом), а окремі етапи зміни рослинності під час сукцесії серійними стадіями. Ця термінологія використовується і дотепер. Хоча поняття завершальної сталої стадії, чи клімаксу багаторазово переглядалось.

Найрозповсюдженішим на сучасному етапі розвитку фітоценології є визначення сукцесії як процесу поступових змін у фітоценозі, спричиненого внутрішніми (взаємовідносини між рослинами, відносини рослин і умов існування) чи зовнішніми стосовно до фітоценозу причинами, які призводять до зміни одних ценозів на інші на відповідній території та формування угруповань, близьких до існуючих на природних, незачеплених господарською діяльністю людини територіях [140-142, 159, 182, 218]. Акцентування на тих чи інших причинах сукцесії, її першорухах, часі

проходження, стані і динамічному потенціалі рослинного покриву визначають існування декількох класифікацій сукцесій [4, 157, 159, 218]. Є. М. Лавренко (1940) поділяв сукцесії на вікові (кліматогенні, едафогенні) і короткочасові (пірогенні, зоогенні, антропогенні). М. Д. Ярошенко [223] визначає: А – природні сукцесії (1 – послідовні, 2 – стійкі (кліматогенні, ендеогенні, біогенні); Б – антропогенні. В. Н. Сукачов [198] залежно від характеру та природи факторів, які спричиняють сукцесію, поділяє її на два типи: автогенну та алогенну.

Виходячи з визначення фітоценозу як відкритої біотичної системи, слід припустити, що взаємозв'язки між популяціями в фітоценозі утримуються на певному стабільному рівні, який відповідає певному стану навколишнього середовища. За зміни рівноваги між абіотичним середовищем і біотою (чи всередині самої біоти), відбувається перебудова структурно-функціональної організації угруповання, яка направлена на досягнення ним гомеостатичного стану в нових умовах середовища існування [230]. Дестабілізація умовно початково рівноважного стану угруповання може бути наслідком зміни середовища існування в результаті життєдіяльності біоти. У цьому випадку сукцесія, яка контролюється угрупованням, незважаючи на те, що фізичне середовище визначає характер і швидкість змін, а часто і звужує межі розвитку, називається автогенною [159, 198]. Розрізняють автогенні ендеоекогенетичні сукцесії, які є результатом зміни екологічних умов місцеіснування, життєдіяльності самих організмів і сингенетичних сукцесій. Останні зазвичай відображають зміни внаслідок розмноження рослин без значної зміни ними екологічної ситуації. На відміну від ендеоекогенетичних сукцесій, для реалізації яких необхідна наявність достатньо сформованого фітоценозу, сингенез може відбуватися в угрупованнях і на субстратах повністю позбавлених рослинності. У цьому випадку мова іде про первинні сукцесії, які виділив Т. А. Работнов [182]. Вони виникають там, де утворюються субстрати, придатні для заселення рослинами (поступове заростання сипких пісків, кам'янистих розсипів, річкових наносів, змитих

ерозійних схилів, гірських порід). До них належать також техногенні субстрати, які утворились унаслідок нагромадження відходів вугільної промисловості. Первинні сукцесії охоплюють не лише виникнення фітоценозів і їх зміни, а й утворення біогеоценозів разом із формуванням ґрунтового горизонту [236]. У ході виникнення фітоценозів залежно від їх складу розрізняють такі стани: роздільний, роздільно-груповий, зімкнено-груповий, зімкнено-дифузний [218]. По мірі змикання рослинності посилюється взаємовплив рослин в угрупованні, яке формується. Види, які не пристосовані до росту в зімкнених угрупованнях, зникають. Вторинні сукцесії можливі як сингенетичні, так і ендоекогенетичні, однак відбуваються вони за зміни одного фітоценозу на інший і зазвичай виникають внаслідок діяльності людини. Реалізуються там, де рослинність вже існувала і де сформувався ґрунтовий покрив (заселення рослинами і тваринами покинутих сільськогосподарських земель, вирубок та ін). Такі сукцесії трапляються також у штучних фітоценозах рекультивованих відвалів, оскільки людина не втручається в існування створених нею культур фітоценозів [27]. При сингенезі зміни відбуваються під впливом взаємовідносин між рослинами. Так, на багатому на поживні речовини субстраті спочатку формуються угруповання з однорічників із R-стратегією, а пізніше вони послідовно змінюються угрупованнями із дворічників і багаторічників із S, RC, SC, RCS стратегіями. Автогенні сукцесії, які об'єднують сингенез і ендоекогенез, як правило незворотні [198]. Час проходження згадуваних сукцесій різний. Для сингенезу властивий достатньо короткий період – у межах десятиліття. Ендоекогенетичні сукцесії реалізуються значно довше і період їх проходження може охоплювати від декількох сотень до десятків тисяч років [141]. За зміни природних умов та сфери проявлення сингенезу й ендоекогенезу існують ситуації можливого сукупного прояву обох процесів. Це тим більше ймовірно, що реалізація ендоекогенезу в багатьох випадках неможлива без проникнення і розселення в фітоценозі тих чи інших нових видів рослин [141, 218].

Зміни, які проходять під впливом зовнішніх стосовно до угруповання сил, розглядаються як алогенні [159], екзогенні [4, 198, 218] або стихійні [223] сукцесії. Якщо вплив зовнішнього фактора припиняється, то алогенну сукцесію замінює автогенне відновлення. Алогенні сукцесії поділяють на гейтогенез та гологенез. Гейтогенез – локальні зміни окремих фітоценозів на які діє зовнішній чинник (сукцесії унаслідок випасу, рекреації, впливові радіації). Гологенез – зміни фітоценозів у межах цілого ландшафту під впливом зовнішніх чинників, які можуть бути природними чи антропогенними (зміна рослинності при формуванні річкової долини, будівництві гідротехнічних споруд тощо).

Клас сукцесійних змін, пов'язаних з діяльністю людини, поділяють на чотири типи: антропосингенез, антропоендоекогенез, антропоекзоекогенез і антропогологенез. Перший тип характеризується формуванням (саморозвитком) ценозів на створених людиною екотопах (відвали, насипи та ін). Спонтанна демуація рослинності після припинення випасання розглядається як антропоендоекогенез, тому що розвиток рослинності тут хоч і йде в результаті внутрішньої взаємодії фітоценозу й умов середовища, але значно визначається впливом антропогенних факторів. Зміни, зумовлені зовнішніми щодо ценозу впливами, які пов'язані з діяльністю людини, належать до антропоекзоекогенезу. Ці зміни спричинені багатьма формами антропогенного впливу: пожежами, випасом, сінокосінням, вирубуванням дерев, збиранням лікарських і дикоростучих рослин, рекреаційним перевантаженням. Гологенетичні зміни антропогенного походження, або антропогологенез – це зміни рослинності в результаті зміни цілої системи ландшафту або його окремих частин – атмосфери, літосфери, гідросфери – під впливом людини. До таких сукцесій належить зміна фітоценозів під впливом глобальних змін клімату, висушення великих територій перезволожених земель, зміна русла річки та розвиток нової річкової долини, зміна рослинності в процесі розвитку форм рельєфу, під впливом будівництва водосховищ та ін. Антропогологенез виникає унаслідок зміни

гідрологічного режиму внаслідок будівлі шахт, водойм, знищення та посадці лісу на великих площах, ерозії.

Окрім цього, сукцесії класифікують за такими категоріями: за масштабом часу – на швидкі, які проходять за десятиліття; середні, які тривають століття; повільні, які тривають тисячоліття, і дуже повільні (десятки тисяч років). За зворотністю – на зворотні та незворотні. За постійністю процесів – на постійні та непостійні. За походженням – на первинні та вторинні, про що згадувалось раніше. За характером зміни структури та видового складу – на прогресивні (в результаті сукцесії збільшується видовий склад і його продуктивність) і регресивні (в результаті сукцесії зменшується видове різноманіття і зменшується продуктивність). За чинником впливу – на антропогенні (спричинені діяльністю людини) і природні (виникають природним шляхом) [142].

Відомо, що після господарського використання відновлення корінної степової рослинності йде за такою послідовністю стадій, які визначив ще В. М. Черняєв і яку вивчали і на американських материках [159], бур'янова рослинність (короткоживучі трави), кореневищні трави, нещільнокущові тонконогові (злаки), щільнокущові тонконогові (злаки, клімаксові трави). Як відзначав В. Вільямс (1922), на щербенистих субстратах характерними є буркунові угруповання – *Melilotus albus*, що трапляються в усіх літоекотопах сукцесійних систем кар'єрно-відвальних урочищ. Угрупованнями, що їм передують, є кохійно-злинково-споришеві, злинково-кохійно-споришеві, злинково-споришево-кохійні, а наступними – гіркополиново-буркуново-деревійні з різними ековаріантами, різнотравно-тонконогові та тонконогово-різнотравні. Тоді збільшується загальне число видів і петрофітів у рослинних угрупованнях. Стадія короткоживучих бур'янових трав може бути тривалою, відзначені “хронічно” піонерні угруповання [183] на схилах, що осипаються.

На фоні різної мозаїчності субстратів спостерігається суміщення фаз різних стадій. Так, стадія кореневищних трав коротша або випадає, стадія

нешільнокущових злаків може переходити в піонерну або виконувати її функції.

За сукцесії рослинності відбуваються зміни середовища, в якому існують рослини та їх консорти. Видовий склад рослин, які з'являються внаслідок природного заростання відвалів, визначається природно-кліматичними чинниками та водно-фізичними властивостями відвальних субстратів [27, 81, 171]. Контрасти на експозиціях схилів і складний мікрорельєф спричиняють виникнення локальних мікрокліматів, асиметричний розвиток явищ вивітрювання, розподілу та акумуляції тонкодисперсних продуктів вивітрювання, внаслідок чого створюється певна сукупність екологічних ніш з різними режимами зволоження, теплозабезпечення та ґрунтового живлення, зумовлюючи неоднорідність в таких ландшафтах сукцесій рослинності [161].

Л. Б. Моторина та ін. [146] на основі дослідження сингенетичної сукцесії рослинності буровугільних відвалів Підмосковського басейну, які сформовані із четвертинних суглинків, кварцових озалізненних пісків, глиною із вкрапленнями слюди, вугілля, домішок сульфідовмісних порід, встановили, що у перші роки відбувалось заростання 7-12 видами бур'янів, які утворювали розріджений рослинний покрив. Далі здійснювався перехід від бур'янистої до стадії незімкнутих багатовидових угруповань (проходить на третій рік сукцесії). В останніх багаторічники поселяються значно повільніше. Ці рудеральні угруповання пізніше поступово переходять у лучні. Через 10-12 років утворюються 2-3-ярусні травостани заввишки 35-40 см, які налічують до 40 видів і мають проєктивне покриття від 60-70 до 95 % [143, 146].

На стадії піонерного угруповання у складі флори відвалів степової зони України переважають літньо-осінні однорічники та майже відсутні весняні ефемери. Темпи весняної вегетації на глинах є сповільненими. Великозернисті третинні та четвертинні піски спочатку заселяють

ранньовесняні ефемери з подальшим розростанням серед них кореневищних, довгострижневих однорічних і багаторічних видів рослин [136].

Сингенетичні сукцесії відвалів, відсипаних у різний час на території розробки родовищ сірки Передкарпатського басейну, також визначаються фізико-хімічними властивостями гірничих порід: на 3-5-річних відвалах, сформованих хаотично мергелями, третинними глинами та сумішшю четвертинних відкладів (лесовидні суглинки та супіски), локально поширені рудеральні рослини. Густота травостану є різною: особливо виділяються осередки в місцях виходу на поверхню відвалів лесоподібних суглинків і супісків. У перші роки післяексплуатаційного періоду на відвалах з'являються деревні види (*Salix caprea*, *Betula pendula*, *Sambucus nigra*). Автор виділяє 4 етапи заростання відвалів на неогеново мергелистих глинах: кореневищний (стадія *Tussilago farfara*), кореневищний (стадія *Calamagrostis epigeios*), кореневищно-дерновинний (проміжний) та дерновинний. Едифікаторами на кореневищному етапі заростання відвалів є *Tussilago farfara* та *Calamagrostis epigeios*. На 12-річних відвалах з'являються перші бобові [40]. Початкові стадії рекультиваційної сукцесії формування рослинного покриву на техногенних субстратах родовищ сірки Передкарпатського басейну Г. М. Мануїлова поділяє на такі етапи: початковий, формування дифузних трав'яних синузій, формування відносно стійких трав'яних фітоценозів, поява елементів деревно-чагарникової рослинності [132].

На золошлаковідвалах Бурштинської ТЕС виділяють три стадії сукцесії рослинності: до 5 років (перша стадія); 5-15 років (друга стадія); 15-30 років (третья стадія). Перша стадія сукцесії є найбільш бідною за систематичним складом рослин і нараховує 31 вид із 28 родів та 10 родин. Для цієї стадії характерний слабкорозвинений рослинний покрив, низьке видове різноманіття. Загальне проективне покриття становить 10 %. Трав'яного ярусу, як такого, немає, спостерігається локальне проростання у підніжжі та на схилах. Заростання деревними породам не спостерігалось. Друга стадія сукцесії є найбагатшою за видовим складом – у шість разів більша, порівняно

з першою. У рослинному покриві домінують такі види: *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Artemisia absinthium* L., *A. vulgaris* L., *Stenactis annua* (L.) Ness., *Oenothera biennis* L., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *M. albus* Medik, *Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud., *Tanacetum vulgare* L. та ін. Загальне проективне покриття становить 80-100 %. Також з'являються деревно-чагарникові види – ті, які самостійно поселяються на золошлаковідвалах (*Juglans regia* L., *Rubus hirtus* Waldst. et Kit., *Populus tremula* L., *Rosa canina* L. та ін.). Загалом, ця стадія представлена 168 видами із 134 родів та 44 родин. З'являються нові родини, зокрема: *Pinaceae*, *Ranunculaceae*, *Rosaceae*, *Cornaceae*, *Ulmaceae*, *Betulaceae*, *Caryophyllaceae*, *Hypericaceae*, *Juglandaceae*, *Oleaceae*, *Boraginaceae*, *Lamiaceae*, *Iridaceae*, *Valerianaceae*, *Caprifoliaceae*, *Elaeagnaceae* та ін. Всі інші родини представлені одним-двома видами. Третя стадія сукцесії характеризується збільшенням кількості деревно-чагарникових видів. Зокрема, з'являються *Quercus robur* L., *Carpinus betulus* L., *Populus deltoides* Marsh., *P. nigra* L., *Malus sylvestris* Mill., *Crataegus monogyna* Jacq., *Swida sanguinea* (L.) Opiz та ін. [152].

С. П. Жуков [81], вивчаючи сукцесійну динаміку рослинності відвалів вугільних шахт Донбасу, виявив 262 види судинних рослин з 175 родів та 49 родин, 3 класів, 2 типів. Ним описана флористична класифікація рослинності відвалів та виділено 7 асоціацій 4-х союзів, 3-х порядків і 3-х класів, з них 2 асоціації описано вперше (*Persicario – Obernetum behenii*; *Poa compressae – Hieracietum virosae*). У формуванні флори важливим є значення родин, що містять багато рудеральних видів з широкою екологічною амплітудою. Найбільшими родинами є *Asteraceae* і *Poaceae*, які охоплюють понад 50 % видів і родів, серед яких переважають родини з невеликою кількістю видів: 24 родини (49 %) налічують лише по одному виду. Географічний аналіз флори відвалів засвідчив, що кількісно переважають адвентивні та широкоареальні види: голарктичні, палеарктичні, європейські. За життєвою

формою найбільше у флорі відвалів гемікриптофітів і терофітів. За флороценотипами найважливішими є степові та синантропні види.

У серійних угрупованнях відвалів Кривбасу відзначені види родів *Artemisia*, *Festuca*, *Potentilla*, *Stipa*, *Helichrysum* і клімаксові угруповання з представниками родів *Stipa*, *Helichrysum*, *Gypsophilla*, *Centaurea*. До петрофільного різнотрав'я Б. В. Виноградов [54] зараховує *Zygophyllum macropterum*, *Gypsophilla patrinii*, у серійних угрупованнях виділяє *Artemisia sublessingiana*, *Festuca sulcata*, а в заключних – *Stipa sareptana* й *Artemisia sublessingiana*. Сукцесійні ряди на різних породах мають різний флористичний і екоморфічний склад. Б. В. Виноградов наводить також у числі видів метаморфічної та флори скельних екотопів види з родів *Asplenium*, *Viola*, *Silene*, *Poa*, *Aurinia*, *Erysimum*, *Koeleria*, *Centaurea*, *Scorzonera*, *Petrorhagia* тощо. Види цих родів також є в складі літофільних угруповань відвалів Кривбасу.

На підставі результатів досліджень проведених В. В. Поповичем [171] на териконах Нововолинського гірничопромислового регіону Львівсько-Волинського вугільного басейну виявлено значну відмінність видового складу насаджень на вершині терикону і його схилах, порівняно з підніжжям, де ростуть такі деревні породи, як *Populus nigra* L., *Fraxinus excelsior* L. Підлісок формується в основному з *Sambucus nigra* L., *Rubus caesius* L., *Swida sanguinea* і *Corylus avellana*. Збільшується різноманіття трав'яного покриву, який представлений *Calamagrostis epigeios*, *Taraxacum officinale*, *Matricaria recutita*, *Artemisia absinthium*, *Trifolium pratense*, *Plantago lanceolata*, *Daucus carota* L., *Urtica dioica* L., *Vicia sepium*, *Melilotus albus*, *Arctium lappa* L., *Pimpinella saxifraga* та іншими.

На відвалах вугільних шахт Львівсько-Волинського гірничопромислового регіону встановлено 448 видів, які належать до 272 родів, 70 родин, 48 порядків, 6 класів та 5 відділів. З них 445 видів поширені спонтанно та 3 види представлені лише в культурі. Флористичне ядро рослинних угруповань відвалів, налічують 66 таксонів або 14,7 %. При тому

19 видів (4,0 %) трапляються на всіх дослідних відвалах. До них насамперед належать піонерні дерева (*Betula pendula*, *Populus tremula*, *Salix caprea*, *Pinus sylvestris* та *Robinia pseudoacacia*), багаторічні довгокореневищні трави (*Calamagrostis epigeios* та *Chamerion angustifolium*), одно-, дво- та багаторічні бур'яни (*Phalacrolophum annuum*, *Conyza canadensis*, *Daucus carota*, *Artemisia absinthium* тощо) [112].

Як було описано С. П. Жуковим [81] сукцесія рослинності на відвалах шахт контролюється динамічним комплексом наявних абіотичних чинників і міжвидових взаємин в угрупованнях, що призводить до появи каскадного ефекту в формуванні рослинності. Рослини, які поселяються на відвалах вугільних шахт, можуть зазнавати значних змін: зміна метаболізму, пригнічення ростових процесів, скорочення онтогенезу та ін. Умови едафотопу та екотопу породних відвалів не мають аналогів у природних системах, рослинного покриву на них немає, тому відбувається формування нової флори, хоча простежується зональний характер їх заселення [46, 239, 249]. Під час вивчення рослинного покриву на техногенних територіях Донбасу, Є. М. Кондратюк встановив, що флори техногенних екотопів за флористичним і фітоценотичним складом подібні до зональних [105].

1.2. Особливості природного відновлення

На хід природного заростання відвальних порід впливають різні фактори: токсичні речовини субстратів відвалів [12, 13, 235], мезорельєф [27, 171], водний і температурний режим [27, 169, 178], алелопатичний вплив виділень рослин, які заселяють субстрат відвалів [76]. Терикони вугільних шахт Донбасу починають заростати через 30-40 років після відсипання [107, 185], відвали Львівсько-Волинського вугільного басейну через 10-15 років [27]. Заселення відвалів рослинами відбувається, як правило, за зональним типом. Піонерними рослинами є види, які володіють широкою еколого-фітоценотичною амплітудою, їм властиві ксероморфні ознаки – потужна

коренева система, що глибоко проникає у ґрунт, подушкоподібна надземна частина або прикоренева розетка листків, опушення або восковий наліт на листках і стеблах [188].

Результати аналізу літературних джерел вказують на те, що відвалам властиві три стадії природного розвитку біоти – ініціальна, післятехногенна та оптимізаційна [95, 105].

Ініціальна стадія починається із періоду відсипання, формування та подальшої оптимізації відвальних ландшафтів на гірничо-технічному етапі рекультивациі. Визначальним чинником розвитку біоти у цій фазі є потужні потоки речовини та енергії із екосистеми, яка оточує відвали, у вигляді діаспор вищих і нижчих рослин, а також мікроорганізмів. Але за недостатнього зволоження і нестачі елементів мінерального живлення (особливо азоту), малого вмісту органіки, кислотності, значного вмісту важких металів, навіть незважаючи на високу інтенсивність транспорту спор та клітин, чисельність біоти у відвальних субстратах є незначною.

Показано, що першими на відпрацьованих відвалах, поселяються у їх верхніх шарах бактерії і водорості [20, 122, 130]. Поява, поширення, кількісний і якісний склад мікроорганізмів на промислових відвалах значною мірою залежить від хімічного складу субстратів, їх фізичних властивостей, реакції середовища (рН), вмісту в них повітря, вологи, поживних речовин, мезорельєфу а також агротехнічних прийомів, що використовуються для створення штучних угруповань на відвалах. Зокрема, зола теплових електростанцій характеризується дуже низькою мікробіологічною активністю. Мікробіологічна стерильність характерна і для відвалів кольорової металургії. На шахтних відвалах Бориславського озокеритового родовища відзначено, що максимальні кількості мікробіоти становлять сапрофіти та олігонітрофіли, які суттєво впливають на фіксацію атмосферного азоту [109]. У складі мікробоценозів, що першими заселяють породи відвалів Криворіжжя, переважає гетеротрофна група, яка використовує залишки органічної речовини. Азотобактер розвивається краще

в субстратах, збагачених свіжою органікою, але бідних на азот, переважно в аеробних умовах. На промислових відвалах різного походження поряд із мікроорганізмами часто оселяються водорості, які нагромаджують органічну речовину і є активними учасниками процесів сингенезу та первинного ґрунтоутворення. На відвалах вугільних шахт Донецької області виявлено 38 видів водоростей: Chlorophyta – 14 (36,8 % від загальної кількості видів), Cyanophyta – 9 (23,7 %), Bacillariophyta – 7 (18,4 %), Xantophyta – 5 (13,2 %) та Eustigmatophyta – 3 (7,9 %). Комплекси домінантів сформовані переважно видами космополітами та убіквістами з відділів Chlorophyta, Cyanophyta, Bacillariophyta й Xantophyta [130]. У результаті дослідження у рекультиваційних насадженнях відвалів Східного гірничо-збагачувального комбінату у м. Жовті Води (Дніпропетровська обл.) виявлено 22 види водоростей з п'яти відділів Cyanophyta – 10 видів (45 %), Chlorophyta – 7 (32 %), Xanthophyta – 1 (5 %), Bacillariophyta – 2 види (9 %), Eustigmatophyta – 2 види (9 %), які належать до 16 родин і 16 родів. Основу альгофлори рекультиваційних насаджень становить родина Phormidiaceae – 5 видів [172]. Інтенсивність поселення лишайників на первинних ектопах буває різною. Головним фактором, що лімітує поширення лишайників (не беручи до уваги полютанти, джерелом яких є відвали) є нестабільність субстрату (нахил більшості відвалів становить понад 45, що спричинює часті зсуви породи разом із прикріпленими лишайниками) [1].

Доведено, що на початковому етапі, у багатьох випадках, заселення відвалів насінням вищих рослин відбувається одночасно з мікроорганізмами, водоростями та лишайниками. На кам'янистих відвалах Криворіжжя значна кількість насіння заноситься за допомогою різноманітних пристосувань: антропохори – 8 видів (25 %), анемохори – 23 види (74 %), барохори – 4 види (12,7 %) [222]. Життєвість проростків рослин є дуже низькою, і роль їх на початкових етапах сингенезу, очевидно, пов'язана переважно з нагромадженням органічної речовини у субстратах сформованих відвалів [80]. На формування умов, сприятливих для поселення живих істот,

позитивно впливає вивітрювання та вимивання токсичних елементів із субстрату відвалів і процеси первинного ґрунтоутворення [168]. Біотичний колообіг хімічних елементів на первинних етапах формування техногенного едафотопу протікає на рівні мікроорганізмів, біомаса яких дуже мала й обмежена наявними джерелами мінерального живлення у субстратах відвалів [45]. Здійснення ініціальними мікробіоценозами біохімічного транспортування та деструкції мінеральних часток дрібнозему відвалів залучає до біогеоценотичних систем компоненти вищої та нижчої рослинності, з появою, ростом і розвитком яких пов'язаний перехід до післятехногенної фази заростання відвальних ландшафтів.

Ця стадія природного заростання відвалів породи визначається віком, складом субстрату, характером навколишнього рослинного покриву. Основною особливістю природної рослинності породних відвалів є сукцесійна динамічність з переважанням процесів сингенезу.

Післятехногенна фаза становлення екосистем проходить на таких фонах: інтенсивного фізичного та біохімічного вивітрювання великих фракцій техногенного субстрату; переміщення та сортування продуктів вивітрювання; початку формування рядів геохімічної міграції елементів. Екологічні умови на цій стадії покращуються. Це відбувається завдяки активній діяльності оліготрофних бактерій, гіфоміцетальних грибів, які здатні поглинати та асимілювати з породи більшість хімічних елементів [218]. Встановлено, що деякі види мохів сприяють нагромадженню органічної речовини в субстраті [194, 195]. У цій фазі спостерігається формування парцелярної структури фітоценозів і початкові стадії диференціювання профілю молодих ґрунтів на генетичні горизонти. Колонізація рослинами породних відвалів відбувається через потрапляння діаспор та їх виживання, формування популяцій і клонів. Так на відвалах Криворіжжя піонерні рослини (31 вид) належить до 13 родин. Домінантними родинами є складноцвіті – 10 видів (32 %), хрестоцвіті – 6 видів (19,3 %) та злакові – 3 види (9,6 %), частка яких становить 60,9 % від усіх видів.

Невелика видова різноманітність та кількість родин свідчить про надзвичайну специфічність новоутворених місць заселення. Для таких умов характерний жорсткий екотопний відбір, а екологічні форми залежать від гідротермальних умов. Тут домінують ксеромезофіти – 15 видів (57,6 %), мезофіти – 1 вид (3,8 %), мезоксерофіти – 5 видів (19,2 %), ксерофіти – 2 види (7,6 %), еуксерофіти – 2 види (7,6 %) та геліокриптофіти – 1 вид (3,8 %). Більше 90 % припадає на геліофіти – 24 види та 2 види – сціогеліофіти. Життєві форми піонерної рослинності представлені однорічними – 11 видів (35,4 %), багаторічними – 11 видів (35,4 %), дворічними – 4 види (12,9 %) та деревними – 5 видів (16,1 %). Значна кількість багаторічних видів (для техногенних екотопів) пояснюється механічним складом та фізичними властивостями субстрату. Серед загальних закономірностей автор відмітив, що заселення рослинами має випадковий характер. Більше заселяються та заростають рослинністю підніжжя відвалів, мікропониження та північно-західні схили. Із вищих рослин, в угрупованнях, переважають бур'яни, серед яких багато адвентивних видів [222].

На відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району формуються природні рослинні угруповання *Betula pendula* – *Calamagrostis epigeios* – *Poa pretensis*, *Populus tremula* – *Calamagrostis epigeios*, *Betula pendula* – *Populus tremula* – *Calamagrostis epigeios* – *Achillea millefolium* – *Chamaerion angustifolium* на нерекультивованих відвалах у нижніх частинах схилів північної і східної експозиції. Мікроасоціації *Betula pendula* – *Populus tremula* – *Pinus sylvestris* – *Calamagrostis epigeios*, *Betula pendula* – *Populus tremula* – *Pinus sylvestris* – *Polytrichum commune* утворюються на пологих схилах нерекультивованих відвалів. Мікроасоціації *Pinus sylvestris* – *Calamagrostis epigeios*, *Betula pendula* – *Populus tremula* – *Calamagrostis epigeios* формуються на перегорілих і неперегорілих породах верхніх плато нерекультивованих відвалів [27]. На відвалах Криворіжжя у 20 річному віці панують багаторічні злаково-полинні угруповання. Поява на відвальних субстратах вищої рослинності, її надземного та кореневого

відпаду, а також корневих виділень рослин, є основою для первинного ґрунтоутворення та формування гумусового горизонту завдяки деструкції відпаду мікроорганізмами. Так, уже через 1-2 роки після відсипання на відвальних субстратах збільшується чисельність мікроорганізмів, здатних розкласти клітковину [151]. Процес нагромадження гумусу пов'язаний із симбіотичною взаємодією рослинних організмів та актиноміцетів, останні здатні розкласти целюлозу (яка є основним компонентом рослинних клітин), та мінералізувати перегній [225].

Склад місцевої флори істотно впливає на природне заростання відвалів. Спочатку утворюється мозаїчний незімкнений рослинний покрив з невибагливих до поживних речовин, зволоженості, хімізму субстратів рослин яким властива широка екологічна амплітуда та висока відновлююча здатність.

У фазі оптимізації продовжується диференціація видового складу фітоценозів. Загалом, з плином часу, на відвалах формуються фітоценози, у яких переважають багаторічні рослини. Це період інтенсивної взаємодії вищих рослин між собою (міжвидова конкуренція) в угрупованнях. Фактор міжвидових взаємовідносин визначає напрямок розвитку й структуру рослинних угруповань, що формуються. У ході сукцесії рослинності відвалів шахт Донбасу формування ценозів супроводжується зміною структури міжвидових взаємовідносин з пірамідальної (з незначною кількістю конкурентоздатних видів і великим розривом у конкурентоспроможності за вертикаллю) на виположену (рівномірним розподілом за конкурентоспроможністю). Це свідчить, що в угрупованнях відбувається добір видів за диференційованістю їхніх екологічних ніш. Цілком можливі і процеси активної диференціації екологічних ніш у адвентивних видів під час первинної адаптації на антропогенно порушених територіях [82]. Спостерігається посилення впливу рослинного покриву на екотоп. Середовищеворна роль тут пов'язана з покращенням мікрокліматичних умов, стабілізацією негативних геоморфологічних процесів. З цими

процесами пов'язане витіснення існуючих популяцій видами із місцевої флори. Деякі з цих видів можуть утворювати стійкі популяції в угрупованнях, другі витісняють досить швидко іншими видами, треті виступають домінантами та співдомінантами. Існування таких видів на цій стадії ускладнює структуру угруповань і утворює досить мозаїчну картину рослинного покриву.

Направленість і швидкість заростання відвалів залежать від умов зволоження оселищ, складу та властивостей розкритих порід, насипаних на поверхню відвалів, а також від мікро- та мезорельєфу, що формується на їх поверхні. Природне поновлення з'являється переважно у мікропониженнях, на тінювих експозиціях нижніх частин схилів і терас, які створюють умови кращого зволоження і мікроклімату. Для екоотопів нерекультивованих породних відвалів У. Б. Башуцька [27] визначає такі стадії сингенетичної сукцесії на різних елементах мезорельєфу нерекультивованих відвалів: деревно-мохова → деревно-різнотравна → деревно-злакова → деревно-чагарниково-злакова. На терасах рекультивованих відвалів простежується такий сукцесійний ряд: мохово-нечуйвітрова → злаково-різнотравна → злакова → деревно-чагарникова, а на схилах деревно-мохова → деревно-мохово-лишайникова → деревно-різнотравна → деревно-злакова → деревно-чагарниково-трав'яна.

Деревна стадія є початковою і приуроченою до всіх екоотопів нерекультивованих відвалів, субстрати яких характеризувалися окисленням породи протягом приблизно десятирічного періоду. Самозаростання деревними породами-піонерами відбувається переважно за участю *Betula pendula* та *Populus tremula*. Деревно-мохова стадія характерна для схилових екоотопів. Вони найбільше страждають від водної та вітрової ерозій, внаслідок яких дрібні частинки вимиваються у підніжжя відвалів. На змитих ділянках з високою кількістю каменів на поверхні, особливо північної експозиції, поселяються мохи із родів *Bryum* і *Polytrichum*. На деревно-різнотравній стадії внаслідок нагромадження напіввивітреної породи

зменшується фітотоксичність, покращується водно-температурний режим субстратів. Вона представлена, в основному, двома типами екологічно різноцінних угруповань, одне з яких характеризує петрофітно-ксерофітні умови верхніх плато, а друге – збагачені дрібноземом підніжжя, значною мірою мезофітизовані в ході фізико-хімічних перетворень місцезростань. Деревно-злакова стадія є наступною у процесі формування ценоструктур. Сукцесійні процеси на відвалах вугільних шахт ЧГПР завершуються формуванням зональної рослинності і прогностичною асоціацією, яка сформується, буде асоціація сосново-дубових лісів (*Pineto-Quercetum*) [27].

1.3. Рекультивація відвалів і середовищеворна роль рослин

У світовій практиці для зменшення негативного впливу токсичних чинників відвалів прийнято здійснювати заходи із їх рекультивації [9-11, 62, 68, 106, 116, 143, 191, 224]. Рекультивація земель – це відновлення родючого шару ґрунту, рельєфу території, гідрогеологічних умов, порушених діяльністю людини. Рекультивація земель є однією з найважливіших проблем сьогодення. Унаслідок рекультивації відновлюються землі, що зазнали техногенного впливу. Значний вплив порушених земель на навколишнє середовище пояснюється тим, що на поверхню виносяться токсичні породи, запилюється та загазовується атмосфера, змінюється режим ґрунтових вод, включно з глибокими підземними, формуються значні маси субстратів, що нагромаджуються у так званих відвалах. При тому з сільськогосподарського обігу вилучаються не лише землі, з яких безпосередньо добуваються корисні копалини, а й площі для складування породи.

Процес рекультивації порушених територій, як правило, рекомендують розділяти на три головних етапи: підготовчий, гірничо-технічний та біотичний.

Підготовчий, або проектно-обстежувальний, етап включає: обстеження і типізацію порушених земель та територій, які підлягають порушенню;

вивчення властивостей розкритих порід і класифікацію їх щодо придатності для біотичної рекультивації; визначення напрямів і методів рекультивації; складання техніко-економічних обґрунтувань і технічних робочих проектів з рекультивації.

До комплексу робіт гірничо-технічного етапу належать: відсіпання відвалів, вирівнювання, формування укосів, знімання, транспортування та нанесення на рекультивовані землі родючого або потенційно родючого ґрунту, докорінна меліорація, будівництво доріг, спеціальних гідротехнічних споруд тощо (ГОСТ–83). Розглянемо конкретні рекомендації щодо рекультивації відвалів на гірничо-технічному етапі. Так, основним способом захисту довкілля від забруднення кислими водами з відвалу є спорудження дренажної системи (каналу) для відведення забрудненої води від них в накопичувач шахтних вод. Звідти, після очищення, воду існуючою насосною станцією перекачують в систему зворотного водопостачання, як це робиться зокрема на Центральній збагачувальній фабриці [128]. Для запобігання надходженню елементів у суміжні з породними відвалами зонами аерації та нормалізації якості ґрунтів пропонують два методи – хіміко-технологічний і біотичний. Перший базується на роботах, проведених на відвалах у Кизеловському вугільному басейні в Росії, де терикон був обнесений канавою, яку заповнили сполуками барію і подрібненими карбонатними породами як сорбенту, що знизило рухливість забруднюючих компонентів. Біотичний метод заснований на фіторе mediaційній здатності рослин нагромаджувати важкі метали з водних стоків [19]. Для нейтралізації кислотності субстратів безпосередньо на відвалах потрібне насипання необхідної кількості карбонатного суглинку (шаром 12-15 см), після чого можливе внесення 7 сантиметрового шару алювіального ґрунту, який можна брати із долин річок для забезпечення субстрату органічним вуглецем і основними елементами живлення рослин (N, P, K) [156]. Обсяг робіт гірничо-технічного етапу рекультивації залежить від стану порушених земель і виду запланованого використання. Ділянки, призначені для сільського та лісового

господарства, після гірничо-технічного етапу рекультивації повертаються, або передаються відповідним сільськогосподарським чи несільськогосподарським підприємствам для здійснення заходів біотичної рекультивації й подальшого використання за призначенням.

Останнім етапом рекультивації техногенно порушених територій є біотичний етап, завершальною стадією якого є фітомеліорація. Фітомеліорація – один з напрямів прикладної екології, який полягає у дослідженні, прогнозуванні та використанні фітоценозів (природних і створених людиною рослинних систем) для поліпшення геофізичних, геохімічних, біотичних, просторових і естетичних характеристик середовища, яке оточує людину, проектуванні та створенні штучних рослинних угруповань із використанням трав'яної, кущової та деревної рослинності, яка покращує кліматичні, ґрунтові та гідрологічні умови середовища [117]. Натепер одним з пріоритетних напрямів фітомеліорації є встановлення ролі рослин та спонтанних рослинних угруповань у техногенному середовищі як для визначення фітопридатності едафотопів антропогенного походження, так і для запропонування перспективних видів для фітомеліораційних робіт [107, 242]. Особливе значення мають дослідження та використання тих рослинних об'єктів, які покращують геофізичні, геохімічні, біотичні, просторові та естетичні характеристики деастрованих територій. Питанням проектування та створення штучних рослинних угруповань із властивостями, які здатні покращити деградовані території присвячена низка праць вчених [47, 48, 119, 206, 227, 237, 241].

Фітомеліорація породних відвалів шахт з озелененням лісонасадженнями та висівом багаторічних трав дасть можливість зупинити процес подальшого забруднення навколишнього середовища токсичними компонентами відвальних порід, упорядкувати ландшафт порушених земель [60, 199]. Для детоксикації порід відвалів вугільних шахт та вивчення середовищевідновлюючої ролі рослин була проведена низка досліджень.

Велику увагу підбору стійких рослин (за їх фізіологічними та популяційними параметрами, фіторемедіаційними властивостями та механізмами стійкості), які можна використовувати під час фітомеліорації відвалів, приділяли та приділяють не лише окремі дослідники, але й цілі наукові установи (Донецький і Криворізький ботанічний сад НАН України, Інститут екології Карпат НАН України, Львівський національний університет ім. Івана Франка, Львівський національний лісотехнічний університет та ін). Проаналізовано фізіологічні аспекти стійкості мохів, судинних рослин – однорічників, багаторічників, деревних рослин [14, 16, 17, 29, 124].

У процесі рекультивації земель за сільськогосподарським напрямком (сільськогосподарська фітомеліорація) необхідно максимально можливо відтворити фізичні, хімічні, біотичні властивості ґрунтів, що визначають родючість землі з метою створення на порушених землях ріллі, лук, пасовищ, багаторічних насаджень [131].

Науковцями Криворізького технічного університету запропонований спосіб визначення придатності рослин для біотичної рекультивації відвалів за коефіцієнтом інтродукції, який дає можливість завдяки максимальному наближенню умов дослідів до умов поверхонь субстратів техногенного об'єкту здійснити об'єктивний експериментально обґрунтований вибір рослин для його біотичної рекультивації [184]. Працівниками Донецького ботанічного саду НАН України було запропоновано вивчення фітомеліоративних здатностей рослин за трьома популяційними аспектами: 1) дослідження змін параметрів едафотопу, на якому формуються популяції фітомеліорантів, 2) дослідження стратегії (поведінки) і реакції особин у популяціях, які формуються, 3) функціонально-структурні особливості популяцій фітомеліорантів [3, 62]. Як перспективні фітомеліоранти для відвалів вугільних шахт Донбасу були відібрані такі трав'янисті рослини: злаки – *Festuca valesiaca* Gaudin, *Agropyron pectinatum* (M.Bieb.) P.Beauv., *Bromopsis inermis* (Leys.) Holub, *B. riparia* (Rehman) Holub, *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Leymus sabulosus* (M.Bieb.) Tzvelev; бобові – *Onobrychis*

tanaitica Spreng., *Medicago romanica* Prodan, *Trifolium ambiguum* M. Bieb., *Melilotus officinalis* (L.) Pall., *M. albus* Medik., *Gypsophila scorzonerifolia* Ser., *G. paulii* Klokov, *Alcea rugosa* Alef., *Securigera varia* (L.) Lassen, *Poterium polygamum* Waldst. et Kit [61]. Дослідженнями популяційних параметрів багаторічних видів трав'яних рослин показано, що до процвітаючого типу віталітету (відсутні пригнічені особини) на відвалах вугільних шахт належать *Gypsophila scorzonerifolia*, *Calamagrostis epigeios*, *Melilotus officinalis*, *M. albus*, *Bromopsis inermis*. Протягом 33-річного дослідження показано, що під цими популяціями значення рН субстрату значно підвищується, засолення стає незначним. Також був впроваджений патент «Спосіб діагностування придатності едафотопів породних відвалів для фіторекультивациї за життєздатністю популяцій рослин (на прикладі *Silene supina* M. Bieb.)» [163]. *Silene supina* M. Bieb. рекомендують для закріплення еродованих відшарувань порід і їх локальні популяції визначаються високою адаптацією до екстремальних умов середовища техногенних екоотопів і порівняно низьким поліморфізмом, характеризуються повночленними віковими спектрами нормального типу, самовідновлюються [76]. Із трав'яних видів, які мають сільськогосподарське значення, досліджувались біохімічні механізми стійкості рослин ріпаку (*Brassica napus* L. var. *oleifera* Metzg.), тифону, суріпиці, конюшини (*Trifolium pratense*), люцерни (*Medicago sativa*) та інших видів [16, 29]. За біохімічними показниками й антиоксидантними властивостями показано, що ці види є стійкими до токсичних факторів едафотопу відвалів. Під час проведення сільськогосподарської фітомеліорації відвалів радять застосовувати сівозміни з чергуванням буркуну лікарського (*Melilotus officinalis* (L.) Pull) або люцерни посівної (*Medicago sativa* L.) (1-2 рік), жита звичайного (*Secale cereale* L.), пшениці літньої (*Triticum aestivum* L.) чи ячменю звичайного (*Hordeum vulgare* L.) (3-4 рік), цукрового буряка (*Beta vulgaris* L.) (5-6 рік) [117, 147]. Унаслідок використання як тестів на відвалах Олександрівського та Запорізького кар'єрів Орджонікідзевського ГЗК у Нікопольському районі

Дніпропетровської області 23 види вищих рослин були найперспективнішими для росту на рекультивованих землях [208]. Це багаторічні бобові трави, в першу чергу люцерна й еспарцет, які утворюють велику кількість фітомаси і проявляють потужну середовищотворну роль на едафотоп. Дослідженнями науковців Криворізького технічного університету на відвалі розкривних порід № 2 Інгулецького ГЗК показано придатність курію іберійського (*Salsola iberica*) для біотичної рекультивації. Цей вид володіє високою посухо- та морозостійкістю, невибагливістю до якості ґрунтів, стійкий до шкідників та хвороб, не виснажує ґрунт та створює на поверхні субстратів надійний шар дернини, що ефективно протидіє вітровій і водній ерозії ґрунтів техногенного об'єкту [156].

Щодо очищення субстратів породного відвалу від важких металів було запропоновано після посіву насіння рослин-акумуляторів використовувати внесення мінеральних добрив у вигляді капсульованої природним сорбентом глауконітом нітроамофоску (800 ± 50 г на 100 м^2), а як рослини-акумулятори важких металів – ріпак, суріпицю або тифон, на що отримано патент на корисну модель [164]. Для фіторемедіації дренажних каналів відвалів рекомендовано очерет звичайний, який здатний нагромаджувати важкі метали у десятки разів порівняно з їх вмістом у субстратах [19].

У процесі лісогосподарської фітомеліорації земель на порушених землях створюють систему лісових насаджень різного типу, а саме: господарські, водоохоронні, ґрунтозахисні, протиерозійні, лісопаркові.

А. П. Травлєєв із співробітниками [205, 206] понад 30 років вивчають зміни чинників довкілля внаслідок техногенного впливу в Західному Донбасі, розробляють теоретичні основи і методи створення стійких і довговічних лісових екосистем на порушених промисловістю землях. На експериментальних пробних ділянках лісової рекультивації відвалів вугільних шахт проводяться стаціонарні дослідження всіх компонентів біогеоценозів. Особливого значення надають вивченню первинного ґрунтоутворення, генезі та еволюції еталонних і деструктивних ґрунтів на

основі комплексу біоекологічних, фізико-хімічних, макро- і мікроморфологічних методів, виявленню особливостей матеріально-енергетичного обміну, біогеохімічних циклів елементів живлення, швидкості біотичного колообігу речовин. Ними показано, що відновлення лісових насаджень на техногенних територіях ґрунтується на типологічній оцінці порушених земель, використанні пластичності й адаптивної здатності деревних порід, їх середовищетворної ролі. У процесі рекультивації раціональний видовий склад рослинності та екологічна відповідність ґрунтового блоку, оптимізація лісорослинних умов, світлової структури насаджень зумовлюють стійкість лісових екосистем, їх здатність підтримувати лісовий тип біотичного колообігу тобто набувати сталості та адаптації.

За даними В. М. Данька [73], на відвалах кам'яновугільних та марганцевих виробок найпристосованішими виявилися акація біла, в'яз дрібнолистий, жимолость татарська і навіть сосна звичайна. Використання для біотичної рекультивації техногенних субстратів (на прикладі відвалу Першотравневого кар'єру ВАТ "Південний гірничо-збагачувальний комбінат" (м. Кривий Ріг)) *R. pseudoacacia* показано, що вона сприяє інтенсивнішій акумуляції органофосфатів під її насадженнями, ніж під *P. pallasiana* [6]. Велика екологічна пластичність і життєздатність *Hippophae rhamnoides* L., зумовлена її біоморфологічними та біоекологічними особливостями, робить цей вид перспективним для фіторекультивації шахтних насипів озокеритовидобутку [213]. Доведено, що на відвальних ландшафтах Придніпровської височини як садивний матеріал можна використовувати стеблові живці *Tamarix tetrandra* Pall., *Partenocissus quinquefolia* L., різних видів *Salix* та *Populus* [43] та можливе культивування *Quercus robur* L., *Quercus rubra* L. та *Quercus macrocarpa* Michx. унаслідок висівання жолудів [44].

Важливими культурами для лісової фіторемедіації відвалів вугільних шахт Донбасу є *Quercus robur* L., *Robinia pseudoacacia* L. та

Fraxinus excelsior L., які дають самосів на відвалах, використовуються в лісорозведенні й для створення лісозахисних смуг [83]. На ділянках під насадженнями *Robinia pseudoacacia* L. на відвалах вугільних шахт Донецької області встановлено, що протягом усього вегетаційного періоду польова вологість субстратів була вищою, ніж на відкритих ділянках, а сухий залишок – меншим [204]. Результати визначення вмісту важких металів у деревних рослин, з відвалу ЦЗФ Червоноградського гірничопромислового району свідчить про те, що сосну звичайну, вербу козячу і робінію псевдоакацію можна рекомендувати для масових посадок на породних відвалах вугільних шахт не тільки як ґрунтоутримуючі, а й як рослини-фітореєдатори важких металів, що зменшить їх вимивання з субстрату відвалу та надходження у ґрунтові води і покращить екологічну ситуацію в районі [17]. В. М. Зверковський, який досліджував терикони Західного Донбасу, рекомендує для фітомеліорації такі культури: *Robinia pseudoacacia*, *Juniperus virginiana*, *Ulmus laevis*, *Elaeagnus angustifolia*, *Betula pendula*, *Populus boleana* Lauche, *P. nigra*, *Acer platanoides* L., *Ribes aureum*, *Salix babulonica* L. [88].

Науковцями Криворізького ботанічного саду, які досліджували відвали відсипані скельними гранітами, рекомендовано для фітомеліорації *Pinus pallasiana* та *Robinia pseudoacacia*. Позитивне пристосування показали *Acer tataricum*, *A. negundo*, *Padus avium*, *P. serotina* (Ehrh.) Ag., *P. Mahaleb* (L.) Borckh., *Berberis vulgaris*, *Ligustrum vulgare*, *Swida sanguinea*, *Amorpha fruticosa*. Для фітомеліорації залізородних відвалів перспективними є *Elytrigia repens* (L.) Nevski, *Bromopsis inermis*, *Festuca valesiaca* Gaud., *Stipa cappillata* L., *Melica transsylvanica* Schur, *S. lessingiana* Trin. et Rupr., *S. ucrainica* P. Smirn., *M. officinalis*, *Melilotus albus*, *Onobrychis arenaria* (Kit.) DC, *Medicago sativa*, *Hyssopus officinalis* L., *Crambe pontica* Stev. ex Rupr. [127]. Розвиток культур сосни звичайної у суміші з вільхою чорною на відвалах розкривних порід Стрижівського вуглерозрізу проходить досить інтенсивно, наближаючись до показників

характерних для умов свіжого сугрудку на природних лісових ґрунтах. Установлено, що меліоративна роль люпину полягає в азотному живленні сосни звичайної та ефективна на початкових етапах розвитку рослин, оскільки через 30 років після створення насаджень її вплив практично зникав [153].

Згідно з Державними рекомендаціями із проведення біотичної рекультивації породних відвалів вугільних шахт України [174], розроблених дослідниками Донецького ботанічного саду, та дослідження Національного лісотехнічного університету щодо рекультивації відвалів Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну [21-27, 116, 117], рекомендується застосовувати садіння лісових культур із урахуванням мікрорельєфу, оскільки самосів у мікропониженнях поверхні відвалу має кращі умови водно-повітряного режиму. До початку садіння на схилах їх мікротерасують. Тераси шириною 30 см прокладають по горизонталях зверху вниз через 2-2,5 м. Розміщення садивних місць залежить від виду рослин та величини нахилу схилу. На пологих (до 6-7°) схилах соснові насадження на супісках, де головною породою є *Pinus sylvestris*, як супутню породу можна використовувати *Betula pendula*. Схема садіння: три ряди *Pinus sylvestris*, один ряд *Betula pendula* з розміщенням 1,0x1,0 м. На схилах з кутом нахилу понад 7° можливий розвиток ерозійних процесів, тому сосново-дубові насадження створюються завдяки чергування трьох рядів *Pinus sylvestris* з двома рядами *Quercus robur* на суглинистих варіантах. Насінина під час посадки потрібно мульчувати сумішшю торфу з піском для запобігання утворення ґрунтової кірки. Ці деревні породи мають властивість створювати потужну лісову підстилку із сприятливою дією на водно-повітряні та водно-фізичні властивості ґрунту. На схилах північних і східних експозицій (окрім їх верхніх частин) частку *Quercus robur* можна збільшити до трьох рядів. У нижніх частинах схилів можна висівати жолуді за схемою 1,5x0,5 м. Також у цих екотопах можна вводити чагарники – *Euonymus europaea*, *Frangula alnus*, які покращують едафічні властивості. На південних і західних схилах, де

екологічні умови є жорсткішими, краще вирощувати чисті соснові культури на супісках. Можлива домішка *Sorbus aucuparia* (не більше ніж 20 %). *Betula pendula* на цих схилах можна вирощувати за схемою: 4 ряди сосни, один ряд берези з розміщенням садивних місць 1,5x0,75 м. Ця домішка листяної породи бажана як хороший фітомеліорант, який пришвидшує розкладання лісової підстилки. На горизонтальних поверхнях плосковершинних териконів, ефективним засобом є внесення мінерального добрива під час садіння. Після садіння потрібно провести одноразове дощування на терасах. За умови частого поливу, можливим є створення штучного дернинного покриву на таких поверхнях завдяки висіванню злаків, за ширини смуги висадки від 8 до 10 метрів.

Отже, для запобігання негативному впливу породних відвалів на навколишнє середовище необхідно якнайшвидше відновити на девастованих територіях рослинний покрив. Тому є необхідність з'ясування закономірностей формування та розвитку фітоценозів на порушених промисловістю територіях, а також визначення ролі й можливості використання місцевих видів рослин із широкою екологічною амплітудою для їх фіторекультивації. В умовах Малого Полісся недостатньо дослідженими є питання вивчення екологічної амплітуди доміантних видів рослин, популяційно-екологічні особливості та середовищетворна роль цих видів, на відвалах вугільних шахт для можливості теоретичного обґрунтування їх використання для фіторекультивації. З огляду на ключову роль *Calamagrostis epigeios* на початкових стадіях сукцесії рослинності відвалів і його значні фіторемедіаційні та загалом середовищетворні функції [40, 126, 138, 231, 232], доцільно провести дослідження куничника наземного на територіях девастованих вугільною промисловістю.

РОЗДІЛ 2

РАЙОН, ОБ'ЄКТ І МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1. Характеристика району дослідження

На території України є два вугільних басейни: Донецький та Львівсько-Волинський. Львівсько-Волинський вугільний басейн у межах Львівської і Волинської областей України, а також Люблінського воєводства Польщі охоплює площу близько 10 тис. кв. км. Балансові запаси вугілля становлять приблизно 970 млн. т. Промислове значення мають пласти вугілля потужністю понад 0,6 м, що залягають на глибині від 315 до 535 м. Західноукраїнський гірничодобувний виробничий комплекс добуває вугілля вже понад 60 років. Лише відвалів гірських порід, які виникли внаслідок видобутку вугілля, у Львівській області нагромаджено понад 100 млн. куб. м. Вони займають площу понад 270 га. Тривалий масштабний видобуток вугілля призвів до утворення масштабних підземних порожнин, нагромадження відвалів гірської породи – териконів, різних хвостосховищ тощо. Все це зумовило негативні техногенні зміни в навколишньому середовищі [91, 96, 199, 197].

Львівсько-Волинський вугільний басейн є одним із техногенно навантажених районів. Його географічні межі на території України проходять по таких населених пунктах: Устилуг – Володимир-Волинський – Городок – Радехів – Буськ – Львів – Рава-Руська [12]. На цій території сформувались три вугленосні райони: Південно-Західний (Львів, Жовква), Нововолинський (Володимир-Волинський, Нововолинськ, Устилуг), Червоноградський (Червоноград, Сокаль, Соснівка). Червоноградський гірничопромисловий район містить 70-90 % всіх балансових запасів вугілля і розташований у центральній частині Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну.

На картосхемі (рис. 2.1) подано розташування відвалів Сокальського району Львівської області та тип рекультивації, який на них ведеться.



Рис. 2.1. Розташування відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району і об'єми рекультивації на них: 1 – шахта Степова, 2 – шахта Червоноградська, 3 – шахта Лісова, 4 – шахта Відродження, 5 – шахта Великомоствська, 6 – шахта Межирічанська, 7 – шахта Бендюзька, 8 – шахта Зарічна, 9 – шахта Візейська, 10 – ЦЗФ, 11 – шахта Надія, 12 – шахта Великомоствська № 5.

У Сокальському районі розташовано 12 вугільних шахт ВО “Укрзахіддугілля”, якими розробляється 2-3 вугільні пласти, середня потужність яких становить 1 метр, для цього під об'єкти шахт, промплощадок, під'їзних доріг, відвалів шахтних порід відведено 659 га земель.

Розташування шахт і їх площа на території сільських рад Сокальського району така: Острівська сільська рада: на території розташовані шахти № 1 “ЧГ” – 3,4 га та № 2 “ЧГ” – 25,4 га, разом 28,8 га; Мурованська сільська рада – шахта № 10 “ВМ” – 13,2 га; Ванівська сільська рада – шахта № 10 – 63,8 га; Межирічанська сільська рада: шахти № 1 “ВМ” – 5 га, № 2 “ВМ” – 47,1 га, №

3 “ВМ” – 24,8 га, № 4 “ВМ” – 71,4 га, № 6 “ВМ” – 4,9 га, № 7 “ВМ” – 63,9 га; Сілецька сільська рада: шахти № 4 “ВМ” – 24,8 га, № 5 “ВМ” – 2,2 га, № 6 “ВМ” – 58,0 га, № 7 “ВМ” – 56,3 га, № 8 “ВМ” – 53,1 га, № 9 “ВМ” – 82,0 га, № 10 “ВМ” – 13,0 га; Волсвинська сільська рада: шахти № 2 “ВМ” – 10,3 га, № 5 “ВМ” – 54,7 га, № 7 “ВМ” – 4,1 га, № 9 “ВМ” – 3,5 га. Із відведених земель зайнято під промплощадки 198,1 га, під’їзні дороги – 191 га, відвали шахтних порід – 290 га, інші об’єкти – 293,7 га [75].

Як відомо, відходами вугільної промисловості є порода, яка залишилась після очистки вугілля і складається у відвалах (териконах). Загальна площа земель, зайнята під териконами шахт ВО “Укрзахідвугілля”, поділяється так: терикон шахти № 1 “ВМ” – 63 тис. м², № 2 “ВМ” – 48,3 тис. м², № 3 “ВМ” – 115,4 тис. м², № 4 “ВМ” – 125,8 тис. м², № 5 – 100 тис. м², № 6 “ВМ” – 60,2 тис. м², № 7 “ВМ” – 90 тис. м², № 8 “ВМ” – 65,4 тис. м², № 9 “ВМ” – 59,2 тис. м², № 10 “ВМ” – 10 тис. м², № 1 “ЧГ” – 68,2 тис. м², № 2 “ЧГ” – 40 тис. м². За загальної площі териконів, яка становить 265,9 га, в них на тепер зберігається понад 48,0 млн. м³ породної маси. Щорічний об’єм видаленої шахтами породи змінюється у межах від 1,5 до 2,5 млн т.

Основними породами, які формують відвали, є аргіліти, алевроліти, пісковики та вапняки. Для аргілітів характерним є підвищений вміст Li, V, B, P, Zn, Pb, Bi, Co. Дослідженнями, проведеними Державною геологічною партією (ДГП) "Західукргеологія", встановлено, що сумарне забруднення ґрунтів хімічними елементами (Pb, Mn, Cr, Ni, Mo, U, Cu, Zn, Co та інші) дає змогу поділити їх на дві групи – першу, де перевищення ГДК становить від 4 до 10 разів, і другу – з сумарним забрудненням, де перевищення становить від 10 до 20 разів [192]. Щодо розподілу важких металів на відвалах і довколишніх територіях виявлено, що безпосередньо біля підніжжя териконів шахт спостерігаються максимальні валові концентрації Co, Ni, Mo, V, Ba, Pb у ґрунтах. Максимальні концентрації у ґрунтах As, Zn, Cd, Hg, P поширені навіть на відстані 1-3 км від териконів.

Найбільший вміст Cr зафіксовано безпосередньо біля териконів і на відстані 1-2 км від них. Серед рухомих форм хімічних елементів у ґрунтах виявлено максимально аномальні концентрації Pb, Zn, Cr на відстані 50-300 м від териконів. Найвіддаленіші від териконів максимальні значення вмісту в ґрунтах мають Ni і Mn. Максимальні концентрації рухомих форм Co і Cu зареєстровано на відстані до 1-3 км від териконів. Найвищий коефіцієнт транслокації порода–ґрунт валового вмісту мають Pb, Ni, Mn. Рівень забруднення ґрунтів для більшості елементів на окремих ділянках перевищує в декілька разів гранично допустимі норми, досягаючи для окремих елементів 5-7 ГДК [96]. Унаслідок вимивання і видування цих елементів із крихкої породи відбувається отруєння не лише прилеглих екосистем, а й жителів оточуючих міст і сіл.

Зокрема, на території Сокальського р-ну Львівської обл. досліджено вплив підвищеного вмісту хімічних речовин у природному середовищі на стан здоров'я дітей [207]. Виявлено, що у дітей м. Соснівка, яке знаходиться на відстані 5 км від відвалу ЦЗФ та 1 км від відвалу шахти «Надія», однакову динаміку зміни мікро- та макроелементного складу крові та волосся. За результатами аналізів, порівняно з регіональними нормами, встановлено підвищення вмісту важких металів Cr, Cd, Pb у крові та волоссі, та зменшення у крові хімічних елементів Fe, Cu та Zn – до 1,5 рази, Mn – до 2 разів, а у волоссі дітей – різке зменшення вмісту Fe, Mn та Zn. Ці зміни негативно позначились на здоров'ї дітей [207]. Результати вивчення розподілу важких металів у ґрунтах населених пунктів області, де була підвищена захворюваність дітей на гіпоплазію, та аналізу характеру нагромадження цих металів у продуктах харчування, волоссі, зубах, крові, м'язах, кістках дітей показують, що до 70 % важких металів поступає в організм людей з водою і продуктами харчування, з врахуванням чого і встановлені гігієнічні нормативи для 25 ксенобіотиків, зокрема іонів: ртуті, кадмію, свинцю, миш'яку, міді, цинку, заліза, стронцію, олова, сурми, нікелю, хрому, фтору, алюмінію, йоду [207].

Наявність заліза в золі вугілля та вуглисто-глинистої породи, яка відсипається у відвали, обумовлена наявністю у них сірчанистих його сполук – піриту, марказиту та піротину [52]. У таких сірковмісних осадових породах за наявності на їх поверхні вологи із розчиненим у ній киснем атмосферного повітря відбувається реакція: $2\text{FeS}_2 + 7\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{FeSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$, яка проходить доволі повільно. У присутності ж тіонових бактерій *Thiobacillus ferrooxidans* окислення піриту інтенсифікується та проходить за реакцією $2\text{FeS}_2 + 7,5\text{O}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{Fe}_2(\text{SO}_4)_3 + \text{H}_2\text{SO}_4$. Ці бактерії населяють всі вугільні родовища та мінерали, що містять сірку. Вони не втрачають своєї активності під час замерзання води, переносять високу температуру та витримують величезний тиск. *Th. ferrooxidans* – грамнегативна паличкоподібна бактерія, аероб. Оптимум значення рН середовища 2,0-2,5. Більшість штамів – облігатні автотрофи. Джерелами енергії слугують сульфід- і сульфат-йони (S^{2-} , SO_4^{2+}), елементарна сірка, тіосульфат (S_2O_3). Окрім того, *Th. ferrooxidans* використовують як джерело енергії солі двовалентного заліза, окислюючи Fe^{2+} до Fe^{3+} . М. П. Зборщик та В. В. Осокин встановили, що внаслідок тривалого самонагрівання відвальної породи в ній утворюються сірчаноокислі зони, які складаються з відбіленої безструктурної маси та концентрованої сірчаної кислоти, яка «димить» на повітрі [86, 87]. На стадії окиснення породи, рН становить 2-4. Так, у пробах води із калюж на відвалі ЦЗФ встановлено, що вміст SO_4^{2-} становив понад 5000 мг/дм³ із реакцією середовища 2,8-2,9. У Червоноградському ГПР з 1 м³ терикону, що горить, протягом доби виділяється: 10 кг оксиду карбону, 6,3 кг сірчаного ангідриду, 0,6 кг сірководню й оксидів нітрогену. Під час горіння териконів збільшується і випаровування летких форм ртуті [96]. Встановлено, що на відстані 150 м від породного відвалу кількість пилу досягає 10-15 мг/м³. Під час дослідження повітря на території санітарно-захисної зони ЦЗФ виявлено перевищення гранично допустимих концентрацій шкідливих речовин: пилу в 5,2-7,3, сажі – у 1,5-2,1, діоксиду нітрогену – в 1,5-1,8 раза. Із застосуванням спеціально обладнаних термопар

було показано, що температура на глибині 1,5-3 м у воронці горіння на відвалі сягає 1000-1100 °С [57]. Після припинення експлуатації відвалів, поверхневі осередки горіння досить швидко зникають, однак всередині відвалів горіння продовжується протягом 7-12 років.

Радіоактивне забруднення техносистем є незначним та залежить від умов міграції радіонуклідів (4,5-21,4 мКі/км²), однак воно перевищує рівень геохімічного фону у 3-10 разів. На Львівщині найвищі показники щільності радіонуклідів відзначаються на териконах і хвостосховищах ЧГПР Львівсько-Волинського кам'яновугільного басейну. Відчутна мінливість рівнів радіоактивного забруднення спостерігаються і у межах відвалів. Результати радіоекологічних досліджень показали, що рівень експозиційної дози гірничопромислових об'єктів регіону перевищує фоновий у 1,2-1,6 раза. При тому середній показник радіоактивного забруднення ¹³⁷Cs вищий від фонового у 1,3-1,7 раза, а ⁹⁰Sr – у 2,0-5,0 [202]. У золі середній вміст природних радіонуклідів становить: К⁴⁰ – 265 Бк/кг, Ra²²⁶ – 240 Бк/кг, Pb²¹⁰ – 930 Бк/кг, Po²¹⁰ – 1700 Бк/кг, Th²³² – 70 Бк/кг, Th²²⁸ – 110 Бк/кг, Pa²³⁰ – 130 Бк/кг [202].

Увесь субстрат відвалів є великозернистим, що спричиняє значну водопроникність і практично відсутність водопідіймальної здатності [27]. Рельєф відвалів є також аномальним для прилеглих територій, характеризується висотою понад 60 м над рівнем місцевості, крутизна схилів може становити понад 45°. Що спричиняє контрасти у поступленні сонячної радіації, змінюється вітровий режим, тобто створюється особливий мікроклімат, який відрізняється від загальних кліматичних умов місцевості. Формуються такі елементи рельєфу: підніжжя, тераса, схил, вершина, яким характерні специфічні мікрокліматичні умови.

Едафічні умови досліджуваних територій відвалів шахт, як видно з вищесказаного, є несприятливими для росту більшості рослин і самозаростання субстратів відвалів трав'яними рослинами відбувається

переважно внаслідок поселення та вегетативного розмноження піонерного виду куничника наземного.

Для виконання поставлених завдань, основні дослідження еколого-популяційних властивостей *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та його середовищотворної ролі проводили на території відвалів Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» (ЦЗФ) – сформований відвал, шахти “Надії” – рекультивованій, та відвал шахти “Візейська” – природно зарослий, які входять до складу Червоноградського гірничопромислового району (рис. 2.2).



Рис. 2.2. Супутникове фото відвалів 1) шахти “Візейська” 2) Центральної збагачувальної фабрики 3) шахти “Надії”. Фото зроблено у програмі “Google Планета Земля”.

Територія досліджень належить до Рава-Русько-Радехівсько-Бродівського геоботанічного району Малополіського округу. Рослинний покрив на основній площі однорідний за складом лісів, лук і боліт. Тут переважають соснові, дубово-соснові, грабово-дубово-соснові ліси, поширені переважно заплавні луки, менше материкові. Серед заплавних лук

переважають справжні різнотравно-злакові луки. Болота займають в основному широкі долини алювіально-недіяльних річок і приток головних річок. У ґрунтовому покриві найрозповсюдженішими є дерново-підзолисті піщані ґрунти, які характеризуються малим вмістом гумусу (0,6-1,3 %), слабкою насиченістю основами, кислою реакцією (рН – 5,33-6,14) та незначною кількістю рухомих поживних речовин. Ці ґрунти часто підстелені на глибині 1,0-1,5 м крейдовим мергелем або суглинками. Ґрунтовий профіль не має чіткої диференціації на горизонти. Гумусовий горизонт неглибокий, не перевищує 15-18 см. Колір його ясно-сірий, за складом пухкий, розсипчастий й безструктурний. Елювіальний горизонт слабо виражений, трапляється у вигляді ясно-жовтого піску з білястими плямами кремнезему. Ілювіальний горизонт теж виражений слабо та представлений зцементованим жовтим піском із червоно-бурими псевдофібрами. Ґрунтоутворні відклади починаються на глибині 85-105 см у вигляді однорідного піску [137]. Верхні шари ґрунту містять мало вологи, яка швидко випаровується.

За геоморфологічним поділом територія Червоноградського гірничопромислового району належить до підобласті Поліської акумулятивної рівнини, району внутрішньої акумулятивної рівнини Верхнього Бугу і Стиру, підрайону акумулятивної рівнини Рати. Слабкий ухил місцевості і наявність водонепроникних відкладів крейди сприяють заболочуванню. Клімат атлантико-континентальний, який характеризується значною кількістю опадів, м'якими зимами з частими відлигами і нестійким сніговим покривом, помірно теплим літом, без стійких посух і суховіїв. Гідромережа регіону створена річкою Західний Буг та її лівими найбільшими притоками Ратою та Солокією, які перебувають у зоні впливу гірничих підприємств, Центральної збагачувальної фабрики, водонакопичувачів, мулонакопичувачів, хвостосховищ і це все є потенційним джерелом забруднення поверхневих вод регіону. У результаті проведених досліджень із вивчення токсичності вод із ставків накопичувачів шахтних вод і ставка-шламовідстійника ЦЗФ та поверхневих вод Червоноградського

гірничопромислового району [64-66] встановлено, що токсичність води зі ставків-накопичувачів шахтних вод і ставка-шламовідстійника ЦЗФ характеризується “вищим за середній” рівнем токсичності (за середніми значеннями) і є одним із джерел забруднення не лише природних водойм, а й ґрунтів і підземних вод, оскільки роботи з їхньої ізоляції проведені не у повному обсязі.

Найбільші притоки річки Західного Бугу – Солокія та Рата. Річка Рата є лівою притокою Західного Бугу. Ці річки перебувають у зоні впливу гірничих підприємств, мають “середній” та “вище середнього” рівні токсичності. Води р. Рати мають “вищий” рівень токсичності, оскільки на них впливає більша кількість гірничих підприємств регіону.

Відвал ЦЗФ “Червоноградська” знаходиться на відстані п'яти кілометрів від м. Соснівка. Він відсипався як трапецієподібний і схили першого ярусу мають понад 20 років, пізніше на ньому почали формувати тераси. Вік відвалу становить після відсипання приблизно 15-20 років, хоча часткове досипання породи проводиться і надалі. За мінералогічним складом у породі відвалу пересічно: аргіліту – 97 %, алевроліту 17-28 %, пісковіку – 2-20 %, вугілля – 1-17 % [12]. Висота відвалу 65 м, площа понад 76 га, при загальному об'ємі більше 12 млн тонн, складається із 5 ярусів, які відділяються терасами. Велика площа відвалу і наявність схилів з нахилом понад 45 % зумовлюють великі об'єми водних стоків – до $0,118 \times 10^6$ м³/рік з розрахунку 0,00375 м³/с [12], що призводить до забруднення навколишньої території, підземних і поверхневих вод. Колір породних субстратів червоний (перегоріла порода зі зміненими структурно-текстурними особливостями, різноманітних відтінків, що свідчить про складні літологічні та петрографічні перетворення, які відбувалися у процесі термального “метаморфізму”) і чорний (неперегоріла, для якої характерний природний чорно-сірий колір) [19].

На рисунку 2.4 подано фотографію процесів водної ерозії на схилі відвалу ЦЗФ.



Рис. 2.3. Ерозійні процеси на схилі відвалу Центральної збагачувальної фабрики.

Навколо відвалу сформована дренажна канава глибиною та шириною понад 1 м. Місцями на поверхні спостерігаються вицвіти солей та сірки (рис. 2.5).



Рис. 2.4. Нагромадження солей і сірки у підніжжі відвалу Центральної збагачувальної фабрики.

Процес природного заростання розпочався із північної експозиції у підніжжі відвалу, де на цей час сформувалось рослинне угруповання із *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L. з домішкою *Pinus sylvestris* L. Поодинокі трапляється *Quercus robur*, у трав'яному ярусі домінантом є *Calamagrostis epigeios* (рис. 2.6).

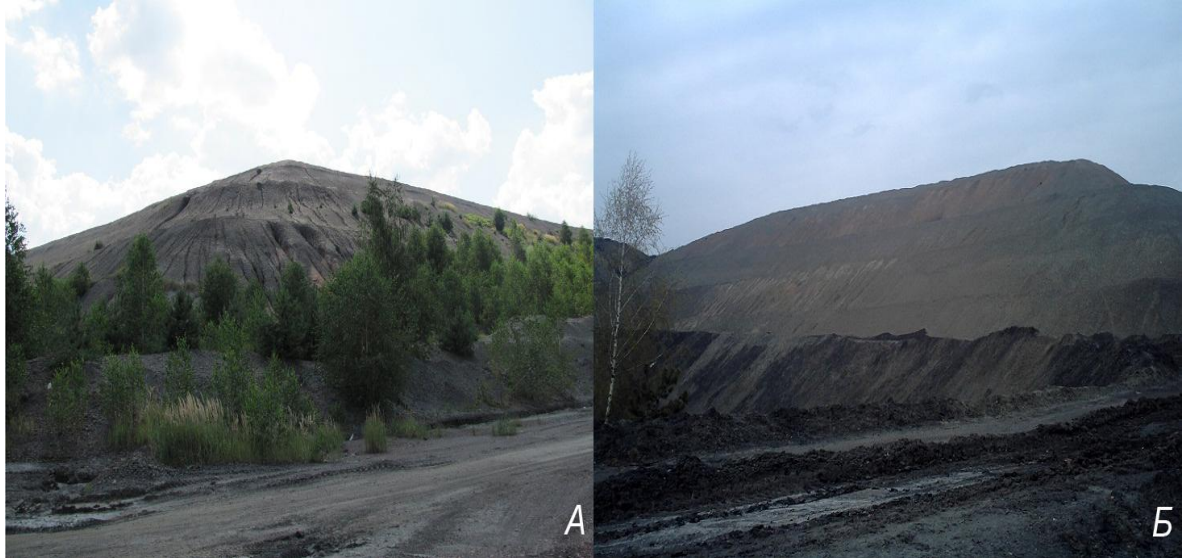


Рис. 2.5. Відвал Центральної збагачувальної фабрики. А) південна експозиція Б) північна експозиція.

Тераси відвалу заростають *Pinus sylvestris* і *Calamagrostis epigeios*. Поруч відвалу формують новий, який з'єднає відвал ЦЗФ та відвал шахти «Візейська» (рис. 2.7).



Рис. 2.6. Плато нового терикону, який формують між відвалами Центральної збагачувальної фабрики і шахти «Візейська».

Відвал шахти «Візейська» розміщений поруч із шахтою і відвалом ЦЗФ. Геохімічне та радіоактивне забруднення відвалу показано на рисунку 2.8.

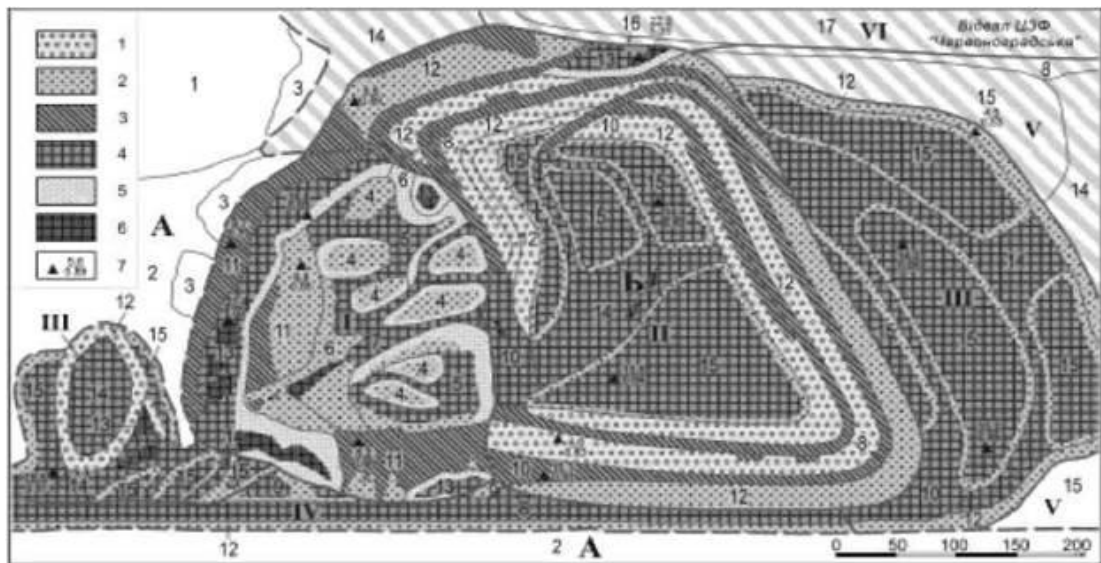


Рис. 2.7. Геохімічне та радіоактивне забруднення терикону шахти «Візейська». Умовні позначення: Ландшафтно-геохімічні зони (в дужках – відношення сумарного геохімічного забруднення по 8 хімічних елементах (Co, Cu, As, Ni, Pb, Cr, Zn, Mn) до ГДК): 1 – менше 5; 2 – 5,0-8,0; 3 – 8,1-12,0; 4 – 12,1-16,0; 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 [92].

Висота відвалу 30 м, площа основи понад 10 га. У 1960 р. почалося його відсипання як конусного, але зараз це агломерація перегорілої та неперегорілої породи досить умовної форми. Вік відвалу після завершення його відсипання становить 30-35 років.

Із східного боку відбулося насипання породи та з'єднання відвалу із відвалом ЦЗФ. Дорога, яка веде на верхню частину відвалу, частково зруйнована та посічена впереміш насипами і пониженнями. Пологі схили змінюються стрімкими. Верхня частина, схили і підніжжя мають ділянки самозаростання *Betula pendula*, *Populus tremula*, рідше *Pinus sylvestris* із домінуванням у трав'яному ярусі *Calamagrostis epigeios*. Південний схил відвалу зазнає впливу лінійної ерозії (глибина жолобів, на цей час, сягає 1,5 м).

Відвал шахти “Надія” розміщений біля м. Соснівка. Відвал складений перегорілими та неперегорілими породами, на деяких ділянках спостерігалось явище самозагорання субстрату відвалу (рис. 2.9).



Рис. 2.8. Самозаймання породи на відвалі шахти “Надія”.

З двох боків відвал оточений сосновими насадженнями, з інших – дачними ділянками. Відвал відсипаний поруч із промисловими спорудами шахти. Експлуатується із 1962 р. Дотепер продовжується насипання породи на вершині відвалу. Вік відвалу після відсипання основних елементів мезорельєфу становить 25-30 років. Висота 42 м, площа основи – 12 га [27].

На спечених шматках породи спостерігаються прошарки сірки та вицвіти солей. На сьогодні проводиться рекультивація відвалу нанесенням шару піску для зменшення процесів горіння. Верхня частина відвалу поділена насипами та заглибинами, у яких є ділянки самозаростання. Бічні поверхні відвалу зазнають впливу лінійної ерозії; особливо порушений південний схил. Північно-східний схил в нижній, і частково, у середній частинах має дві нечітко виражених тераси. На рекультивованих схилах, терасах і вершині сформувались трав’яні фітоценози із домінуванням у трав’яному ярусі *Calamagrostis epigeios*.

2.2. Об'єкт і методики досліджень

Об'єктом досліджень був куничник наземний (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) на техногенних відвалах шахт і збагачувальної фабрики Червоноградського гірничопромислового району.

C. epigeios – багаторічна, світлолюбна, сіро-зелена рослина з міцним, довгим, повзучим, галузистим кореневищем. Широко розповсюджена в лісовій та лісостеповій зонах. Стебла прямостоячі, висотою 60-150 см. Листки широкі (3-10 мм завширшки), плоскі або вздовж складені, жорсткі. Суцвіття – густа багатоколоскова волоть (20-30 см завдовжки). Плід – зернівка. Цвіте в червні-серпні. Проростає на різних типах ґрунтів з різним характером зволоження, надає перевагу легким піщаним субстратам. У руслах рік часто утворює куничникові угруповання. У межах природного ареалу є субдомінантом ряду злакових асоціацій. Бере участь в утворенні трав'яного покриву сухих і свіжих борів, суборів та сугрудків [90]. Рослина володіє широкою екологічною амплітудою, невибаглива до ґрунтів, вологи, добре витримує засолення і завдячуючи великим підземним кореневищам цей вид вегетативно рухливий, швидко захоплює первинні і вільні вторинні субстрати, де часто переважає на кореневищній стадії їх заростання. Стійкий до хімічних елементів, у тому числі до важких металів [126, 138].

Дослідження проводилися протягом 2009-2014 років, застосовували польові (стаціонарні та маршрутні) й лабораторні методи. Стаціонарні дослідження здійснювали в угрупованнях *C. epigeios*, які розташовані на різних відвалах, і розрізняються за ступенем природного заростання та рекультивації. Класифікацію сукцесії рослинності на відвалах прийнято за У. Б. Башуцькою [27] із власними доповненнями, зокрема, виділяли дві стадії сукцесії для *C. epigeios*: перша стадія – злакова (кореневищна), де цей вид є домінантом у рослинному угрупованні, та друга – деревно-злакова стадія. Дослідження фізіолого-біохімічних параметрів проводили у рослин, які

росли на субстратах відвалу, контролем слугували рослини, які відібрані на відстані 2 км від нерекультивованого відвалу.

Визначення фітотоксичності субстратів відвалів вугільних шахт проводили за О. А. Берестецьким [31] – методом пророщування на субстратах протягом 7 діб редису посівного (*Raphanus sativus* L.). Для цього проби субстрату поміщали в чашки Петрі, зволожували дистильованою водою до сметаноподібного стану, вирівнювали поверхню та наносили на неї шар сухого стерильного піску товщиною 0,5 см. Чашки закривали і витримували одну добу за кімнатної температури для дифундування токсинів у пісок, після чого висівали насіння. Вологість субстратів із піском була в межах 70-80 %. Контролем слугував стерильний пісок, зволожений до 70-80 % від повної вологоємності. Насіння пророщували за 23-25 °С в темноті протягом 7 діб (повторність досліду 3 x 100 насінин). Визначали схожість насіння та морфометричні параметри проростків – довжину кореня і пагона та їх масу. Фітотоксичний ефект (ФЕ, %) розраховували за формулою [125]:

$$FE = \frac{L_0 - L_x}{L_0} \cdot 100, \text{ де}$$

L_0 – середня довжина кореня рослини, вирощеної на контрольному середовищі; L_x – середня довжина кореня рослини, вирощеної під впливом токсичного фактора.

Для вивчення алелопатичного впливу виділень куничника наземного відпад надземної маси куничника та субстрати із перегорілої та неперегорілої порід відвалу відбирались навесні 2010 року. Екстракцію з проб проводили дистильованою водою у співвідношенні 1:5 протягом 24 годин. Для збору кореневих виділень рослини викопували, відмивали від ґрунтових часточок, пересаджували у пісок та дорощували у вегетаційній камері 7 діб. Поливали рослини дистильованою водою і фільтрат, який збирався у піддоні, використовували у досліді. Насіння сосни звичайної розкладали в чашки Петрі на фільтрувальний папір і приливали досліджувані розчини – екстракти з відпаду, порід та фільтрат корневих виділень, контролем слугувала

дистильована вода (повторність досліду 3 x 50 насінин). Пророщування здійснювали у темному термостаті за температури 22 °С протягом 14 діб, після чого визначали кількість пророслого насіння та морфометричні показники проростків щодо контролю.

Також для аналізу алелопатії використовували індекс алелопатичного впливу (ІАВ) у відсотках, який розраховували за створеною нами формулою:

$$IAB = 100 - \left(\frac{\sum_{i=1}^N X_i}{\sum_{i=1}^N K_i} \cdot 100 \right), \text{ де}$$

X_i – середнє значення i -ої ознаки сосни звичайної за впливу певного виділення куничника наземного, K_i – середнє значення i -тої ознаки сосни звичайної за умов росту на дистильованій воді, N – кількість ознак.

Для визначення пігментів фотосинтезу зважували 0,5 г листків, розтирали їх у фарфоровій ступці з 10 мл 100 % 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, 644, 450 та 445 нм [149]. Обрахунок вмісту пігментів фотосинтезу проводили за формулами Д. Веттштейна [58].

Дослідження ультраструктурних змін хлоропластів у клітинах листків *S. epigeios* здійснювали їх фіксацією в 1,5 % розчині OsO_4 у какодилатному буфері (рН 7,2) протягом 180 хв за 0-4 °С. Після чого фіксовані клітини зневоднювали у розчинах збільшуючи концентрації етанолу і пропіленоксиду та переносили в епоксидну смолу Епон-812. Ультратонкі зрізи клітин отримували на ультрамікросомі УМТП-6 і контрастували плумбум цитратом за Е. Рейнальдсом [246]. Перегляд і фотографування зразків здійснювали на електронному трансмісійному мікроскопі ПЕМ-100 за прискорювальної напруги 75 кВ і збільшенні у 4000 разів. Вимірювання розмірів хлоропластів проводили, використовуючи програму UTHSCSA Image Tool 3.0.

Визначення суми фенольних сполук (ФС) проводили з використанням реактиву Фоліна-Деніса. До 1 мл дослідного розчину додавали 6,5 мл дистильованої води і 0,5 мл реактиву Фоліна-Деніса, а через 3 хвилини ще 1 мл насиченого Na_2CO_3 і доводили до 10 мл дистильованою водою. Ретельно перемішували і через 30 хвилин вимірювали оптичну густину за $\lambda = 730$ нм. Кількісний вміст фенольних сполук розраховували за калібрувальною кривою, побудованою за хлорогеновою кислотою [85].

Визначення розчинних жирів проводили екстрагуванням диетиловим ефіром в апараті Сокслета за методом С. В. Рушковського [79], вміст водорозчинних вуглеводів – фотометричним методом за Б. П. Плешковим [165]. Вміст білка визначали за методом В. Бредфорда [149].

Для визначення вмісту амінокислот та азотовмісних нінгідринпозитивних сполук 1 г наважки рослинного матеріалу розтирали в рідкому азоті, заливали 5 мл хлороформу для екстракції пігментів. Екстракцію проводили протягом 12 год за температури 4 °С. Після екстракції пігментів хлороформ зливали, а залишок висушували у потоці холодного повітря. До гомогенату доливали 5 мл літєвого буферу рН 2,2 такого складу: $\text{LiOH} \times \text{H}_2\text{O}$ – 5 г, HCl 37 % – 9 мл, рідкий фенол – 1 мл, тїодїетанол – 20 мл (для запобігання руйнуванню сірковмісних амінокислот), вода – до 1 л. Після настоювання у буфері 12 год за температури 4 °С гомогенат центрифугували при 6000 об/хв. Осад відкидали, а до супернатанту додавали 40 мг сульфосаліцилової кислоти для осадження білків, перемішували і залишали на холоді на годину, після чого центрифугували. Отриманий супернатант застосовували для визначення вмісту АК на амінокислотному аналізаторі L-6001 фірми „Biotronik”, використовуючи програму для фізіологічних рідин [78, 165].

Фітоценологічна характеристика рослинних угруповань за участю *S. epigeios*, складена на основі геоботанічних описів пробних ділянок відповідно до принципів флористичної класифікації Браун-Бланке в сучасному викладенні [229].

Вікові стани особин куничника наземного визначали на основі кількісних і якісних показників відповідно до методик, які ґрунтуються на визначенні морфобіологічної неоднорідності особин в онтогенезі [41, 179-181, 209-211]. За облікову одиницю приймали парціальне утворення.

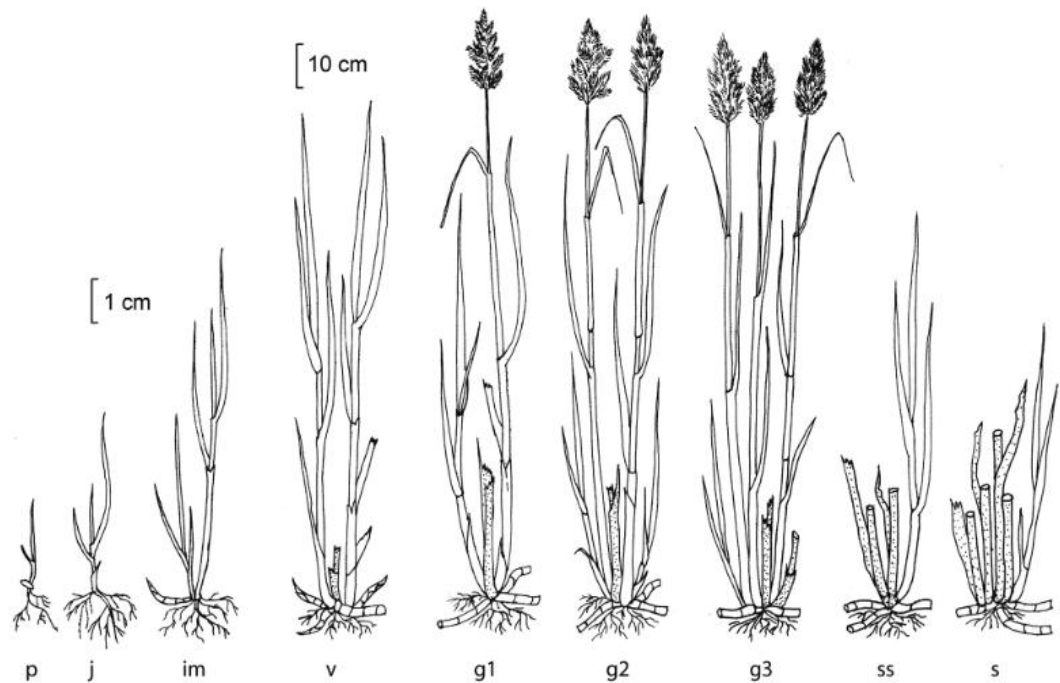


Рис. 2.9. Вікові стани куничника наземного *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за Н. Г. Улановою [210].

Проростки (p) – однопагонові рослини, до 5 см заввишки, з одним або двома вузьколінійними листками. Коренева система утворена зародковим і декількома додатковими коренями. Зв'язок з зернівкою зберігається. Формування ювенільних ознак продовжується протягом 1-2 місяців. У ювенільних особин (j) кількість листків збільшується до 3-5. Додаткові корені утворюють мичкувату кореневу систему. Головний корінь відсутній. Тривалість вікового стану 3-6 місяців. Іматурні особини (im) з 1-2 пагонами. Листки більші, порівняно з розмірами листків ювенільних особин. До цього вікового стану приурочено початок формування підземних кореневищ. Висота рослин до 35 см. Перехід у віргінільний стан відбувається протягом 2-3 місяців. Віргінільні особини (v) характеризуються наявністю до п'яти нормальних за розміром і формою листків. Вегетативних пагонів у кущі 1-4.

Завдяки розвитку підземних кореневищ формується система зачатків парціальних кущів цього й наступного років. Морфометричні показники особин насінневого й вегетативного походження однакові. Час існування віргінільного вікового стану становить від 5 місяців до 2 років.

Молоді генеративні особини (g1) вегетативного та насінневого походження утворюють щільний кущ з 1-3 вегетативних та 1, інколи 2, генеративних пагонів. Діаметр дернини до 2 см. Особина формує до 5 підземних кореневищ, які забезпечують зв'язок з парціальними дочірніми кущами. Тривалість цього вікового стану 1-2 роки. Для середньовікових генеративних особин (g2) характерна наявність у дернині 2-3 вегетативних і до 15 генеративних пагонів. У дернині й у системі підземних кореневищ відбувається нагромадження залишків відмерлих пагонів минулих років. Тривалість цього вікового стану 2-3 роки. Старі генеративні особини (g3) відзначаються переважанням в кущі залишків відмерлих пагонів минулих років. Кількість вегетативних і генеративних пагонів зменшується до 1-2 і 1-3, відповідно. Підземних кореневищ у старих генеративних особин не більше 2-4. Окремі вегетативні надземні пагони є менших розмірів з листками ювенільного типу.

Протягом 1-2 років стара генеративна особина переходить у субсенільний стан (ss), для якого характерна, перш за все, відсутність генеративних структур. Надземних вегетативних пагонів 1-2. Вегетативне розмноження відсутнє. Час існування цього вікового стану 1-2 роки. Сенільні особини (s) мають один вегетативний пагін ювенільного типу, з 2-3 вузьколінійними листками. Час існування особини не більше одного року.

Підрахунок чисельності та вивчення вікової структури ценопопуляцій проводили на двадцяти пробних ділянках. Розмір ділянки вибирали, оцінюючи чисельність ценопопуляцій, прагнучи до такого розміру, щоб щільність рослин в середньому, по можливості, становила не менше 3-4 особини на ділянку. Використовували як метод трансект, так і випадковий спосіб закладання пробних ділянок. Щільність визначали як чисельність,

розраховану на одиницю площі. Насінневу продуктивність досліджували за методикою І. В. Вайнагія [50]. Лабораторну схожість насіння куничника наземного досліджували, пророщуючи його у чашках Петрі на різних субстратах (фільтрувальному папері, піску, перліті, субстраті відвалу), змочених дистильованою водою, в умовах кімнатної температури 22,5° та освітлення 4-6 тис. лк. [126]. Особливості проростання насіння в польових умовах вивчали на 20 пробних ділянках (100 см²) де підраховували кількість пророслого насіння. Нагромадження надземної частини фітомаси в угрупованнях *C. epigeios* визначали у середині періоду сезонної вегетації (липень) методом укісних квадратів (1 м²), згідно з методичними вказівками у десятикратній повторності [186]. Зразки сортували за віковими групами, висушували до постійної маси і зважували. Урахування запасів підземних органів вегетативного розмноження для кореневищних видів проводили на основі методики М. С. Шалита [216]. Як тест для визначення деструкції клітковини використовували лляну тканину. Скляні пластини, обгорнуті в зволожену дистиллятом лляну тканину, закопували у субстрат на глибину залягання кореневищ (до 10 см) куничника наземного на різних елементах мезорельєфу та рослинних угрупованнях відвалів (час експозиції 1 рік). Кількість зруйнованої тканини визначали за різницею маси зразка тканини до і після досліду. Для виділення целюлозоруйнівних бактерій використовували середовище Гетчинсона, їх кількість визначали методом обростання часточок субстрату [201].

Фізичні та водно-фізичні параметри субстратів відвалів визначались ваговими та розрахунковими методами [59]. Для визначення гранулометричного складу субстратів відбирали проби порід відвалу та субстрату під заростями *C. epigeios* із різних місць терикону. Кожну пробу масою 1-2 кг відбирали з шару субстрату на глибину поширення кореневища куничника (0-10 см), ретельно перемішували і відбирали середню пробу (300-400 г). На відстані 2-10 м від першої центральної прикопки аналогічно відбирали ще чотири проби. Потім усі п'ять проб зсипали разом,

перемішували і відбирали змішаний зразок масою 1 кг. Матеріал просушували на повітрі та просіювали крізь сита з різними діаметрами отворів. Субстрат на ситах з отворами більше 1 мм становив кам'янисту частину (скелет породи), яку поділяли на камінь (> 3 мм) та гравій (1-3 мм), а частинки субстрату, які пройшли через сито з отворами 1 мм, – фракцію дрібнозему [77, 94, 173]. Далі аналізували відібраний дрібнозем (фракція $< 1,0$ мм).

Актуальну кислотність (рН) визначали потенціометрично у водній витяжці за співвідношення ґрунт: розчин (1:5), вміст гумусу визначали за методикою Тюріна спектрофотометричним методом [5, 154].

Для визначення вмісту важких металів проби субстрату спалювали у фарфорових тиглях у муфельній печі за температури 400-450 °С протягом 4-6 год до отримання однорідного кольору золи. Після цього проби обробляли сумішшю HCl та HNO₃ у співвідношенні 3:1. Вміст важких металів у частинах рослин визначали у середній пробі, яку формували із відібраної у п'яти місцях у межах пробної ділянки. Проби повітряно-сухого рослинного матеріалу озоляли за температури 450 °С. Отриману золу після зважування розчиняли розведеною (1:3) HNO₃. Валовий вміст металів визначали атомно-абсорбційним методом на спектрофотометрі C115M1 у пропан-бутановому полум'ї з використанням дейтерієвого коректора неселективної абсорбції [139]. Вміст сірки у золі рослин визначали спектрофотометричним методом [149].

Польову вологість і температуру субстрату з-під куничника наземного на різних елементах мезорельєфу відвалу вимірювали на глибині залягання кореневища (0-10 см) приладом TDR Soil Multimter FOM/mts (licence: Polish Ac. of Sciences. Inst of Agrophysics Lublin). У межах пробної ділянки робили 10 вимірів, їх проводили о 12.00-13.00 годині. Виміри здійснювалася подекадно.

Отримані дані опрацьовували методами статистичного аналізу [84, 118]. Всі отримані результати є точними та достовірними, для фізіологічних

експериментів похибка дослідів не перевищувала 5 %, для екологічних – 15 %, що є допустимою межею.

Отже, вивчення впливу *C. epigeios* на едафотоп визначали класичними методиками, що використовуються в ґрунтознавстві. Для визначення основних фізіологічних та популяційних параметрів використані як традиційні методи, які були модифіковані під особливості досліджуваного виду, так і сучасні фізико-хімічні методи.

РОЗДІЛ 3

ФІТОТОКСИЧНІСТЬ СУБСТРАТІВ Й ОЦІНКА ЕКОЛОГО-ФІЗІОЛОГІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ КУНИЧНИКА НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ ЧЕРВОНОГРАДСЬКОГО ГІРНИЧОПРОМИСЛОВОГО РАЙОНУ

Відвали вугільних шахт є техногенними утвореннями із аномальними для прилеглих територій рельєфом і типом субстрату. Характеризуються низкою особливостей, яка відрізняє їх від навколишньої місцевості: зволоженням, хімізмом субстрату (вмістом мінеральних та органічних речовин у ньому, важких металів, засоленістю, кислотністю, виділенням під час окиснення субстрату токсичних газів), що негативно відображається на процесах відновлення рослинного покриву. Виникнення фітотоксичності породних відвалів зумовлена низкою факторів: легкою доступністю важких металів, окисненням сірковмісного мінералу (піриту) за участі тіонових бактерій з утворенням сірчаної кислоти, а також утворенням токсичних газів [203]. Унаслідок цього процес формування едафотопу та заселення його рослинами триває десятки років і характеризується такими часовими стадіями: окиснення, вимивання, масового поселення рослин [105].

3.1. Фітотоксичність субстратів

Оцінити токсичність субстрату відвалів є досить складно, адже його негативний вплив є комплексним. Аналізувати кожен із негативних факторів і порівнювати їх з гранично допустимими концентраціями є дуже складною роботою, що не повністю відображає токсичний вплив техногенно субстрату, адже він є багатофакторним. Для тестування еколого-геохімічних змін в екосистемах використовують вищі рослини (дерева, трави, кущі) [71, 39]. Серед інших методів, використовують тест-системи стерильності пилку рослин-біоіндикаторів [33]. Методи біоіндикації для характеристики

едафотопу відвалів мають певні недоліки, адже ними можна характеризувати лише ту територію, яка є середовищем існування живих організмів, тоді як на відвалах вугільних шахт на первинних етапах формування едафотопу рослинність відсутня.

Оцінити ступінь токсичності можна методами біотестування едафотопу [65, 93]. Принцип цих методів базується на чутливості живих організмів до дії екзогенних факторів. Суть методу полягає у визначенні впливу досліджуваних речовин на спеціально вибрані організми в стандартних умовах з реєстрацією різних поведінкових, фізіологічних чи біохімічних тест-реакцій. Тест-реакцію, або (тест-функцію) визначають як одну із закономірно виникаючих реакцій відповіді тест-системи на дію комплексу зовнішніх факторів [123]. Так, у рослин, які ростуть на ґрунтах, забруднених важкими металами, сповільнюється процес елонгації коренів та інгібується їхній ріст загалом. Фітотоксини можуть здійснювати значний вплив на рослинні клітини, їх фізіолого-біохімічні процеси, хімічний склад, що може призвести до зниження продуктивності та порушення фітосанітарного стану ґрунтів. Фітотестування є інформативним, високочутливим інтегральним методом біотичної індикації, який дає змогу якісно оцінити фітотоксичність ґрунтів [121]. Для такого аналізу використовуються різні тест-культури (мікроорганізми, рослини, тварини), що реагують на найнесприятливіші зміни у ґрунті, воді чи повітрі [150]. Найкращі результати отримують внаслідок багатофункціонального (наприклад: листки, корені, пагони) аналізу. Зокрема, у нашій роботі використано як тест-культуру редис посівний (*Raphanus sativus* L.), який характеризується високим рівнем чутливості насіння до токсичних речовин, у тому числі важких металів, і аналіз схожості та величини морфометричних показників проростків дає змогу використовувати його для визначення сумарної токсичності ґрунту [175].

Для характеристики фітотоксичності едафотопів відвалів на різних стадіях розвитку були визначені окремі їх показники – зольність, рН, вміст органічного Карбону та важких металів (табл. 3.1).

На підставі результатів дослідження співробітників Донецького ботанічного саду НАН України [105] показано, що стадія окиснення характеризується високою кислотністю (рН 3-4) та значним вмістом водорозчинних солей (до 1,5 %), що і підтверджується нашими дослідженнями на відвалах ЧГПР.

Під час формування едафотопу на відвалах зменшується зольність та вміст важких металів у субстраті, що пов'язано із впливом кліматичних чинників на стадії вимивання та перерозподілом у системі субстрат/рослина на стадії масового поселення рослин (загальне проективне покриття рослинного покриву становить 50-70 %). Збільшується показник рН (від 3,31 до 5,50), а також вміст органічного Карбону (від 0,11 % до 1,97 %) внаслідок деструкції відмерлих решток рослин, які поселилися на цій території. Одним із критеріїв оцінки фітотоксичності субстрату за використання методу біотестування є схожість насіння та морфометричні показники рослин, який навіть на рівні візуального спостереження відображає токсичність того чи іншого субстрату. Найбільший фітотоксичний вплив спричиняв субстрат породного відвалу шахти „Надія” на стадії окиснення – насіння редису не проростало. На стадії вимивання субстрату (породний відвал ЦЗФ) проростало лише 34 % насіння на перегорілій породі, та 57 % – на неперегорілій порівняно з контролем (табл. 3.2). Значно токсичніший вплив перегорілої породи, порівняно з неперегорілою, зумовлений різним вмістом рухомих форм важких металів [96]. Найменш токсичним (проростання насіння 94 %) виявився субстрат на стадії масового поселення рослин. За величиною морфометричних показників пагона та кореня спостерігалися відмінності. На перегорілій породі формування пагона не відбувалося, на неперегорілій породі його довжина та маса були меншими за контрольні та становили $0,50 \pm 0,03$ і $7,40 \pm 0,40$ відповідно. Найбільші показники

Таблиця. 3.1

Характеристика едафотопу на різних стадіях його формування

Стадія формування едафотопу	Зольність, %	Валовий вміст важких металів (мг/кг повітряно-сухого субстрату)						рН	Вміст орг. Карбону, %
		Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe		
Окиснення	94,8±1,4	62,1±3,3	1,13±0,02	1052,3±13,9	49,1±4,1	226,1±3,2	7234±193	3,31±0,12	0,11±0,01
Вимивання (неперегоріла порода)	84,1±1,3	31,4±2,5	0,31±0,02	377,5±27,4	13,8±2,0	173,1±10,3	3973±162	3,91±0,14	1,44±0,02
Вимивання (перегоріла порода)	94,2±1,6	26,9±0,1	0,41±0,01	367,8±2,7	10,9±1,2	132,1±1,9	6452±198	4,80±0,16	0,14±0,01
Масового поселення рослин*	83,5±1,7	15,9±1,3	<0,05	32,5±3,3	13,7±2,1	6,8±0,2	1890±121	5,50±0,14	1,97±0,08

*Примітка: загальне проективне покриття рослинного покриву становить 50-70 %.

довжини кореня та його маси було відзначено на стадії масового поселення рослин (довжина – $1,68 \pm 0,05$ см, маса – $5,20 \pm 0,33$ мг), порівняно з контролем, і зменшувалася тою чи іншою мірою на перегорілій та неперегорілій породах на стадії вимивання.

Таблиця. 3.2

Проростання насіння та морфометричні показники редису посівного (*Raphanus sativus* L.) на субстратах породних відвалів

Стадія формування едафотопу	Кількість пророслих насінин (шт)		Довжина пагона (см)	Маса пагона (мг)	Довжина кореня (см)	Маса кореня (мг)
	M±m	% до контролю	M±m	M±m	M±m	M±m
Контроль	54,33±1,20	100	0,82±0,03	12,40±0,62	1,25±0,06	3,50±0,24
Окиснення	0	0	0	0	0	0
Вимивання (неперегоріла порода)	31,00±1,15	57	0,50±0,03	7,40±0,40	0,97±0,04	1,80±0,20
Вимивання (перегоріла порода)	18,33±0,88	34	0	0	0,40±0,18	1,90±0,18
Масового поселення рослин*	51,00±0,58	94	0,62±0,06	11,50±0,34	1,68±0,05	5,20±0,33

*Примітка: загальне проективне покриття рослинного покриву становить 50-70 %.

На стадії окиснення субстратів зафіксовано 100 % фітотоксичний ефект, на стадії вимивання він становив у середньому 68 % для перегорілої породи та 22 % – для неперегорілої. Головними чинниками підвищення показника фітотоксичного ефекту досліджуваних територій відвалів можна вважати високу кислотність субстратів, значний вміст важких металів. На стадії масового поселення рослин ці показники зменшуються, що сприяє проростанню та росту рослин.

3.2. Оцінка екологічної амплітуди кунічника наземного

Визначення границі толерантності видів, які формують ядро автотрофного блоку у ході сукцесії, до мінливих умов довкілля, є дуже важливим для їх використання під час рекультивації відвалів. Цей підрозділ присвячений розкриттю меж пристосування *S. epigeios* при заселенні відвалів вугільних шахт і відвалів родовищ самородної сірки (для порівняння), які відрізняються едафічними властивостями. Для цього в місцях поширення кунічника наземного проаналізували такі показники субстрату: рН, вміст органічної речовини, водний режим та аерацію. Проведено порівняльний аналіз результатів отриманих нами із даними літератури, у яких подано відомості про сукцесію рослинності техногенних відвалів родовищ самородної сірки Передкарпаття [40].

Відвали вугільних шахт сформовані в основному алевролітами та аргілітами, де скелетна частина субстрату може сягати 96,4 %, а дрібнозем (фракція на ситі <1 мм) – лише 3,6 %, тобто аерація шахтних порід є досить значною, а вміст у них вологи – малий внаслідок провальної водопроникності та відсутності водопідйимальної здатності. Так, польова вологість становила 3-20 %, аерація 31-57 %, а щільність будови субстрату від 0,9 до 1,3 г/см³. Субстрат відвалів родовищ самородної сірки представлений неогеново-мергелистими глинами, аерація яких досить мала, але вміст вологи значний. Так, значення польвої вологості тут становило 20-50 %, щільність будови субстрату змінюється у межах від 2,7 до 2,8 г/см³, що значно знижує аерацію [40]. Отже, водні й аераційні властивості субстратів, на яких поселяється кунічник наземний, можуть мати значну амплітуду.

Кислотність відвалів вугільних шахт зумовлена сульфат-йонами, які утворюються внаслідок послідовних стадій розкладу сірковмісного мінералу піриту тіоновими бактеріями (*Thiobacillus ferrooxidans*) [170], тоді як лужне середовище субстрату на відвалах родовищ сірки зумовлене значною кількістю в їх субстраті карбонатів (15,52-20,18 %) [40]. Значення рН, при

якому куничник наземний знаходиться в задовільному стані, змінювалися у межах від 3,7 до 8,0 (табл. 3.3).

Саме такі значення рН визначено нами у субстраті під куничником наземним на відвалах вугільних шахт і відвалах родовищ сірки відповідно. Як показали наші дослідження, куничник є практично невибагливим до кількості органічної речовини в субстраті відвалів. Вміст органічного Карбону у субстраті під куничником наземним може становити лише 0,5 %.

Таблиця 3.3

Фізико-хімічні властивості субстратів техногенно девастрованих територій вугільною промисловістю та родовищами сірки [40, 100] під куничником наземним

Територія Характеристики	Відвали			
	родовищ сірки		вугільних шахт	
	Неогеново мергелісті глини		Аргіліти та алевроліти	
	Max	Min	Max	Min
рН _(H₂O)	8,0	7,4	6,8	3,7
Вміст органічної речовини (%)	5,2	1,5	2,0	0,5
Польова вологість (%)	50	20	20	3
Щільність будови субстрату (г/см ³)	2,8	2,7	1,3	0,9

Наведені результати дають змогу оцінити пристосованість куничника наземного до зволоження, трофності та хімізму техногенних субстратів. За екологічною характеристикою на техногенних відвалах цей вид є індиферентний, оліготроф, ксеромезофіт (табл. 3.4).

Належність *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth до екологічних груп за факторами техногенних субстратів

Екологічні групи за	Категорії				
	Зволоженням	ксерофіти	ксеромезофіти	мезофіти	мезогігрофіти
Трофністю	оліготрофи	мезотрофи	мегатрофи	–	–
Хімізмом	індиферентні	нітрофіли	кальцефіли	ацидофіли	–

*жирним виділено екологічні групи, до яких належить *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth.

Отже, заселення куничником наземним цих відвалів вказує на його значну екологічну амплітуду до водного режиму, аерації ґрунтів, здатності пристосовуватися до рН субстрату, а також невибагливість до вмісту органічного Карбону і поживних речовин у субстраті.

3.3 Біохімічні адаптивні реакції куничника наземного до чинників техногенного довкілля

Для оцінки токсичного впливу субстратів відвалів на рослинні угруповання, які формуються на відвалах, використовують різні показники, що відображають вплив стресових чинників на рослини. Це популяційні (на рівні популяцій), фізіологічні (на рівні організму) та біохімічні (клітинні) параметри стану живих систем, що відображають негативний вплив багатофакторного стресу на рослини. Однією з первинних ланок метаболізму, яка зазнає впливу екзогенних стресових факторів, спричинених техногенним навантаженням, є фотосинтетична система, яка формується пігментами, білками, білково-ліпідними комплексами, що сконцентровані у хлоропластах [145, 244]. Вивченню пігментного складу рослин за впливу на них різних екологічних чинників приділяється велика увага [18, 34, 74, 155, 177, 196]. Однією з найважливіших характеристик фотосинтетичного

апарату, що визначає його стан і активність, є вміст пігментів фотосинтезу. Показана пряма залежність між їх кількістю і продуктивністю рослин, життєздатністю та стійкістю до несприятливих чинників [34, 55, 56, 113, 114, 189]. Аналіз літературних даних свідчить про негативну дію важких металів і кислотності субстрату на вміст хлорофілу. Надлишок у середовищі вирощування Cd, Zn, Co, Mn зумовлює зменшення рівня хлорофілу в рослинах [32, 35-36]. Щодо впливу малого рівня рН субстрату на рослини доведено, що за рівня показників рН 3,2-3,4 хлорофіл окиснюється, а при рН 2-3 перетворюється на феофітин [148]. Однак, вкрай мало є даних щодо вивчення сумісної дії важких металів і кислотності едафотопу відвалів (багатофакторного стресу) на фотосинтетичний апарат домінантних рослин в ході сукцесії рослинності.

Пігментна система відіграє важливу роль у асиміляційному апараті і є чутливою до екзогенних впливів. За впливу багатофакторного стресу на рослинний організм зміни можуть відбуватися як на рівні клітин чи органел, так і на рівні молекул. Більшість політантів, які потрапляють у рослинні клітини, акумулюються у хлоропластах, спричиняючи їх деструкцію, що призводить до підвищення активності хлорофілази, яка руйнує хлорофіл-білково-ліпідний комплекс фотосинтетичного апарату та призводить до зменшення інтенсивності фотосинтезу [32]. Тому вміст пігментів у фотосинтезуючих органах рослин є важливим показником, що характеризує не лише їх життєвий стан, а й може бути використаний як біомаркер стану навколишнього середовища.

Під час визначення вмісту пігментів у листках куничника наземного спостерігалася класична закономірність їх розподілу з невеликими відхиленнями на різних субстратах відвалу ЦЗФ (табл. 3.5).

Вміст пігментів фотосинтезу (мг/г сирової маси) в листках
Calamagrostis epigeios (L.) Roth за умов росту на техногенних субстратах

Місце відбору проб	Хлорофіл <i>a</i>	Хлорофіл <i>b</i>	Сума каротиноїдів	Хл. <i>a</i> /Хл. <i>b</i> *
Контроль**	1,07±0,07	0,62±0,03	0,20±0,01	1,71
Неперегоріла порода	1,35±0,02	0,78±0,01	0,16±0,01	1,72
Перегоріла порода	0,89±0,02	0,51±0,02	0,29±0,01	1,74

* Хл.*a*/Хл.*b* – співвідношення хлорофілу *a* і *b*.

** Тут і надалі контролем є проби рослин, відібрані на відстані 2 км від відвалу Центральної збагачувальної фабрики.

За умов росту на перегорілому субстраті відвалу спостерігали зменшення вмісту хлорофілів, порівняно із контролем. Що зумовлене порушенням біосинтезу хлорофілу, спричинене значною кількістю рухомих форм важких металів у субстраті, які є доступними для рослин. Зміна співвідношення хлорофілу *a* і *b* на різних субстратах була незначною.

У загальній оцінці впливу багатофакторного стресу на зміну пігментного комплексу рослин значний інтерес представляють як зміни вмісту хлорофілів, так і кількісні зміни каротиноїдів, оскільки ці пігменти відіграють важливу роль у функціонуванні фотосинтетичного апарату [114, 200, 240]. Спостерігалася протилежна тенденція до нагромадження каротиноїдів у листках куничника наземного за умов росту на різних субстратах відвалу, що можливо пов'язано із едафічними властивостями останніх. Поряд із змінами вмісту пігментів фотосинтезу у апараті фотосинтезу спостерігалися якісні та кількісні зміни структури хлоропластів, про що свідчать результати електронно-мікроскопічних досліджень (рис. 3.1).

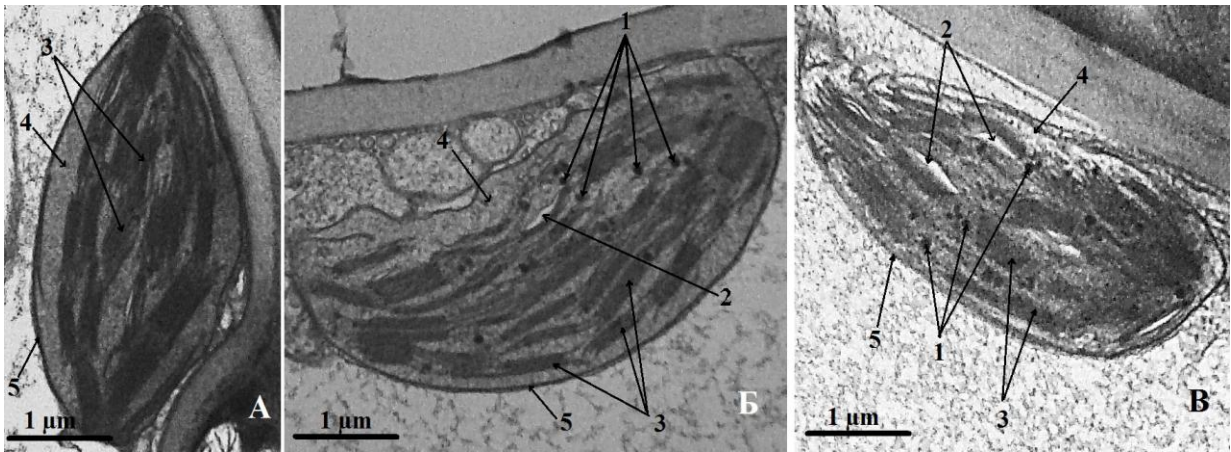


Рис. 3.1. Електронно-мікроскопічні фотографії хлоропластів *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, за умов росту на техногенних субстратах: А) контроль, Б) неперегоріла порода, В) перегоріла порода. 1 – пластоглобула, 2 – крохмальне зерно, 3 – грана, 4 – строма, 5 – зовнішня мембрана хлоропласта.

За впливу негативних чинників субстратів відвалу спостерігаються значні зміни кількості та структури хлоропластів. За умов росту на перегорілому та неперегорілому субстратах у клітинах куничника наземного збільшувалися кількість та розміри пластоглобул. На деяких фотографіях мембрани хлоропластів були потовщеними зі зміненими контурами, місцями відшарованими та частково розірваними. Строма була зернистішою, місцями значно просвітленою. У хлоропластах рослин, які росли на субстратах відвалу, відзначено нагромадження крохмальних зерен.

Результати електронно-мікроскопічного дослідження свідчать, що у хлоропластів рослин, які росли на неперегорілому та перегорілому субстратах, спостерігається збільшення їх розмірів, порівняно з контролем (табл. 3.6).

Таблиця 3.6

Розміри хлоропластів у листках *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth

Місце відбору проб	Довжина (мкм)	Ширина (мкм)	Площа (мкм ²)
Контроль	3,71±0,17	1,52±0,07	4,68±0,21
Неперегоріла порода	3,98±0,12	1,97±0,05	5,98±0,19
Перегоріла порода	6,26±0,28	2,23±0,07	10,23±0,45

Ще одним механізмом пристосування цього виду можуть бути зміни його метаболізму й нейтралізація тим чи іншим способом токсичних речовин, які надходять із субстратів у клітини рослини. Субстрат відвалів містить значну кількість сірки, яка утворюється під час розкладу піриту, і тому необхідно було дослідити її надходження й розподіл в органах куничника наземного, оскільки вона може бути як компонентом метаболізму, так і токсикантом. Сірка є незамінним елементом рослинних клітин. Рослини поглинають сірку головним чином із ґрунту у вигляді SO_4^{2-} . Іншим джерелом надходження сірки в рослини є асиміляція SO_2 із повітря [70]. Токсичними сполуками сірки для рослин є сірководень і оксиди сірки. На сьогодні кількість територій, в атмосферному повітрі яких містяться сполуки сірки, збільшується, і одними із техногенних зон із підвищеним вмістом сірки не лише у субстраті, а й у повітрі, є відвали вугільних шахт, зокрема і відвал ЦЗФ. Вміст сірки у неперегорілому субстраті становив 5650 ± 12 мг/кг золи субстрату, а перегорілому – 7480 ± 19 мг/кг золи субстрату, що у 35 і 47 разів відповідно перевищує гранично допустиму концентрацію (ГДК) сірки в ґрунтах [14]. Тому було проведене вивчення вмісту сірки в органах *C. epigeios* на різних типах субстратів відвалу вугільних шахт, що дало можливість встановити певні закономірності (табл. 3.7).

Таблиця 3.7

Особливості розподілу сірки (мг/100 г маси сирої речовини) у органах *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу

Центральної збагачувальної фабрики

Місце відбору	Частина рослини	$M \pm m$	% до контролю
Контроль	Корінь	$111,7 \pm 16,7$	100
	Пагін з листками	$89,2 \pm 6,5$	100
	Суцвіття з насінням	$129,4 \pm 9,5$	100
Неперегоріла порода відвалу	Корінь	$227,46 \pm 33,0$	203
	Пагін з листками	$172,5 \pm 9,3$	193
	Суцвіття з насінням	$105,86 \pm 14,5$	82
Перегоріла порода відвалу	Корінь	$157,8 \pm 14,8$	141
	Пагін з листками	$260,8 \pm 23,1$	292
	Суцвіття з насінням	$64,7 \pm 7,8$	50

Виявлено, що у органах *C. epigeios*, на породах відвалу спостерігалось збільшення вмісту сірки, порівняно із рослинами контролю. Нагромадження сірки органами куничника наземного на субстратах відвалу свідчить, на нашу думку, про існування детоксикаційного механізму надлишку сірки, яким може бути переведення її у неактивну форму, або включення у метаболізм.

При аналізі нагромадження сірки в різних органах виявлена така закономірність: вміст сірки у пагонах з листками і коренях рослин куничника наземного на породах відвалу збільшувався, порівняно з контролем. У суцвіттях з насінням рослин спостерігався протилежний ефект.

Отже, нагромадження сірки в вегетативній частині куничника наземного за умов росту на відвалі дає підстави рекомендувати його як перспективну рослину фіторемедіатора сірки із субстратів відвалу.

Одними із найактивніших і лабільних учасників метаболізму рослин є амінокислоти (АК) і зміни їх вмісту під впливом різних типів стресів є важливими для дослідження адаптивних здатностей виду, оскільки вони не лише беруть участь в азотному обміні, підтримці осмотичного потенціалу клітин, а й виконують різноманітні регуляторні та протекторні функції. Зміни вмісту вільних амінокислот, як і інших сполук – вуглеводів, пептидів, бетаїнів, за впливу стресів мають неспецифічний характер, оскільки вони спостерігаються за різних видів стресу: водного, сольового, впливу важких металів, температури тощо [2, 15, 104, 215]. Переважно вивчення змін пулу вільних амінокислот проводилось завдяки дослідженню одного або небагатьох видів стресу, тоді як умови для росту рослин на породних відвалах є цілим комплексом стресових факторів [12, 13, 17].

Тому продовженням наших досліджень стало вивчення вмісту вільних амінокислот в органах куничника наземного (табл. 3.8) для з'ясування їх ролі у метаболічних шляхах адаптації цього виду до несприятливих факторів едафотопу відвалів. Вільні амінокислоти, які утворюються як унаслідок розщеплення білків, так і під час їх біосинтезу, є дуже важливими складовими клітин рослин, особливо в умовах стресу [2].

Таблиця 3.8

Вміст пулу вільних амінокислот у *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу Центральної збагачувальної фабрики (мкМ/г)

Варіант Амінокислота	Контроль	Неперегоріла порода	Перегоріла порода
Таурін	0,18±0,01/0,43±0,02	0,44±0,02/0,31±0,01	0,51±0,04/0,65±0,03
Аспарагінова к-та	14,83±0,14/14,38±0,17	9,87±0,11/1,13±0,04	44,81±0,22/7,43±0,06
Треонін	9,00±0,16/12,14±0,14	10,55±0,23/8,51±0,17	24,51±0,23/2,36±0,06
Серин	19,41±0,25/23,00±0,16	15,82±0,16/15,46±0,12	33,39±0,21/11,67±0,07
Глутамінова к-та	4,25±0,16/58,31±0,37	3,11±0,24/8,69±0,20	5,93±0,17/2,37±0,06
Саркозин	1,36±0,02/0,36±0,03	0,78±0,06/0,17±0,02	19,60±0,31/0
α-аміноадипінова к-та	0,72±0,04/0,21±0,01	0,45±0,02/0,12±0,01	5,30±0,09/0,34±0,02
Пролін	19,40±0,39/28,73±0,47	31,92±0,52/41,64±0,89	94,18±1,12/4,77±0,18
Гліцин	2,99±0,10/4,19±0,09	4,98±0,19/3,64±0,21	5,65±0,14/5,49±0,22
Аланін	25,25±0,57/10,76±0,16	48,49±0,72/16,37±0,19	49,73±0,54/9,37±0,14
Цитрулін	0,34±0,01/1,17±0,03	0,10±0,01/0,11±0,01	0,64±0,03/<0,05
α-аміномасляна к-та	0,16±0,01/0,15±0,01	0,22±0,02/<0,05	1,71±0,04/<0,05
Валін	10,66±0,42/8,20±0,11	12,22±0,20/9,82±0,18	23,45±0,29/3,57±0,05
Цистин	1,08±0,03/0,88±0,02	1,23±0,02/<0,05	1,01±0,02/<0,05
Метіонін	1,67±0,06/1,27±0,03	2,35±0,07/1,06±0,03	3,19±0,08/0,21±0,02
Цистатіонін	0,42±0,02/0,14±0,01	0,62±0,02/0,35±0,02	1,09±0,05/0
Ізолейцин	5,18±0,06/3,42±0,07	39,89±0,11/4,35±0,04	57,16±0,72/1,71±0,03
Лейцин	7,87±0,09/3,13±0,05	7,07±0,08/5,27±0,06	18,53±0,14/2,33±0,07
Тирозин	3,92±0,04/1,44±0,02	4,86±0,03/2,37±0,04	9,80±0,07/1,41±0,02
Фенілаланін	6,18±0,02/1,76±0,07	3,41±0,04/2,43±0,03	11,37±0,07/0,88±0,02
β-аланін	1,43±0,02/1,06±0,03	1,07±0,02/1,34±0,04	4,17±0,03/0
γ-аміномасляна кислота	23,77±0,49/1,06±0,02	31,19±0,43/14,79±0,09	40,35±0,03/2,80±0,03
Орнітин	0,72±0,02/4,86±0,03	0,44±0,02/1,80±0,03	0,70±0,03/2,34±0,04
Лізін	<0,05/4,82±0,04	9,65±0,06/5,86±0,05	9,86±0,05/1,16±0,02
1-метилгістидин	<0,05/4,99±0,06	1,07±0,02/2,29±0,03	4,12±0,06/0,38±0,04
Гістидин	2,44±0,03/1,85±0,04	2,33±0,03/3,36±0,04	7,28±0,09/0,75±0,02
3-метилгістидин	3,02±0,04/3,08±0,02	0,90±0,02/2,46±0,02	5,22±0,06/0
Карнозин	1,99±0,03/1,38±0,09	0,75±0,02/1,56±0,03	1,93±0,02/0,62±0,02
Аргінін	4,83±0,06/79,60±1,65	2,51±0,08/32,13±0,42	1,06±0,02/2,53±0,04
Сумарний вміст сірко-вмісних амінокислот	3,35±0,12/2,72±0,08	4,64±0,13/1,74±0,06	5,80±0,16/0,86±0,04
Сумарний вміст амінокислот	273,50±8,14/ 890,37±13,19	323,64±8,25/ 407,02±7,86	631,16±9,14/ 123,51±2,14

Примітка: вміст амінокислот в надземній частині / значення в підземній частині.

У клітині вільні амінокислоти (амфоліти), виконують роль буфера, зв'язують ті чи інші аніони й катіони і зменшують їх концентрацію, що є позитивним явищем для рослин, які перебувають в умовах підвищеного

вмісту токсичних речовин у середовищі [67, 72]. Сумарний вміст вільних амінокислот збільшувався у надземній частині на неперегорілому та перегорілому субстратах у 1,2 та 2,3 раза відповідно, порівняно з контролем, тоді як у підземній частині куничника наземного зменшувався сумарний вміст вільних амінокислот на субстратах відвалу у 2,2 та 7,2 раза відповідно. Сумарне зменшення кількості вільних амінокислот у підземних органах *C. epigeios*. є, ймовірно, результатом інгібування їх біосинтезу, що, можливо, пов'язано із активацією синтезу білка та зниженням активності низки ферментів за впливу токсичних факторів субстратів відвалу. Найбільший вміст у надземній частині рослин контролю (понад 10 мкМ/г) встановлено для аланіну, аспарагінової та γ -аміномасляної кислот, валіну, серину, проліну, дещо менший вміст (від 5 до 10 мкМ/г) треоніну, лейцину, ізoleyцину, фенілаланіну, лізину, у менших кількостях (від 1 до 5 мкМ/г) виявлено глютамінову кислоту, саркозин, гліцин, цистин, метіонін, тирозин, β -аланін, гістидин, 1-метилгістидин, 3-метилгістидин, карнозин, аргінін, у мізерних кількостях (< 1 мкМ/г) відзначено вміст фосфосерину, α -аміноадипінової кислоти, цистатіоніну та орнітину.

Зміни вмісту амінокислот у *C. epigeios* на субстратах відвалу пов'язані з приналежністю перших до різних груп. Сумарний вміст сірковмісних амінокислот (метіонін, цистин, цистатіонін, таурін, гомоцистин) збільшувався у листках та пагонах рослин, які росли на субстратах відвалу, порівняно з контролем, що свідчить про нагромадження і зв'язування сірки метаболічним шляхом у надземних органах.

Обернена залежність встановлена у коренях *C. epigeios*, що, вочевидь, пов'язано із тим, що корінь, як первинний бар'єр надходження важких металів у рослину, зв'язує їх за допомогою фітохелатинів і зменшення кількості сірковмісних амінокислот у них, очевидно, спричинено запуском синтезу цих пептидів, до складу яких, окрім названих амінокислот, входять також глютамінова кислота і гліцин, вміст яких у коренях в основному зменшувався.

Збільшення кількості проліну як унікальної стрес-протекторної сполуки, покращує осмотичні властивості цитоплазми клітин куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу і є захисною реакцією до значного вмісту важких металів у субстраті та водного дефіциту [97, 110, 217]. Аналогічно змінюється вміст іншої “стресової” амінокислоти аланіну. Цікавою є також особливість нагромадження ароматичних амінокислот. Збільшення сумарного вмісту ароматичних амінокислот (фенілаланін, тирозин) у куничника наземного за росту на субстратах відвалу, порівняно із контролем, є захисною реакцією, адже з них синтезуються фенольні сполуки, які, зокрема, є антистресовими сполуками [8, 98]. Результати визначення суми фенольних сполук наведені на рис. 3.2.

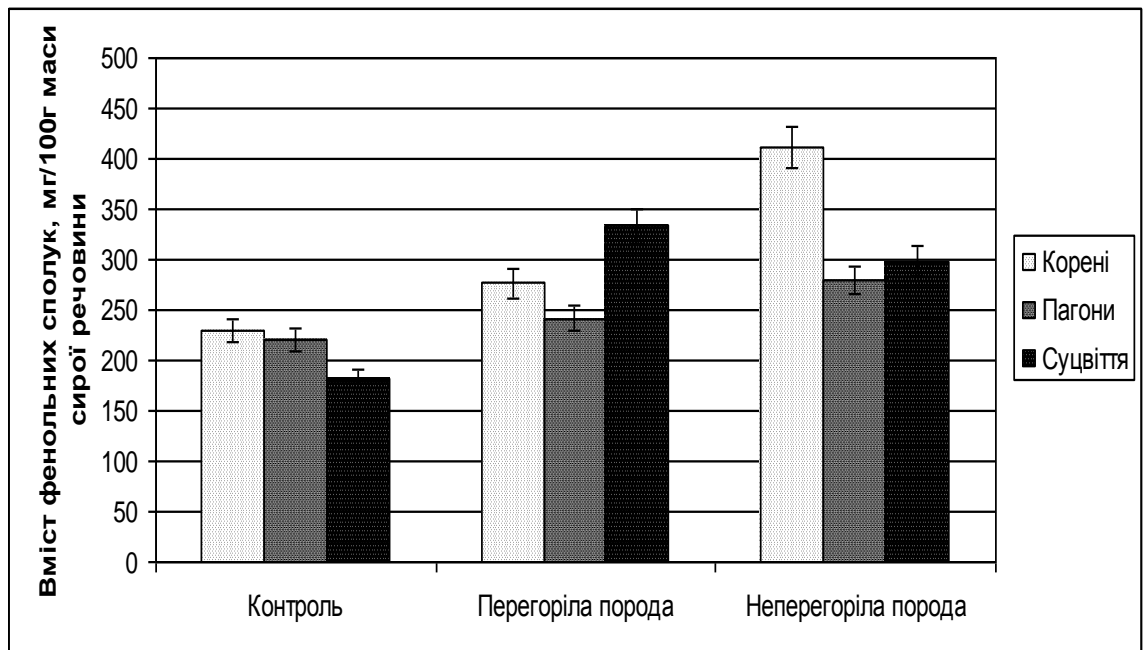


Рис.3.2. Вміст спирторозчинних фенольних сполук у різних органах куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу Центральної збагачувальної фабрики (мг/100 г маси сирової речовини).

Нагромадження основної амінокислоти – гістидину – може пояснюватися також захисною реакцією рослин на вплив важких металів, оскільки відомо, що гістидин є субстратом для фітохелатинсинтази [111]. Аналогічно збільшувався і вміст лізину в органах куничника. Серин

належить до групи амінокислот, які в рослинах утворюються завдяки фотосинтезу. Дослідженнями О. О. Сорочан [193] виявлено, що для амінокислотного пулу первинних листків диких злаків характерна висока кількість серину. Зменшення серину у надземній частині *C. epigeios* за росту на неперегорілому субстраті та підземній частині за росту на перегорілому та неперегорілому субстратах, можливо, пов'язане з інгібуванням декарбоксілювання гліцину та його перетворенням у серин під впливом ендогенних та екзогенних чинників в процесі фотодихання у пероксисомах, із збільшення вмісту гліцину. Вміст γ -аміномасляної кислоти (ГАМК) підвищується за впливу різного типу стресів, оскільки вона сприяє відновленню активності мембран органодів клітин після впливу екзогенних чи ендогенних чинників. У стресових умовах ГАМК може виконувати функції запасання азоту, якщо це не може відбуватися внаслідок утворення амінокислот або амідів [89], наприклад, глутамату або глутаміну (табл. 3.9).

Таблиця 3.9

Вміст азотовмісних нінгідринпозитивних сполук у
Calamagrostis epigeios (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу
Центральної збагачувальної фабрики (мкМ/г)

Варіант Сполука	Контроль	Неперегоріла порода	Перегоріла порода
Аміак	7,73±0,22/ 9,40±0,34	8,54±0,29/ 7,46±0,18	10,38±0,31/ 11,50±0,29
Глутамін	39,50±0,49/ 42,64±0,68	33,73±0,39/ 28,93±0,32	127,02±4,26/ <0,05
Аспарагін	13,10±0,23/ 88,55±0,51	7,77±0,14/ 146,17±3,99	22,49±0,41/ 33,58±0,42
Сума амідів	52,60±0,56/ 131,18±3,98	41,50±0,39/ 175,10±5,27	149,51±4,32/ 33,58±0,38
Фосфоетаноламін	1,73±0,09/ 0,88±0,02	0,82±0,03/ 0,51±0,02	0,73±0,04/ 0,53±0,02
Етаноламін	9,07±0,30/ 10,71±0,24	17,77±0,31/ 9,84±0,19	13,71±0,25/ 4,50±0,21
Сума азото- вмісних сполук	123,74±1,01/ 283,35±2,04	110,12±1,19/ 368,01±8,64	323,84±5,13/ 83,68±1,21

Примітка: подання даних ті самі, що і для таблиці 3.8.

Вміст ГАМК у тканинах куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу є значним. Отже, запасним депо аміаку, на наш погляд, є в основному ГАМК. Зниження вмісту аспарагінової та глутамінової кислот у тканинах куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу, можливо, пояснюється використанням їх у біосинтезі амідів (аспарагіну та глутаміну), які є транспортною формою азоту у рослинах.

Як показали результати досліджень, вміст білка у листках і коренях куничника наземного підвищувався за умов росту на неперегорілому та зменшувався на перегорілому субстратах, порівняно з контролем (табл. 3.10).

Таблиця 3.10

Вміст водорозчинних білків у *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу Центральної збагачувальної фабрики (мг/100 г маси сирої речовини)

Частина рослини / Місце відбору	Корені	Листки	Суцвіття з насінням
Контроль	66,42 ± 1,15	57,23 ± 2,19	80,38 ± 2,64
Неперегоріла порода	70,19 ± 3,14	84,78 ± 2,33	86,54 ± 1,88
Перегоріла порода	52,33 ± 1,10	57,11 ± 2,18	116,86 ± 4,03

Збільшення кількості білка у суцвіттях і насінні *C. epigeios* за росту на субстратах відвалу, можливо, пов'язане із його синтезом для забезпечення успішного проростання насіння.

Адаптація рослин до стресорів пов'язана також з нагромадженням інших високомолекулярних сполук, для яких властива поліфункціональність дії. До них належать, зокрема, розчинні вуглеводи та жири, які можуть також виконувати роль кріопротекторів [167]. Відома позитивна роль підвищення кількості вуглеводів у тканинах рослин під впливом на них різних несприятливих екологічних факторів (засолення, посуха, високі температури, низькі температури тощо) [108, 173, 187].

Цукри підвищують стійкість білків до різних фізико-хімічних впливів, які спричиняють їх коагуляцію. На підставі цього, важливу роль цукрів у морозо-, посухо-, газо- і солестійкості пов'язують із стабілізацією молекул білка. Тому, вивчення змін вмісту вуглеводів в органах рослин за умов впливу різних стресів може дати цінну інформацію в екофізіологічних дослідженнях.

Збільшення вмісту вуглеводів у органах *C. epigeios* за умов росту на породах вказує на адаптаційні процеси, які протікають у них. На перегорілій породі їх вміст становив 180,5 мг/г сухої речовини у пагоні та 284,9 мг/г маси сухої речовини у суцвітті. Нижчі показники встановлено за росту на неперегорілій породі та у контролі 115,3 мг/г маси сухої речовини – пагін, 70,9 мг/г маси сухої речовини – суцвіття та 108,2 мг/100 г маси сухої речовини – пагін, 6 мг/г маси сухої речовини – суцвіття відповідно (рис. 3.3).

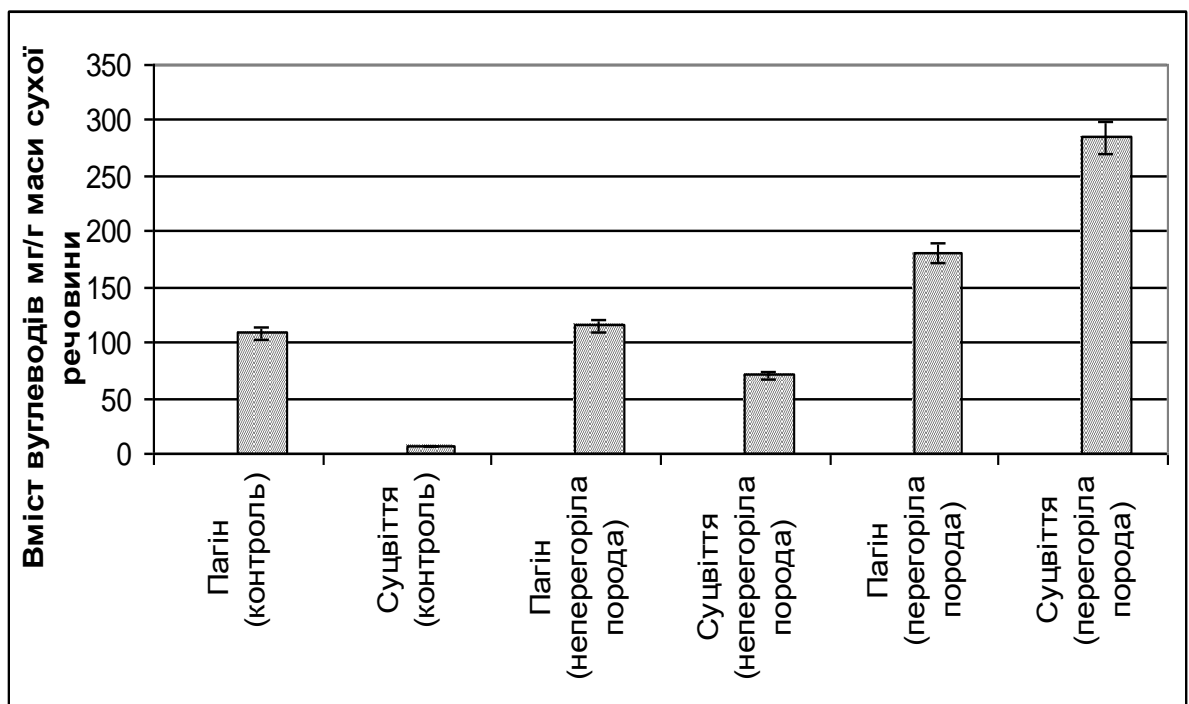


Рис. 3.3. Вміст водорозчинних вуглеводів у органах *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу Центральної збагачувальної фабрики.

Ще одними важливими високомолекулярними сполуками із поліфункціональним впливом є жири. Вміст розчинних жирів у органах куничника наземного за умов росту на субстратах подано у таблиці 3.11.

Таблиця 3.11

Вміст розчинних жирів (%) у надземних органах *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на субстратах відвалу Центральної збагачувальної фабрики

Частина рослини Місце відбору	Пагін	Суцвіття з насінням
Контроль	5,21 ± 0,05	4,39 ± 0,18
Неперегоріла порода	5,28 ± 0,10	2,74 ± 0,22
Перегоріла порода	4,52 ± 0,11	3,84 ± 0,14

Показано, що вміст розчинних жирів у органах *C. epigeios* у різних місцях відбору змінювався від 5,42 до 2,32 %. Не виявлено суттєвих змін вмісту жирів за росту *C. epigeios* на субстратах відвалу та контролі.

Отже, отримані результати вказують на те, що під час природного самозаростання породних відвалів вугільних шахт, *C. epigeios* є одним із низки толерантних видів сукцесії рослинності відвалів, який завдяки механізму захисту від надлишку сірки у субстратах одним з перших заселяє техногенні відслонення. Нагромадження сірки у коренях і пагонах куничника сприяє очищенню субстратів відвалу від надлишку сірки. Зміни вмісту вільних амінокислот та білка за умов росту куничника наземного на субстратах відвалу є пристосувальним механізмом, який сприяє нормалізації метаболізму в екстремальних умовах росту на відвалі, зокрема і процесам вторинного обміну, про що свідчить динаміка вмісту фенольних сполук. На фоні зменшення загального вмісту вільних амінокислот у перерахунку на всю рослину, яке спостерігається за росту *C. epigeios* на обох субстратах, підвищується вміст стрес-протекторних амінокислот – проліну, аланіну, валіну, лейцину, тирозину, лізину, γ -аміномасляної кислоти та ін.

Найчутливішими компонентами клітин з проаналізованих високомолекулярних сполук до стресових умов техногенних екотопів є вуглеводи.

Висновки до розділу. Методом біотестування підтверджено, що покращення едафічних властивостей субстратів відвалів відбувається у такому напрямку: стадія окиснення, вимивання, масового поселення рослин, що пов'язано із геохімічними перетвореннями, вимиванням та вивітрюванням токсичних сполук із субстратів відвалів їх розподілом у системі субстрат/рослина. За екологічною характеристикою на відвалах вугільних шахт куничник наземний є індиферентний, оліготроф ксеромезофіт. Толерантність куничника наземного до несприятливих факторів відвалів вугільних шахт пов'язана із здатністю нагромадження сірки у його органах, зміні вмісту пігментів фотосинтезу, розмірів хлоропластів, нагромадження вуглеводів, збільшенні вмісту стрес-протекторних амінокислот і фенольних сполук.

РОЗДІЛ 4

СТРУКТУРА ЦЕНОПОПУЛЯЦІЙ КУНИЧНИКА НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

4.1. Фітоценологічна характеристика

Популяційні параметри *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth вивчали у різних угрупованнях на відвалах вугільних шахт ЧГПР. На всіх елементах мезорельєфу нерекультивованого відвалу ЦЗФ в угрупованнях, які сформувались на злаковій стадії сукцесії, *C. epigeios* є едифікатором: досягає проективного покриття понад 60 % і утворює майже монодомінантний трав'яний ярус ценозу. У підніжжі відвалу видовий склад фітоценозу з відповідними балами рясності такий: *Pinus sylvestris* L. – +, *Populus tremula* L. – +, *Betula pendula* Roth. – +, *Phragmites communis* Trin. +, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. – +. На терасі відвалу в угрупованні із кунічником наземним видовий склад формують *Pinus sylvestris* – 1, *Populus tremula* – +, *Betula pendula* – +, *Salix caprea* L. – +, *Rubus caesius* L. – +, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid. – +. На схилі із неперегорілою породою видовий склад представлений розрідженим деревно-чагарниковим ярусом, який складають *Pinus sylvestris* – +, *Betula pendula* – +, *Rosa canina* L. – +, а у трав'яному ярусі поодинокі трапляється *Phragmites communis* – +. На перегорілій породі схилу в угрупованні переважають *Pinus sylvestris* – +, *Populus tremula* – +, *Salix caprea* – +, *Phragmites communis* – +.

На рекультивованому відвалі шахти “Надія” в дослідженому угрупованні *Calamagrostis epigeios* є едифікатором (80 %) за загального проективного покриття рослинності – 90-100 %. Деревний ярус представлений *Robinia pseudoacacia* L. – 1, *Betula pendula* – 1, *Pinus sylvestris* – +, *Pyrus communis* L. – +, *Populus tremula* – +. У трав'яному ярусі поодинокі трапляється *Rumex confertus* Willd +, *Oenothera biennis* L. – +, *Convolvulus*

arvensis L. – +, *Hieracium prussicum* Naeg. et Peter. – +, *Erigeron canadensis* L. – +, *Hypericum perforatum* L. Моховий покрив малорозвинений (5 %) і представлений *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. – 2 m, *Ceratodon purpureus* – +, *Bryum argenteum* Hedw. – +, *Polytrichum juniperinum* Hedw. – +, *Brachythecium albicans* (Hedw.) Schimp.– +.

На природно зарослому відвалі шахти “Візейська” проективне покриття *C. epigeios* становить 15%; деревно-чагарниковий ярус угруповання формують *Pinus sylvestris* – 1, *Populus tremula* – +, *Betula pendula* – +, *Salix caprea* – +, *Robinia pseudoacacia* – +, *Quercus robur* L. – +, *Sorbus aucuparia* L. – +, *Alnus glutinosa* Gaertn. – +, у трав’яному ярусі відзначено *Hypericum perforatum* – +, *Leucanthemum vulgare* Lam. – +. Моховий покрив утворюють *Ceratodon purpureus* – +, *Bryum argenteum* – +, *Polytrichum juniperinum* – +, *P. piliferum* Hedw. – +, *Dicranella heteromalla* (Hedw.) Schimp. – +, *Pohlia nutans* (Hedw.) Lindb – +, *Brachythecium glareosum* (Bruchex Spruce) Schimp. – +.

Проведені фітоценологічні дослідження засвідчили, що на первинних стадіях сукцесії рослинності на відвалах вугільних шахт ЧГПР *Calamagrostis epigeios* є едифікатором, а на нерекультивованих ділянках техногенно девастрованих територій формуються майже монодомінантні угруповання за його участю.

4.2 Генеративне та вегетативне розмноження

Структура ценозоутворюючих популяцій рослин, а відповідно й структурно-функціональна організація фітоценозів у цілому, значною мірою, залежить від ефективності генеративного та вегетативного розмноження [179, 214].

Насіннєва продуктивність. Вивчення насінневого розмноження популяцій необхідне для характеристики життєздатності виду в конкретних умовах існування [49]. Самовідновлення популяції, під яким розуміють її здатність до відтворення у наступних поколіннях, великою мірою, залежить

від здатності особин утворювати життєздатне насіння, ефективності його проростання та подальшого розвитку проростків, щільності генеративних особин тощо [214]. Тоді як інтенсивність насінневого розмноження перебуває у прямій залежності від насінневої продуктивності та врожаю насіння ценопопуляцій в конкретних екологічних і фітоценотичних умовах.

Максимальна кількість насінин на генеративному пагоні куничника наземного відзначена на злаковій стадії сукцесії (середнє значення за три роки становить 1318 ± 40 нас./м²) (табл. 4.1). На деревно-злаковій стадії сукцесії кількість насінин на генеративному пагоні була вдвічі меншою. В ході сукцесії рослинності на відвалах також спостерігається зменшення кількості генеративних пагонів на одиницю площі в середньому від 42 ± 2 пагонів/м² на злаковій до 13 ± 1 пагонів/м² на деревно-злаковій стадіях сукцесії.

Таблиця. 4.1

Динаміка насінневої продуктивності у ценопопуляціях куничника наземного на стадіях сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт

Стадія сукцесії	Роки	Продуктивність насінин на генеративний пагін	Кількість генеративних пагонів на м ²	Урожай насіння тис. на м ²
Злакова	2010	1315 ± 39	42 ± 1	$55,3 \pm 1,3$
	2011	1354 ± 46	38 ± 3	$51,1 \pm 4,1$
	2012	1284 ± 34	45 ± 2	$57,9 \pm 2,6$
Деревно-злакова	2010	623 ± 34	16 ± 2	$10,0 \pm 1,2$
	2011	630 ± 29	13 ± 1	$8,0 \pm 0,6$
	2012	690 ± 25	11 ± 1	$7,8 \pm 0,7$

Отже на послідовних злаковій і деревно-злаковій стадіях сукцесії рослинності на відвалах у ценопопуляціях куничника наземного спостерігалось зменшення врожаю насіння у понад 5 разів унаслідок послаблення насінневої продуктивності та зменшення кількості генеративних пагонів на одиницю площі.

Особливості проростання насіння в польових і лабораторних умовах. Важливе значення для проростання насіння має тип субстрату. Відомо, що куничник наземний поселяється на різних субстратах, віддаючи перевагу піщаним та супіщаним ґрунтам, які мають багато дрібнозернистих частинок (<1 мм). Тому важливим було перевірити проростання насіння куничника наземного на субстратах, відмінних за гранулометричним складом: пісок, перліт, порода відвалу, контролем слугувало насіння пророщене на фільтрувальному папері. Результати дослідження схожості насіння *C. epigeios* наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Лабораторна схожість насіння куничника наземного відібраного на відвалах вугільних шахт

Місце відбору насіння	Час від посіву до початку проростання, днів	День завершення проростання	Тривалість проростання, днів	Схожість насіння, %
Пророщування насіння у перліті				
ЦЗФ	7	11	4	4
шахта "Візейська"	7	11	4	4
шахта "Надія"	7	9	2	3
Пророщування насіння у піску				
ЦЗФ	7	14	7	14
шахта "Візейська"	7	18	11	12
шахта "Надія"	7	17	10	16
Пророщування насіння на фільтрувальному папері				
ЦЗФ	7	14	7	9
шахта "Візейська"	14	14	1	2
шахта "Надія"	7	10	3	13
Пророщування насіння на перегорілій породі				
ЦЗФ	7	11	4	2
шахта "Візейська"	6	20	14	5
шахта "Надія"	5	19	14	10
Пророщування насіння на неперегорілій породі				
ЦЗФ	6	12	6	2
шахта "Візейська"	6	19	13	4
шахта "Надія"	5	18	13	11

Показано, що найбільшу лабораторну схожість мало насіння, зібране на рекультивованому відвалі шахти “Надія”. Майже однаковою ефективністю проростання характеризується насіння із відвалів ЦЗФ та шахти “Візейська”, що можливо спричинене генетичним обміном між цими ценопопуляціями, через їх незначну віддаленість одна від одної. Щодо проростання насіння залежно від зернистості субстрату, то найбільша його схожість і найдовший період проростання спостерігались на піску. Тобто із збільшенням зернистості субстрату зменшувалась схожість насіння. Так, схожість на піску насіння, відібраного на відвалі ЦЗФ, яке проростало, становила 16 %, тоді як при пророщуванні його на перліті та перегорілій породі – 4 % та 2 % відповідно.

Отже лабораторна схожість насіння куничника наземного залежить як від типу субстрату, на якому пророщується, так і від конкретних умов існування тої чи іншої ценопопуляції на відвалах.

Під час дослідження польової схожості протягом 2010-2011 років показано, що у межах ценопопуляційного локусу, на перегорілій породі тераси відвалу ЦЗФ, проростання є значним і становить у середньому понад 50 проростків на 100 см². За межами існування куничника на відвалі проростання насіння не спостерігалось, що, можливо, пов'язано із несприятливими мікрокліматичними умовами мезорельєфу та едафічними властивостями субстратів відвалів. Слід також зазначити, що внаслідок промерзання субстрату кількість проростків зменшується і на початку весни становить 0-1 екземпляр на 100 см².

Вегетативне розмноження. Вид, якому властиве вегетативне розмноження, має широку екологічну та фітоценотичну пластичність [40, 234, 238, 243]. Розмноження за допомогою спеціальних вегетативних органів зумовлює високу чисельність і щільність популяцій, незалежно від стану його генеративної сфери. На субстратах відвалу особливості вегетативного розмноження *C. epigeios* вивчалися на двох стадіях сукцесії: злаковій і деревно-злаковій (табл. 4.3).

Найбільша довжина та маса підземних вегетативних пагонів відзначена на злаковій стадії, що відповідає максимальному розвитку виду та його домінантному положенню у фітоценозі. Значні запаси кореневищ (органи вегетативного розмноження) та зменшення довжини підземних пагонів між особинами (партикулами) зумовлюють високу локальну чисельність і щільність популяцій *C. epigeios*, незалежно від стану його генеративної сфери.

Таблиця. 4.3

Запас підземних вегетативних органів розмноження
Calamagrostis epigeios (L.) Roth на злаковій та деревно-злаковій стадіях
сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт

Стадія сукцесії	Запас підземних кореневищ на один м ²		Довжина кореневищ між партикулами, см
	маса, г	Довжина, см	
Злакова	106,3±5,2	16048,8±943,2	8,0±0,4
Деревно-злакова	17,3±1,1	1784,7±254,9	15,2±1,0

На деревно-злаковій стадії проективне покриття кунічника наземного зменшується, внаслідок чого збільшується відстань між особинами (партикулами) та видовжується кореневище. Зменшення чисельності особин популяції по мірі розвитку деревної рослинності у ході сукцесії призводить до зменшення запасів підземних кореневищ. Так, у фітоценозах деревно-злакового етапу сукцесії середня маса кореневища зменшується у понад 5 разів, порівняно із злаковою стадією.

4.3. Щільність і вікова структура

В умовах антропогенного тиску у популяціях рослин відбуваються зміни щільності, життєвості, типу самопідтримання, характеру вікових спектрів [69]. Щільність є одним з важливих показників ценопопуляції, що

характеризує її взаємодію з біотичними та абіотичними складовими середовища існування та визначає її роль у трансформації речовин та енергії. Під час розвитку ценопопуляції щільність особин змінюється, але в певних межах, визначених гомеостатичними механізмами, що діють в угрупованні. Тому динаміка щільності є важливим показником, який дає можливість з'ясувати процеси регуляції чисельності та функції популяцій в ценозі [129]. Вікова структура та щільність є взаємопов'язаними величинами і треба враховувати те, що навіть при неповночленності популяції за умов великої щільності особин вид може займати домінуюче положення [190, 191]. Вивчення щільності та вікового складу популяцій дає можливість встановити оптимальні умови для існування популяцій.

Дослідженнями виявлені особливості зміни вікової структури ценопопуляції виду в техногенних умовах (рис. 4.1; 4.2).

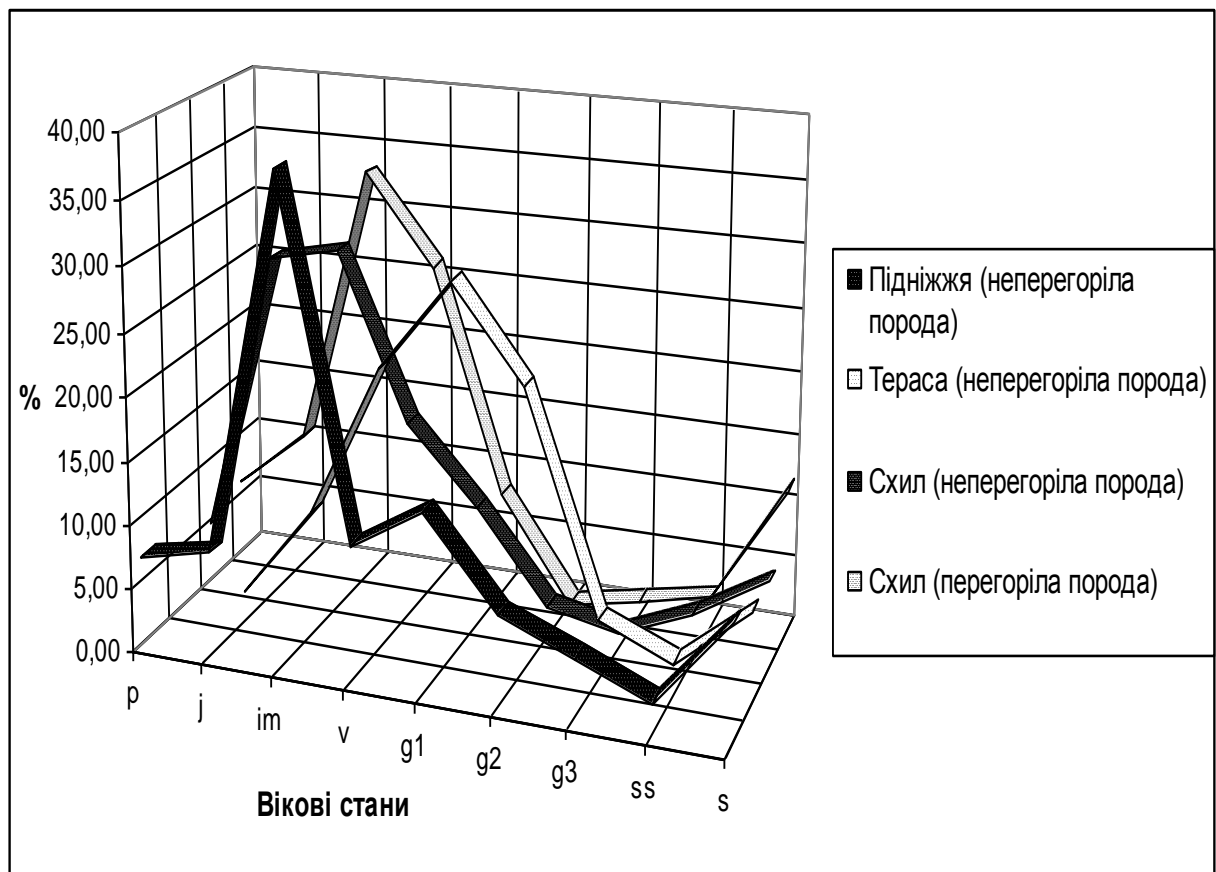


Рис 4.1. Вікові спектри *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth на різних елементах мезорельєфу породного відвалу Центральної збагачувальної фабрики.

Характеризуючи вікову структуру ценопопуляційних локусів *C. epigeios* на відвалі ЦЗФ за умов росту на різних елементах мезорельєфу та типах субстрату, слід відзначити, що для них характерний лівосторонній віковий спектр з переважанням іматурної групи особин. Зокрема, її частка у віковому спектрі популяційних локусів розташованих на підніжжі відвалу та на схилах із різним субстратом становила від 28,6 % до 37,9 %, що вказує на їх відносну “молодість” та інтенсивне вегетативне розмноження. Винятком був ценопопуляційний локус *C. epigeios*, який ріс на терасі відвалу, і для якого характерним був також лівосторонній віковий спектр, але із переважанням молодих генеративних особин (29,3 %). Завдяки такому співвідношенню, цей ценопопуляційний локус займає стійкіше положення в рослинному угрупованні, що формується, адже довгоживучим генеративним особинам в її віковому складі властива значно більша потужність порівняно з особинами інших онтогенетичних груп. На злаковій стадії сукцесії рослинності, яка характеризує всі елементи мезорельєфу відвалу ЦЗФ, щільність особин куничника наземного змінювалась від 125 ос/м² до 176 ос/м² і за такої щільності вид займає домінантне положення в угрупованнях.

Ценопопуляція *C. epigeios* на природно зарослому відвалі шахти “Візейська” характеризується лівостороннім віковим спектром з переважанням іматурних особин 26,1 % (рис 4.2).

На підставі результатів вивчення техногенного едафотопу на рекультивованому (завдяки нанесення шару ґрунтосуміші) відвалі шахти “Надія” встановлено, що ця територія є кращою для існування ценопопуляцій куничника наземного порівняно з нерекультивованим відвалом. Зокрема, рН техногенного субстрату тут становить 6,21, а вміст гумусу у 0-10 сантиметровому шарі під куничником наземним сягає 2 %, що вказує на відсутність несприятливих умов для росту рослин. Свідченням цього є і такі популяційні характеристики як щільність і вікова структура. Так, основу

вікового спектру становить прегенеративна група 52,9 %, а щільність особин в ценопопуляції досягає 200 ос/м².

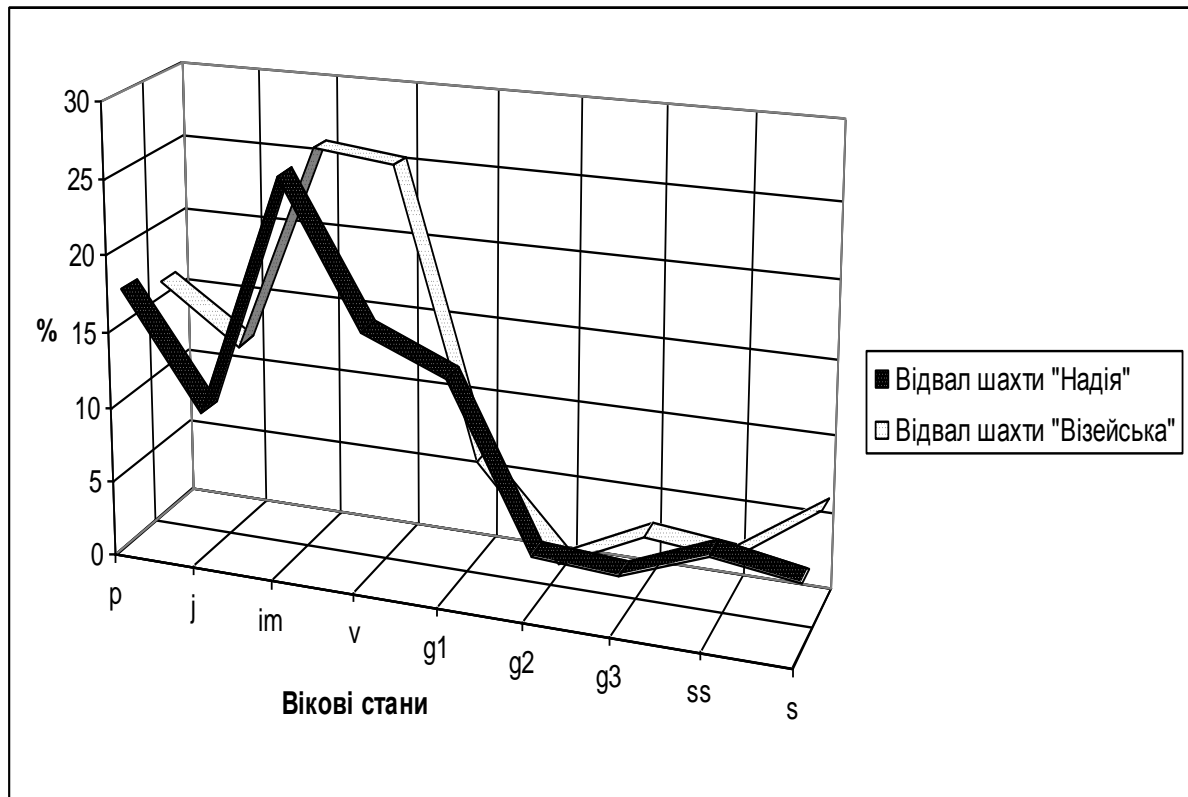


Рис 4.2. Вікові спектри *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth на рекультивованому (шахта «Надія») та природно зарослому (шахта «Візейська») відвалі.

Отже, вікові спектри у досліджуваних ценопопуляціях на відвалах вказують на те, що більшість їх є молодими (інвазійного типу), а самопідтримання їх відбувається внаслідок вегетативного розмноження, чим забезпечується висока чисельність та щільність популяцій, незалежно від стану генеративної сфери.

Поряд із змінами вікової структури ценопопуляцій куничника наземного спостерігається також зміна інтенсивності розвитку особин різних вікових станів. Одним із критеріїв оцінки реакції ценопопуляцій може слугувати біомаса окремих особин (табл. 4.4).

Цілком закономірним є збільшення фітомаси окремих особин від стадії ювенільних (j) до стадії дорослих генеративних (g₂) та зменшення фітомаси

особини протягом наступних етапів онтогенезу. Найбільші значення фітомаси особин певних вікових станів спостерігали біля підніжжя й на терасі відвалу ЦЗФ та на вершині відвалу шахти “Надія”, що пов’язано із кращими едафотопними умовами росту.

Ще однією важливою характеристикою, яка дає змогу деталізувати розподіл фітомаси між особинами виду та визначити, який із вікових станів забезпечує максимальний приріст фітомаси в угрупованні, є розподіл фітомаси особин, що належать до певного вікового стану, на одиницю площі (табл. 4.5). Біля підніжжя й тераси відвалу ЦЗФ в угрупованні за участю *C. epigeios* максимальне нагромадження фітомаси припадає на середньовікові генеративні особини (179,46-226,69 г/м²), а на схилі із перегорілою та неперегорілою породою – на молоді генеративні особини (46,56-78,72 г/м²). Аналізуючи фітомасу генеративної групи особин на різних елементах рельєфу відвалу, спостерігаємо неоднакове співвідношення між фітомасою молодих і середньовікових особин на одиницю площі. На терасі їх співвідношення майже однакове, при підніжжі відвалу фітомаса g_2 особин у 6 раз більша від g_1 , на схилі з неперегорілою та перегорілою породами фітомаса молодих генеративних особин (g_1) у 2 і 3 рази більша за фітомасу дорослих генеративних особин (g_2). Отже, основна частина фітомаси сконцентрована в генеративній групі особин і для підніжжя вона становить 73 % від загальної фітомаси *C. epigeios*, для тераси – 92 %, та 63 і 64 % на схилах з неперегорілою та перегорілою породами відповідно. Саме генеративна група особин забезпечує міграцію органічної речовини та формування гумусового горизонту внаслідок відпаду відмерлих частин (листіків, стебел), адже запас фітомаси постгенеративної групи є незначним і змінюється від 2,2 до 6,4 г/м² (0,5-3 %). Хоча кількість прегенеративних особин в угрупованні є значною, та вони не відіграють такої важливої ролі в нагромадженні фітомаси як генеративна група особин.

Таблиця 4.4

Надземна фітомаса особин *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth за умов росту на різних елементах мезорельєфу та в угрупованнях стадій сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт

Елемент мезорельєфу та стадія сукцесії	Вікова стадія, абсолютно-суха маса однієї особини, г (M±m)							
	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss	s
Відвал ЦЗФ								
Підніжжя (злакова)	0,28±0,01	0,80±0,02	2,32±0,05	3,46±0,06	14,02±0,15	2,25±0,08	0,57±0,01	0,24±0,01
Тераса (злакова)	0,55±0,01	0,98±0,03	2,08±0,05	3,22±0,03	20,53±0,26	1,82±0,04	0,64±0,01	0,30±0,01
Схил (неперегоріла порода) (злакова)	0,19±0,01	0,60±0,01	1,74±0,01	3,28±0,07	6,31±0,05	1,59±0,02	0,52±0,01	0,12±0,01
Схил (перегоріла порода) (злакова)	0,18±0,01	0,54±0,01	0,93±0,01	1,94±0,02	4,62±0,06	1,59±0,02	0,52±0,01	0,12±0,01
Відвал шахти “Надія”								
Вершина (злакова)	0,22±0,01	0,78±0,01	2,19±0,06	3,88±0,09	8,98±0,05	1,93±0,04	0,73±0,02	0,14±0,01
Відвал шахти “Візейська”								
Тераса (деревно-злакова)	0,11±0,01	0,49±0,01	0,97±0,02	1,85±0,02	3,16±0,03	1,21±0,01	0,10±0,01	0,09±0,01

Таблиця 4.5

Запас надземної фітомаси *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth різних вікових станів за умов росту на різних елементах мезорельєфу та в угрупованнях стадій сукцесії рослинності відвалів вугільних шахт

Елемент мезорельєфу та стадія сукцесії	Віковий стан							
	j	im	v	g ₁	g ₂	g ₃	ss	s
Відвал ЦЗФ								
Підніжжя (злакова)	$\frac{6,72 \pm 0,62}{2,3}$	$\frac{32,01 \pm 2,19}{10,7}$	$\frac{40,93 \pm 2,59}{13,7}$	$\frac{33,22 \pm 2,10}{11,1}$	$\frac{179,46 \pm 5,22}{60,2}$	$\frac{3,60 \pm 0,25}{1,2}$	$\frac{1,82 \pm 0,03}{0,6}$	$\frac{0,38 \pm 0,09}{0,1}$
Тераса (злакова)	$\frac{11,44 \pm 0,96}{2,2}$	$\frac{15,68 \pm 0,93}{3,1}$	$\frac{9,98 \pm 0,67}{2,0}$	$\frac{226,69 \pm 10,32}{44,9}$	$\frac{229,94 \pm 9,28}{45,5}$	$\frac{8,74 \pm 0,50}{1,7}$	$\frac{2,05 \pm 0,31}{0,4}$	$\frac{0,48 \pm 0,15}{0,1}$
Схил (неперегоріла порода) (злакова)	$\frac{4,56 \pm 0,32}{2,3}$	$\frac{29,76 \pm 1,77}{14,8}$	$\frac{30,62 \pm 3,31}{15,3}$	$\frac{78,72 \pm 6,86}{39,2}$	$\frac{40,37 \pm 4,74}{20,1}$	$\frac{10,18 \pm 1,86}{5,1}$	$\frac{5,82 \pm 0,95}{2,9}$	$\frac{0,58 \pm 0,10}{0,3}$
Схил (перегоріла порода) (злакова)	$\frac{4,90 \pm 0,38}{4,6}$	$\frac{16,42 \pm 1,26}{15,6}$	$\frac{14,88 \pm 1,51}{14,1}$	$\frac{46,56 \pm 3,48}{44,2}$	$\frac{14,78 \pm 2,48}{14,0}$	$\frac{5,09 \pm 0,53}{4,8}$	$\frac{1,66 \pm 0,22}{1,6}$	$\frac{1,15 \pm 0,21}{1,1}$
Відвал шахти "Надія"								
Вершина (злакова)	$\frac{4,30 \pm 0,46}{1,4}$	$\frac{40,21 \pm 2,95}{12,9}$	$\frac{72,03 \pm 7,46}{23,1}$	$\frac{110,36 \pm 4,89}{35,4}$	$\frac{63,86 \pm 3,43}{20,5}$	$\frac{12,01 \pm 3,95}{3,9}$	$\frac{7,79 \pm 0,69}{2,5}$	$\frac{1,24 \pm 0,13}{0,4}$
Відвал шахти "Візейська"								
Тераса (деревно-злакова)	$\frac{1,23 \pm 0,09}{1,2}$	$\frac{29,79 \pm 1,32}{28,3}$	$\frac{35,70 \pm 1,54}{34,0}$	$\frac{26,64 \pm 1,31}{25,3}$	$\frac{5,06 \pm 0,28}{4,8}$	$\frac{5,81 \pm 0,57}{5,5}$	$\frac{0,80 \pm 0,08}{0,8}$	$\frac{0,14 \pm 0,02}{0,1}$

Примітка: над рисою – г/м² (M±m), під рисою – % від загальної надземної фітомаси.

На деревно-злаковій стадії сукцесії основна частина фітомаси сконцентрована у прегенеративній групі – 63 %, із якої основну масу формують віргінільні особини – 35,70 г/м² (34 %).

Висновки до розділу. На відвалах вугільних шахт ЧГПР *C. epigeios* належить едифікаторна роль, в угрупованнях, які утворюються в ході сукцесії рослинності. На нерекультивованих ділянках техногенно девастованих територіях, за його участю формуються майже монодомінантні угруповання. За віковими спектрами всі досліджувані ценопопуляції на відвалах вугільних шахт є інвазійного типу, що свідчить про їх відносну молодість та інтенсивне вегетативне розмноження. На злаковій стадії сукцесії рослинності відвалів кількість особин на одиницю площі змінюється від 125 ос/м² до 200 ос/м², що забезпечує домінантне положення виду в ценозі. Під час переходу із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів спостерігається загальне пригнічення генеративного розмноження внаслідок зменшення кількості насіння у суцвіттях та кількості генеративних пагонів на одиницю площі.

РОЗДІЛ 5

СЕРЕДОВИЩЕТВОРНА РОЛЬ КУНИЧНИКА НАЗЕМНОГО НА ВІДВАЛАХ ВУГІЛЬНИХ ШАХТ

В умовах Малого Полісся специфіка еколого-географічних умов, перетворення ґрунтового покриву, рельєфу та природної рослинності, порушення екологічних принципів природокористування, спеціалізація виробництва, нерівномірність урбанізації спричинили значні локальні відмінності ландшафту. Особливо гострою є проблема компенсації та нейтралізації порушень в районах видобування кам'яного вугілля, в яких руйнування ґрунтів, рослинності та новоутворень рельєфу у вигляді відвалів, украй негативно впливають на довкілля. Провідним шляхом в оптимізації таких ділянок ландшафту є фітомеліорація. Її поділяють на дві групи: лісова меліорація та меліорація за допомогою трав'яної рослинності [116, 117]. Фітомеліоративні заходи мають бути адаптивними, тобто відповідати зональним особливостям ландшафту та типам рослинності. За функціями рослини для фітомеліорації відвалів поділяють на естетичні та середовищетворні. Пертиненційні (середовищетворні) категорії рослин-фітомеліорантів запобігають впливу негативних фізико-географічних процесів та послаблюють їх дію [30, 47, 63].

Середовищетворна функція рослин на відвалах полягає у зміні живою речовиною у процесі її життєдіяльності фізико-хімічних параметрів середовища. Сюди належать механічні (розпушування техногенного субстрату корінням і т.д.), хімічні (наприклад, підвищення чи зниження рН ґрунту) та фізичні (виділення в атмосферу чи субстрат алелопатичних речовин, "підігрів" ґрунту перегноєм, зміни температурного та водного режимів субстратів тощо) впливи. Підбір таких рослин проводять за їх здатністю самовідновлюватись вегетативно або насіннєвим способом, що є однією з умов успішності збереження насаджень та розширення ареалу свого

існування, інтенсивності нагромадження фітомаси, зміни фізико-хімічних властивостей субстрату, формування гумусового горизонту та гумусоутворення, та їх подальша роль у заселенні відвалів іншими рослинами у ході сукцесії рослинності. Показано, що в фонових умовах і при хімічному забрудненні у формуванні біогенних циклів значну роль відіграють видова структура угруповання, специфіка нагромадження хімічних елементів, біомаса окремих видів, продуктивність фітоценозу загалом. Вирішальним для нагромадження хімічних елементів у біомасі рослин є не прямий токсичний вплив значних концентрацій елементів у ґрунтах, а спричинена цим хімічна деградація середовища, виражена в зміні видового складу угруповання і в зниженні загальної біомаси фітоценозу [28].

5.1. Едафічні характеристики в угрупованнях кунічника наземного

5.1.1. Зміни температурного та водного режимів

Відвали вугільних шахт є аномальними утвореннями на території Малого Полісся. Від прилеглих територій вони відрізняються едафічними та мікрокліматичними умовами. Ці умови є ключовою ланкою, яка визначає час заселення, тип рослинності та хід сукцесії рослинності на відвалах, адже для нормального росту рослин на будь-якому субстраті необхідні певні температурний та водно-повітряний режими і забезпечення субстратів вологою є однією з умов росту та розвитку рослин [166, 204]. Субстрати породних відвалів вугільних шахт ЧГПР характеризуються значним вмістом гравійних частинок (3-1 мм), що погіршують водний режим. Практично більшість породи є чорною, що спричиняє поглинання сонячної радіації та збільшення її температури. Усі ці фактори й особливості рельєфу відвалів, який за розміщенням, елементами мезорельєфу, крутизною схилів, які можуть перевищувати 45°, значною висотою (до 68 м) над рівнем місцевості є аномальним для прилеглих ландшафтів [12], спричиняють локальний

мікроклімат, який негативно впливає на поселення як трав'яних, так і деревних видів рослин. В умовах ЧГПР кількість атмосферних опадів є сприятливою для формування рослинності [27], але небезпеку становить найспекотніший місяць – липень із мінімальною часткою опадів. Нагрівання поверхні відвалів у цьому місяці є небезпечним для рослин через можливість їх загибелі внаслідок опіку кореневої шийки та швидкого висушування поверхневих шарів породи [27]. На відвалах, де спостерігається явище горіння породи в угрупованні, яке формується із деревних рослин, можливе обпикання їх кореневої системи, що в свою чергу може призвести до їх всихання.

Трав'яні види, які поселяються на відвалах вугільних шахт, яким властива широка фітоценотична й екологічна амплітуда та формуючи цілі зарості, можуть сприяти зміні едафічних властивостей і зменшувати негативний вплив, спричинений нагріванням і висушуванням породи. Одним із таких трав'яних видів є куничник наземний, який на відвалах вугільних шахт належить до складу злакових асоціацій і на первинних етапах сукцесій рослинності відвалів є едифікатором і відіграє провідну роль у покращенні середовища існування та чинить значний вплив на показники мікроклімату. З'ясування мікрокліматичної специфіки в угрупованнях куничника наземного є актуальним з точки зору формування сприятливих умов на відвалах для поселення інших видів рослин значно чутливіших до змін мікроклімату.

Екстремальні гідротермічні умови, характерні для окремих структур рельєфу породних відвалів, визначають хід природного їх заростання [27]. Розподіл польової вологості та температури субстрату в угрупованнях куничника наземного та субстраті без рослинності на різних як за ступенем природного заростання і рекультивації відвалів, так і за елементами мезорельєфу, експозицією відрізняється досить істотно (таблиці 5.1, 5.2).

Таблиця 5.1

Польова вологість і температура субстрату під
Calamagrostis epigeios (L.) Roth на відвалі Центральної збагачувальної
фабрики (липень 2011 р.)

Елемент мезорельєфу	Експозиція	Польова вологість, %		Температура, °С	
		Max-Min	M±m	Max-Min	M±m
Підніжжя	східна	11-5,5/	7,9±0,4/	36,1-30,0/	33,6±0,6/
		13,7-4,6	7,2±0,7	36,5-30,7	34,7±0,4
Тераса	західна	19,1-6,6/	12,9±0,9/	39,6-30,9/	36,2±0,7/
		5,5-2,4	4,5±0,3	40,6-30,9	36,9±0,8
Схил (неперегоріла порода)	західна	9,3-2,2/	5,9±0,4/	38,7-31,9/	34,7±0,7/
		4-0,2	1,7±0,2	40,7-31,4	35,6±0,9
Схил (перегоріла порода)	західна	9,2-2,9/	5,7±0,4/	39,5-30,3/	34,8±0,9/
		7,3-2,2	4,6±0,3	40,3-31,8	35,9±0,8

Примітка: значення польової вологості та температури субстрату під куничником наземним / значення в оголеному (без рослинності) субстраті.

У субстраті під куничником наземним максимальне значення польової вологості зафіксовано на терасі відвалу ЦЗФ, її середнє значення становило 12,9 %, далі відбувалося зменшення польової вологості за такою схемою: підніжжя, схил із неперегорілої породи, схил із перегорілої породи. Найменше значення температури під куничником наземним зафіксовано в підніжжі відвалу, з підняттям до вершини спостерігалось її збільшення.

Порівнюючи дані польової вологості та температури, які отримані в угрупованнях куничника наземного і в субстраті без рослинності, спостерігали збільшення польової вологості та зменшення температури під куничником наземним. У цьому випадку задерніння шахтної породи *C. epigeios* позитивно впливає на зміни польової вологості та температури субстрату.

Результати дослідження змін польової вологості та температури субстрату на природно зарослому і рекультивованому відвалах подано у таблиці 5.2.

Таблиця 5.2

Польова вологість і температура субстрату під
Calamagrostis epigeios (L.) Roth на відвалах шахти “Візейська” та “Надія”
(липень 2011 р.)

Елемент мезорельєфу	Експозиція	Польова вологість, %		Температура, °С	
		Max-Min	M±m	Max-Min	M±m
Природно зарослий відвал шахти “Візейська”					
Тераса	західна	20,4-4,7	13,0±1,0	39,9-32,5	35,0±0,5
Рекультивований відвал шахти “Надія”					
Вершина	північна	10,1-6,0/	8,0±0,3/	36,3-25,3/	30,1±1,0/
		5,6-1,1	3,6-0,3	36,8-26,6	32,8±0,9

Примітка: позначення подано ті самі, що і для таблиці 5.1.

Максимальну польову вологість зафіксовано на терасі природно зарослого відвалу шахти “Візейська” під *C. epigeios*, середнє значення якої становило 13 %, але в цих умовах основну роль у зміні середовища існування чинить деревна рослинність, адже куничник наземний втрачає своє домінантне положення в угрупованні у ході сукцесії рослинності на деревно-злаковій стадії внаслідок затінення та конкурентних взаємовідносин із *Betula pendula* Roth., *Populus tremula* L. і *Pinus sylvestris* L. (трав’яний ярус у сформованому рослинному угрупованні дуже зріджений і фрагментарний, проективне вкриття до 15 %). Значення вологості та температури для оголеного субстрату західної тераси природно зарослого відвалу шахти “Візейська” не подається, оскільки практично вся тераса покрита рослинністю.

Польова вологість на відвалі шахти “Надія” під куничником наземним була у 2,2 раза більшою, ніж в оголеному субстраті, а середні значення температури відрізнялися на 2 °С. Отже, зміни гідротермічних умов на

відвалах вугільних шахт залежать від експозиції, елементів мезорельєфу, типів субстрату (перегоріла, неперегоріла породи, ґрунтосуміш внаслідок рекультивації на гірничо-технічному етапі), стадії їх заростання, а отже, і типу рослинного покриву.

5.1.2. Гранулометричний склад субстрату

Гранулометричний склад є однією з найважливіших характеристик ґрунтів, що має важливе значення для оцінки його фізико-механічних властивостей.

Як відомо, більшість фізико-хімічних властивостей субстрату залежить від співвідношення скелету та дрібнозему. Так, великий відсоток скелетної частини субстрату (>1 мм) вказує на їх значну водопроникність. Збільшення маси фракцій <1 мм (дрібнозем) відображає покращення едафічних умов, які сприятимуть поселенню рослин. Дрібнозем – це та частина ґрунту, до якої в більшості належить основна маса органічної речовини, а також більша частина рухомих форм мінеральних елементів, які доступні для рослин. Так, майже 80-90 % азоту міститься у складі гумусу, тобто органічної частини ґрунту.

На відвалі ЦЗФ проаналізовано гранулометричний склад різних зразків породи відвалу та субстрату з-під кунічника наземного за вертикальною градацією елементів мезорельєфу (вершина, тераса, схил, підніжжя (табл. 5.3)).

На вершині відвалу ЦЗФ, вміст дрібнозему був мінімальним і становив 3,6 %, тому цей елемент мезорельєфу відвалів найменш придатний для заростання рослинами. Із отриманих результатів щодо розподілу гранулометричних елементів у субстраті відвалу та під угрупованнями із домінуванням *S. epigeios* можна стверджувати, по-перше, збільшення фракції дрібнозему під кунічником наземним на різних ділянках відвалу порівняно із оголеним субстратом, у 1,1-1,9 раза, що є позитивним, оскільки створюються сприятливіші фізико-механічні умови едафотопу для росту та поселення

рослин, які замінять з часом кунічник наземний. По-друге, спостерігається пряма залежність між елементами мезорельєфу, співвідношенням скелетної частини та фракції дрібнозему. Так, у напрямку від підніжжя відвалу до його вершини збільшується скелетна частина і зменшується фракція дрібнозему, винятком є лише ділянка терас оголеного субстрату де ця закономірність не простежується. Фракції >3 та 3-1 мм (скелет) надають субстрату відвалів несприятливих водно-повітряних властивостей. Їх вміст в оголеному субстраті відвалу змінювався у межах 65,5-96,4 %, а під *C. epigeios* знаходився в межах 50,8-68,2 %, що вказує на покращення водоутримання субстрату під кунічником.

Таблиця 5.3

Гранулометричний склад субстратів породного відвалу Центральної збагачувальної фабрики

Тип субстрату	Розмір фракцій у мм, вміст у %			Скелет субстрату (>1мм, %)
	>3 (камінь)	3-1 (гравій)	<1 (дрібнозем)	
Вершина				
неперегоріла порода	91,1±1,6	5,3±0,2	3,6±0,1	96,4±1,8
Схил				
неперегоріла порода	43,2±0,5	35,1±0,2	21,7±0,4	78,3±0,7
неперегоріла порода під кунічником	25,1±0,3	36,5±4,6	38,4±4,3	61,6±4,9
перегоріла порода	40,8±2,7	36,7±0,1	22,4±0,6	77,5±2,8
перегоріла порода під кунічником	36,9±0,8	31,3±1,1	30,7±0,7	68,2±1,9
Тераса				
неперегоріла порода	40,8±0,3	24,7±0,3	34,6±0,7	65,5±0,6
неперегоріла порода під кунічником	41,0±2,6	22,6±1,7	36,3±0,9	63,6±4,4
Підніжжя				
неперегоріла порода	35,4±3,2	35,3±2,1	25,3±1,4	70,7±5,3
неперегоріла порода під кунічником	24,6±1,8	26,2±0,5	49,2±1,3	50,8±2,3

На основі проведеного гранулометричного аналізу можна вважати, що субстрати відвалів вугільних шахт є несприятливими для росту більшості рослин. Збільшення частки дрібнозему субстрату в рослинних угрупованнях із домінуванням куничника наземного на всіх елементах мезорельєфу нерекультивованого відвалу сприяє покращенню фізико-механічних властивостей субстратів.

5.1.3. Зміна актуальної кислотності субстрату

Під час вивчення хімічних властивостей техногенного едафотопу особливе значення має реакція середовища (рН). За її значенням судять про придатність того чи іншого субстрату для росту рослин [248]. Вивчення цього показника на різних відвалах вугільних шахт протягом дослідження дало можливість знайти певні спільні закономірності. На відвалі ЦЗФ найменше значення рН субстрату було зафіксовано у підніжжі відвалу ($3,59 \pm 0,01$) і збільшувалось у напрямку до його вершини де становило ($3,95 \pm 0,06$) (табл. 5.4).

Таблиця 5.4

Значення актуальної кислотності субстратів з-під
Calamagrostis epigeios (L.) Roth на відвалі Центральної збагачувальної
фабрики

Тип субстрату	рН (H_2O)
Вершина	
неперегоріла порода	$3,95 \pm 0,06$
Схил	
неперегоріла порода	$3,65 \pm 0,06$
неперегоріла порода під куничником	$3,89 \pm 0,05$
перегоріла порода	$3,76 \pm 0,02$
перегоріла порода під куничником	$4,10 \pm 0,01$
Тераса	
неперегоріла порода	$3,83 \pm 0,02$
неперегоріла порода під куничником	$3,94 \pm 0,07$
Підніжжя	
неперегоріла порода	$3,59 \pm 0,01$
неперегоріла порода під куничником	$3,74 \pm 0,06$

На підставі аналізу мінливості актуальної кислотності оголеного субстрату та з-під куничника наземного на усіх елементах мезорельєфу, встановлено, що під *C. epigeios* показник рН був більшим на 0,11-0,34. Суттєвих змін показника рН під куничником наземним у рослинних угрупованнях на нерекультивованому відвалі протягом дослідження не було виявлено, лише у підніжжі відвалу протягом трьох років спостерігалось зменшення цього показника на одиницю, що, можливо, пов'язано зі змивом іонів гідрогену (які утворюються при дисоціації сульфатної кислоти) до підніжжя відвалу.

Під куничником наземним на вершині рекультивованого (нанесенням шару піщаного ґрунту) відвалу шахти “Надія” та терасі природно зарослого відвалу шахти “Візейська” значення рН становило $6,60 \pm 0,12$ та $5,10 \pm 0,09$ відповідно, що є кращим для росту і розвитку судинних рослин.

5.1.4. Розподіл важких металів у субстратах і фітомасі куничника наземного

На сьогодні в умовах зростання антропогенного впливу на навколишнє середовище важливою є проблема забруднення його важкими металами [102, 120, 162, 176, 221]. Особливо це актуально для техногенно забруднених територій [96, 100]. У зв'язку з цим важливим є вивчення перерозподілу ВМ між ґрунтом і рослинами для з'ясування фітореMediaційних властивостей останніх [7, 42, 51, 101, 103, 144, 245]. Одними з таких антропогенно порушених територій є відвали вугільних шахт.

Відвали, на яких не здійснюються рекультиваційні роботи, є джерелом пилоутворення. Лише з одного середнього терикона щороку вимивається і видувається у вигляді пилу понад 400 тонн породи. Крім того, з нього вилуговується понад 8 тонн хімічних речовин, в тому числі сполуки важких металів. Усі ці речовини та їх сполуки створюють навколо терикону зону техногенного забруднення. Тому процес формування рослинного покриву є дуже важливим, адже відбувається як нагромадження важких металів у

рослинах, так і зв'язування субстрату коренями і кореневищами, що зменшує процес вивітрювання та вимивання породи, яка містить значну кількість важких металів [17, 138]. Питання перерозподілу важких металів у субстратах, надземних, підземних частинах й відпаді кунічника наземного є дуже важливим для з'ясування умов формування едафотопу під час поселення піонерних видів, перерозподілу важких металів при цьому між субстратом і рослинами та стабілізації умов техногенного покриву відвалів.

На думку багатьох вчених, однією з проблем геохімічного обстеження територій і встановлення рівнів техногенного забруднення ґрунтів є порівняння одержаних результатів аналізів [162]. Тому А. І. Фатєєв і Я. В. Пашенко [212] для нормування техногенних впливів, окрім гранично допустимих концентрацій (ГДК) та кларкового вмісту за А. П. Виноградовим [53] того чи іншого елемента, запропонували використовувати також фоновий вміст мікроелементів у ґрунтах України і застосовувати його як місцеві кларки окремих елементів. Слід зауважити, що, характеризуючи проби субстрату відвалу ЦЗФ без рослинності, перевищення ГДК валового вмісту важких металів було лише за Cu у 1,5-2 рази (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Валовий вміст важких металів у породі відвалу Центральної збагачувальної фабрики

Тип субстрату	Зольність %	Валовий вміст важких металів (мг/кг повітряно-сухого матеріалу)					
		Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Неперегоріла порода	84,7	27,5	0,28	330	10,4	191,4	3655
Перегоріла порода	94,2	26,8	0,38	363	7,8	128,6	6397
ГДК	–	100	3	1500	30	100	–
Кларк за А.П. Виноградовим	–	50	0,5	850	10	20	38000
Фоновий вміст	–	13,6	–	207	11	5	8112

Хоча, як відомо з літератури (було відібрано 212 проб субстрату) [14, 18], у середньому на відвалі характерне значне перевищення ГДК за Pb, Cu, Cr. Порівнюючи результати наших досліджень із фоновим вмістом на цій території, яка представлена дерново-підзолистими ґрунтами (розділ 2),

спостерігали збільшення вмісту Zn і Mn на пробних ділянках без рослинного покриву у 1,5 та Cu у 40 разів, перевищення ж кількості Pb було лише у субстраті під заростями кунічника на схилі відвалу ЦЗФ з перегорілою породою. Отже, вміст цих ВМ є аномальним для прилеглої території і завдяки вимиванню та вивітрюванню субстрату важкі метали є потенційними забруднювачами навколишніх екосистем. Тому актуальним було дослідити ланцюг міграції та розподіл ВМ у органах кунічника наземного. Результати такого дослідження представлені у таблицях 5.6 та 5.7.

Таблиця 5.6

Валовий вміст важких металів у надземній, підземній фітомасі
Calamagrostis epigeios(L.) Roth та задернованому субстраті
нерекультивованого відвалу

Тип едафотопу та фітомаса рослин	Зольність, %	Валовий вміст важких металів (мг/кг повітряно-сухого матеріалу)					
		Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Схил (перегоріла порода)							
Відпад	17,4	14,2	<0,05	45,6	1,7	3,7	524
Надземна фітомаса	10,6	17,8	<0,05	49,7	< 0,05	1,8	44
Підземна фітомаса	6,9	23,6	<0,05	46,4	< 0,05	4,1	116
Задернований субстрат	93,6	22,5	<0,05	51,9	21,7	12,1	2972
Схил (неперегоріла порода)							
Відпад	8,5	9,5	<0,05	35,1	1,3	4,5	291
Надземна фітомаса	5,4	26,2	<0,05	94,0	< 0,05	9,6	55
Підземна фітомаса	4,6	20,4	<0,05	21,2	< 0,05	8,7	148
Задернований субстрат	84,2	12,7	<0,05	34,7	17,1	4	3369
Тераса (неперегоріла порода)							
Відпад	9,8	16,7	<0,05	78,8	0,1	3,1	210
Надземна фітомаса	9,1	7,6	<0,05	46,3	0,1	1,3	40
Підземна фітомаса	10,3	32,9	<0,05	76,8	2,1	6,5	398
Задернований субстрат	94,2	9,2	<0,05	25,9	8,5	6,4	3506

Одним із найзагальніших показників, які характеризують нагромадження мікроелементів, у тому числі і важких металів у рослин, є вміст в них зольних елементів. Показано, що зольність у надземній (5,4-10,6 %) та підземній (4,6-10,3 %) фітомасі є практично на однаковому рівні (табл. 5.6).

Особливості розміщення та нагромадження мікроелементів значно змінюється для різних елементів, видів рослин і сезонів росту. Аналізуючи вміст важких металів у надземних, підземних органах і відпаді куничника наземного, слід зазначити, що відбувається селективне нагромадження важких металів і їх перерозподіл за частинами рослин. Вміст важких металів також залежить від фази розвитку рослини та можливих взаємодій між хімічними елементами в ґрунті [240].

Аналізуючи вміст важких металів у різних частинах куничника наземного, показано, що у кореневій частині рослини іноді містяться більші їх концентрації. Це пояснюється тим, що корінь є первинним бар'єром при надходженні елементів з ґрунту в рослини.

Таблиця 5.7

Валовий вміст важких металів у надземній, підземній фітомасі *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та задернованому субстраті шахтних відвалів

Фітомаса рослин	Зольність, %	Валовий вміст важких металів (мг/кг повітряно-сухого матеріалу)					
		Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Природно зарослий відвал шахти "Візейська" (Тераса)							
Відпад	14,2	15,6	<0,05	88,2	1,9	2,2	215
Надземна фітомаса	10,5	5,4	<0,05	50,8	< 0,05	1,9	30
Підземна фітомаса	12,0	46,5	<0,05	35,8	2,4	5,9	174
Задернований субстрат	82,5	11,7	<0,05	22,5	14,3	6,0	1680
Рекультивований відвал шахти "Надія" (Вершина)							
Відпад	15,1	24,6	0,26	155,0	5,0	39,4	910
Надземна фітомаса	8,8	20,5	0,16	251,2	2,2	22,9	95
Підземна фітомаса	4,5	41,3	0,23	436,0	6,3	61,7	2112
Задернований субстрат	88,1	14,4	0,28	314,0	7,8	54,3	1117

Нагромадження заліза кореннями та кореневищами *C. epigeios* на рекультивованому відвалі шахти “Надія”, було у два рази більшим, ніж у задернованому субстраті. Незначне нагромадження у підземній частині Fe в інших локалітетах куничника наземного, можливо, пояснюється його переходом у недоступні для рослини сполуки внаслідок високої кислотності на цих пробних ділянках (рН 3,7-4,1).

Перерозподіл елементів між живими органами, відпадом *C. epigeios* і задернованим субстратом характеризується такою схемою зменшення кількісного вмісту важких металів: задернований субстрат → підземна фітомаса → відпад → надземна фітомаса.

Важливе значення також має ряд акумуляції важких металів рослинами, який розкриває особливості їх кількісного розподілу.

Задернований субстрат Fe→Mn→Zn→**Pb**→**Cu**→Cd

Підземна фітомаса Fe→Mn→Zn→Cu→Pb→Cd

Надземна фітомаса **Mn**→**Fe**→Zn→Cu→Pb→Cd

Відпад Fe→Mn→Zn→Cu→Pb→Cd

Аналізуючи всі дані за частинами рослин на різних субстратах та елементах рельєфу, спостерігається однакова закономірність – ряд акумуляції починається залізом і закінчується кадмієм незалежно від типу субстрату, елемента мезорельєфу чи частини рослини, винятком лише є надземна частина, де найбільше нагромаджується Mn. Це може бути наслідком його фізіологічної потреби зокрема для функціонування апарату фотосинтезу, де він необхідний для активності низки ферментів [70]. Його нагромадження у надземній фітомасі, можливо, пояснюється ще й перерозподілом із відпаду та підземної фітомаси у фотосинтезуючі органи. Для *C. epigeios* у цих умовах росту характерний обернений порядок розташування Pb та Cu за вмістом у субстраті та частинах рослин, це, очевидно, пов’язано із тим що Cu – біогенний елемент, який необхідний для функціонування низки фізіологічних процесів, а Pb – хімічний елемент, фізіологічні функції якого на сьогодні не доведені, відповідно Cu

поглинається рослиною активніше. Також відзначено мінімальний вміст Pb і Cd у фітомасі куничника наземного, очевидно, для нормальної життєдіяльності рослини необхідна мінімальна кількість цих елементів.

Ще одним важливим показником є коефіцієнт біотичного поглинання (КБП) важких металів рослинами, тобто відношення вмісту хімічного елемента у золі рослини до його вмісту в ґрунті [103, 111]. Ці коефіцієнти, розраховані для Cu, Zn, Fe, Pb, Cd на всіх елементах мезорельєфу відвалу ЦЗФ та терасі відвалу шахти “Візейська” перебувають у межах середніх значень для рослинності суші, лише для Mn він на порядок більший (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Коефіцієнти біотичного поглинання важких металів у
Calamagrostis epigeios (L.) Roth за умов росту на породних відвалах

Елемент рельєфу та тип субстрату	Коефіцієнт біотичного поглинання важких металів (вміст хімічного елемента у золі рослини / вміст у субстраті)*					
	Zn	Cd	Mn	Pb	Cu	Fe
Сформований відвал ЦЗФ						
Схил (перегоріла порода)	7,49/15,20	—**	9,05/12,97	—**	1,44/4,86	0,14/0,56
Схил (неперегоріла порода)	38,58/35,09	—**	50,50/13,30	—**	44,19/46,55	0,30/0,96
Тераса (неперегоріла порода)	9,10/34,88	—**	19,57/28,91	0,06/2,41	2,14/9,83	0,13/1,11
Природно зарослий відвал шахти “Візейська”						
Тераса (суміш порід)	4,40/32,93	—**	21,49/13,23	—**	2,97/8,10	0,17/0,86
Рекультивований відвал шахти “Надія”						
Вершина (ґрунтосуміш)	16,18/63,73	6,49/18,25	9,08/30,86	3,21/17,95	4,79/25,25	0,97/42,02

* Коефіцієнт біотичного поглинання в надземній фітомасі / у підземній фітомасі.

** Вміст нижче межі чутливості приладу.

Високі КБП відзначено на перегорілому субстраті відвалу ЦЗФ, порівняно із неперегорілими, що, можливо, пов’язано із більшою кількістю рухомих (доступних для рослин) форм ВМ. На відвалі шахти “Надія” коефіцієнт біотичного поглинання *C. epigeios* для Cd на один порядок

перевищує середні значення для рослинності суші, що вказує на значний вплив куничника наземного на біогеохімічний колообіг цього елемента у техногенному середовищі. Порівнюючи коефіцієнти біотичного поглинання надземною та підземною частинами *C. epigeios*, показано значно вищі показники у коренях та кореневищах куничника наземного. Отже, підземні органи *C. epigeios* відіграють важливу роль у геохімічному розподілі ВМ у техногенному середовищі.

У куничнику наземному за умов росту на субстратах відвалів найінтенсивніше нагромаджувались Zn, Mn, а найменше у фітомасі акумулювалося Pb і Cd. Показано, що у процесі заростання породних відвалів вугільних шахт *C. epigeios* відбувається перерозподіл вмісту важких металів у субстраті та фітомасі, що вказує на значну геохімічну роль цього виду в техногенному ландшафті.

5.2. Асиміляція та перерозподіл органічної речовини в угрупованнях куничника наземного

5.2.1. Нагромадження фітомаси

Важливими напрямками у вивченні процесів спонтанної демутації рослинного покриву техногенно девастрованих територій є не лише опис рослинності, що дає змогу прогнозування послідовних етапів його розвитку і можливих заходів щодо рекультивації, а й дослідження домінантних видів та їхньої ролі у формуванні угруповань рослин під час сукцесії рослинності. Одним із таких найменш вивчених аспектів організації домінантних видів у рослинних угрупованнях на техногенно девастрованих територіях є оцінка динаміки надземної фітомаси, яка є однією із найважливіших ознак їх продуктивності та може бути індикаторним показником успішності відновлення антропогенно порушених земель [40, 115].

Одним із чинників, що обмежують заростання субстратів породних

відвалів рослинами, є незначний вміст поживних речовин. Більшість видів рослин є вибагливими до властивостей едафотопу. На первинних етапах заростання відвалів поселяються види, яким характерна широка еколого-фітоценотична амплітуда [45, 188], серед яких особливе місце посідає *C. epigeios*, що поселяється на субстратах із малим вмістом гумусу (менше 0,5 %) [38]. Із часом під куничником наземним покращуються едафотопні характеристики, завдяки формуванню гумусового шару внаслідок нагромадження та перерозподілу органічної речовини, яка утворилася під час фотосинтезу. Результати досліджень розподілу фітомаси в різних вікових групах *C. epigeios* детально розглянуті у розділі 4. Тут ми конкретніше зупинимося на запасі загальної надземної фітомаси *C. epigeios*, адже від її нагромадження значною мірою залежить формування гумусового горизонту.

Найбільші показники фітомаси визначені на терасі відвалу ЦЗФ (504,99 г/м²). Найменше нагромадження фітомаси *C. epigeios* зареєстровано на схилі із перегорілою породою – 105,44 г/м². Завдяки вивченню кількості фітомаси на різних частинах відвалу із специфічними мікрокліматичними й ґрунтовими умовами отримано таке співвідношення: підніжжя (3) – тераса (5) – схил (неперегоріла порода) (2) – схил (перегоріла порода) (1) (за умовну одиницю прийнято 100 г/м² фітомаси). Найсприятливішою територією для росту *C. epigeios* і відновлення рослинного покриву на кореневищній (злаковій) стадії сукцесії є тераси відвалу. Особливості едафотопу під куничником також підтверджують це припущення. Так, на терасі відвалів у субстраті з-під *C. epigeios* середній показник польової вологості становив 12,9 %, вміст органічного Карбону – 1,97 %, тоді як на схилі із перегорілою породою у субстраті під цим видом польова вологість була 5,7 %, а вміст органічного Карбону – 0,86 % [38]. Окрім цього, відзначено також збільшення валового вмісту Zn, Mn, Pb, Cu у субстраті під *C. epigeios* на схилі із перегорілою породою майже у 2 рази, порівняно із вмістом у субстраті під куничником на терасі [37].

Отже, в умовах недостатньої зволоженості та малого вмісту органічного Карбону в субстраті зменшувалося нагромадження фітомаси куничником наземним в угрупованнях на злаковій стадії сукцесії.

На вершині рекультивованого відвалу шахти “Надія” запас фітомаси *C. epigeios* становив 311,88 г/м². На природно зарослому відвалі шахти “Візейська” у ході сукцесії рослинності на деревно-злаковій стадії куничник наземний втрачає своє домінантне положення в угрупованні внаслідок затінення та конкурентних взаємовідносин із *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Pinus sylvestris*, *Salix caprea*, *Robinia pseudoacacia*, *Quercus robur* (трав’яний ярус у сформованому рослинному угрупованні дуже розріджений і фрагментарний, проективне покриття до 15 %), і тому нагромадження ним фітомаси становить лише 105,17 г/м².

Таким чином, нагромадження фітомаси куничником наземним залежить не лише від едафотопних характеристик (зволоження субстратів, вмісту органічного Карбону та ін), елементів техногенного мезорельєфу породних відвалів вугільних шахт, стадії сукцесії, а й від домінантного виду та його впливу на середовище існування. Цей показник є важливою характеристикою формування гумусового горизонту, але повністю не зясовує динаміку його формування, яка пов’язана із деструкційними процесами органічної речовини, асимільованої в процесі фотосинтезу, що буде розглянуто в наступному підрозділі.

5.2.2. Деструкція клітковини

Процес формування й заростання відвалів вугільних шахт триває десятки й сотні років. Формування ґрунтового горизонту на субстратах відвалів, які практично позбавлені біогенних елементів і непридатні для використання, відбувається внаслідок розкладу відмерлих решток рослин, які поселилися на них [134]. Процес руйнування рослинних відмерлих решток

пов'язаний із мікрокліматичними умовами в угрупованні та симбіотичною взаємодією в основному із мікроорганізмами та грибами [219, 250].

На рис. 5.1 показано динаміку інтенсивності розкладу клітковини під куничником наземним на різних елементах мезорельєфу відвалу ЦЗФ.

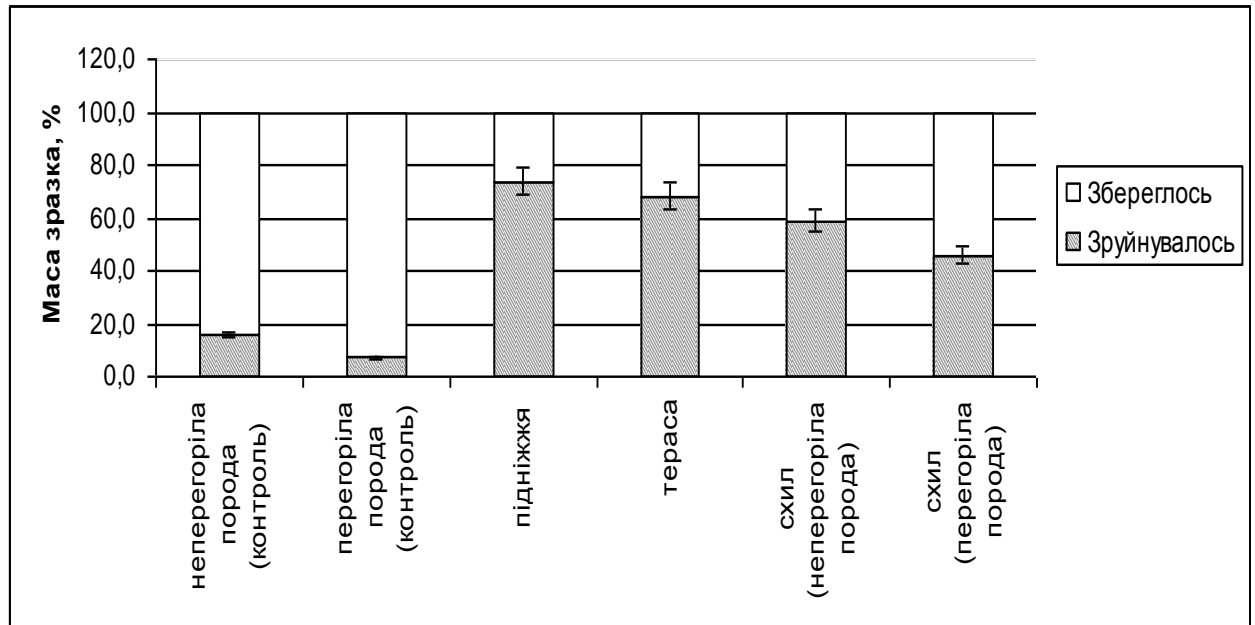


Рис. 5.1. Інтенсивність деструкції клітковини в 0-10 см шарі субстрату під куничником наземним на нерекультивованому відвалі Центральної збагачувальної фабрики.

Встановлено, що збільшення деструктивних процесів відбувається на підніжжі (73,9 %) та терасах (68,2 %) відвалу ЦЗФ, де спостерігаються кращі мікрокліматичні та едафічні умови і відзначено значну кількість целюлозоруйнівних мікроорганізмів – 18,8 і 8,9 тис КУО. в одному грамі повітряно-сухого субстрату відповідно. Отже, швидкі деструктивні процеси у субстраті під куничником наземним, можливо, пов'язані із симбіотичною взаємодією його із целюлозоруйнівними мікроорганізмами, які пришвидшують розклад клітковини.

Дослідниками кафедри генетики та біотехнології біологічного факультету ЛНУ ім. Івана Франка були виявлені штами актиноміцетів у ризосфері рослин, які росли на відвалі, а в субстратах без рослин їх не виявлено [160]. Тому й деструкція зразків, які були закладені у перегорілій та

неперегорілій породі, є мінімальною (становить 5-15 %), адже чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів (до цієї групи належать актиноміцети) у цих субстратах є незначною і становить 1,6 і 2,0 тис. КУО / г повітряно-сухого субстрату відповідно. Під час заростання нерекультивованих відвалів кунічником наземним активуються процеси розкладу його відмерлих решток і формування гумусового горизонту.

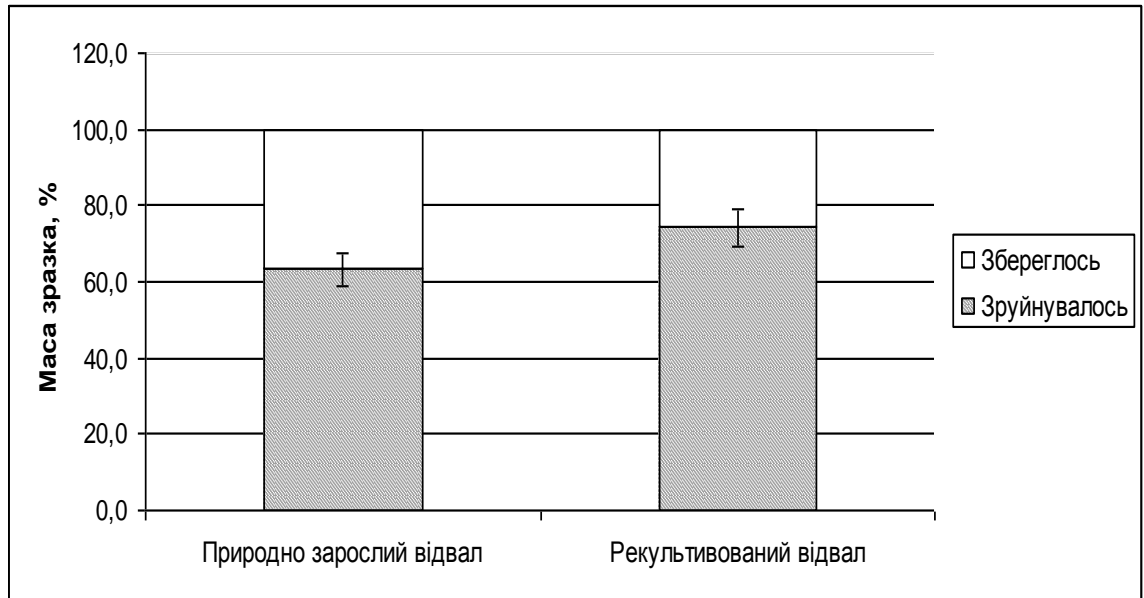


Рис. 5.2. Інтенсивність деструкції клітковини в 0-10 см шарі під кунічником наземним на природно зарослому та рекультивованому відвалах.

Характеризуючи деструкцію клітковини у субстраті під кунічником наземним на природно зарослому та рекультивованому відвалах (рис. 5.2), спостерігається високий ступінь розкладу дослідного зразка тканини – 63,2 % та 74,1 %, що пов'язано із цілою низкою факторів (мікрокліматичних, едафічних, фітоценотичних, мікробною активністю та ін). На відвалі шахти “Візейська” та “Надія” чисельність целюлозоруйнівних мікроорганізмів становить 10,2 та 15,4 тис. КУО / г повітряно-сухого субстрату відповідно.

Деструкція клітковини, яка є основним процесом мінералізації рослинних решток у субстраті, швидко відбувається під кунічником на природно зарослому та рекультивованому і на підніжжі та терасах нерекультивованого відвалу. Інтенсивність деструкції клітковини прямо

залежить ($r \geq 0,9$) від чисельності целюлозоруйнівних мікроорганізмів у субстраті.

5.2.3. Нагромадження органічного Карбону

Однією з важливих характеристик, які сприяють поселенню рослин та їх росту, є збільшення вмісту органічних речовин у ґрунті. Динаміка його змін на девастованих територіях залежить від типу субстратів, мікрокліматичних умов, елементів рельєфу, рослинності, які в комплексі й визначають кількість надходження органічних залишків у ґрунтового покриві, швидкість та цілісність їх розкладання та гуміфікації [133, 135, 220, 247]. У зв'язку з цим було визначено вміст органічного Карбону у субстратах породного відвалу під куничником наземним (табл. 5.9).

Значний вміст органічного Карбону у субстраті відвалу ЦЗФ, можливо, пов'язаний із тим що він міг належати до складу вугленосної породи однак як відомо органічні речовини шахтних порід не мінералізуються і не стають доступними для живлення рослин [206].

Таблиця 5.9

Вміст органічного Карбону у субстратах під *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth на відвалі Центральної збагачувальної фабрики

Тип субстрату	Вміст органічного Карбону (%)
Схил	
неперегоріла порода	0,67±0,06
неперегоріла порода під куничником	0,80±0,02
перегоріла порода	0,71±0,08
перегоріла порода під куничником	0,86±0,15
Тераса	
неперегоріла порода	1,12±0,09
неперегоріла порода під куничником	1,97±0,27
Підніжжя	
неперегоріла порода	1,12±0,14
неперегоріла порода під куничником	1,86±0,02

Показано, що максимальне нагромадження органічного Карбону під куничником наземним відбувалося у підніжжі та на терасах нерекультивованого відвалу (1,86-1,97 %). Це, можливо, пов'язано з тим, що на досліджуваних ділянках був кращий водний режим субстратів (польова вологість у літньо-осінній період змінювалась на підніжжі від 7,9 до 12,9 % і на терасі – від 6,6 до 19,1 % порівняно із іншими елементами мезорельєфу), значні запаси фітомаси *C. epigeios* та інтенсивна деструкція відмерлих решток рослин. Також значне нагромадження його на терасах та у підніжжі, можливо, пов'язане ще й із змиванням верхнього шару субстрату зі схилів. У субстраті під куничником наземним на всіх елементах мезорельєфу відвалу ЦЗФ вміст органічного Карбону був у 1,2-1,8 раза більшим, ніж у субстраті поруч рослинного угруповання. На природно зарослому та рекультивованому відвалі у субстраті під куничником наземним вміст органічного Карбону становив $1,61 \pm 0,19$ %, та $1,65 \pm 0,06$ % відповідно.

Отже, нагромадження органічного Карбону у субстраті під куничником наземним встановлено на усіх досліджуваних відвалах незалежно від стадії їх рекультивації та природного заростання, що сприяє ґрунтоутворювальному процесу.

5.2.4. Роль куничника наземного у формуванні гумусового горизонту на техногенному субстраті

У процесах ґрунтоутворення на відвалах бере участь цілий каскад едафічних та фітоценотичних параметрів. Важливу участь у цьому процесі відіграють багаторічні рослинні організми, у тому числі куничник наземний, який змінює весь комплекс властивостей техногенного ландшафту (рис 5.3.). Після його потрапляння, проростання, росту та розвитку, формування заростей внаслідок вегетативного та насінневого розмноження відбуваються процеси гумусонагромадження.

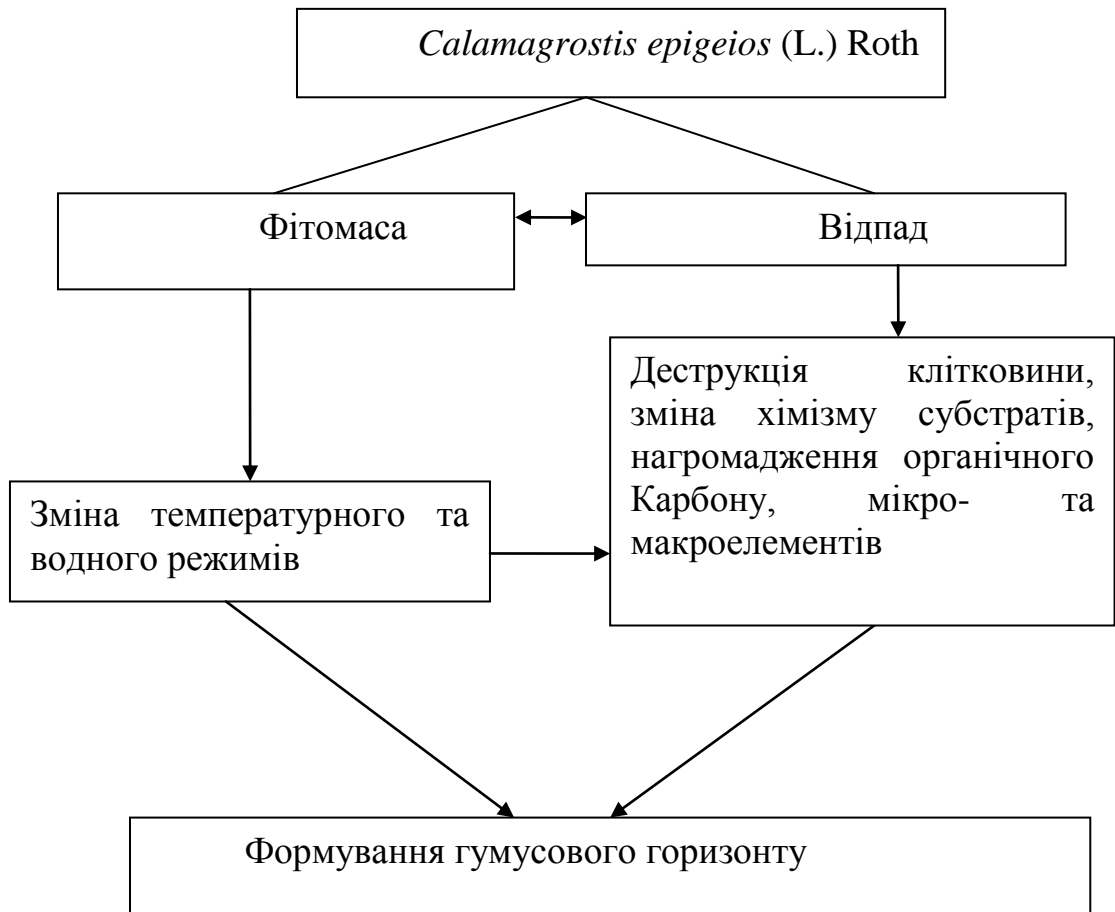


Рис. 5.3. Схема процесу формування гумусового горизонту під *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth на відвалах вугільних шахт.

Нагромадження надземної фітомаси *C. epigeios* покращує водний режим (встановлено дуже сильний ($r \geq 0,9$) зв'язок між фітомасою та вмістом води у субстраті під куничником наземним), що сприяє кращому розкладу відмерлих решток. Показано пряму сильну ($0,9 \geq r \geq 0,7$) залежність між нагромащеною фітомасою *C. epigeios* та інтенсивністю деструкції клітковини. Розкладання відмерлих решток збагачує субстрат мікро- та макроелементами, збільшує вміст органічного Карбону, що сприяє подальшому біотичному освоєнню цих територій. Кожен сформований пагін чи партикула внаслідок розвитку їхніх кореневих систем збагачують ґрунт органічними речовинами, а відмерлі корені створюють речовинно-енергетичну базу для ґрунтових сапротрофів (сильнокореляційними виявились зв'язки між запасом підземних кореневищ куничника наземного та

чисельністю целюлозоруйнівних мікроорганізмів у субстраті під ним). Кореляція між фітомасою куничника наземного та іншими фізико-механічними (гранулометричний склад) і хімічними (рН (H_2O), вміст важких металів) показниками техногенного едафотопу була нестабільною та нечіткою.

Отже, у субстраті під куничником наземним на злаковій та деревно-злаковій стадіях сингенетичної сукцесії рослинності породних відвалів вугільних шахт посилюється інтенсивність мінералізації та гуміфікації і починають розвиватися гумусово-акумулятивні процеси.

5.3. Алелопатичний вплив виділень куничника наземного на проростання насіння і ростові показники сосни звичайної

Однією із причин сукцесії (змін фітоценозів) є зміна середовища в результаті життєдіяльності рослин і інших організмів, які входять в склад фітоценозів і створення умов, які забезпечують існування одних і пригнічення (а інколи навіть і повного зникнення) інших. Поряд із температурним, водним і світловим режимами, агрохімічними і фізичними властивостями ґрунту важливим фактором зміни середовища фітоценозу може бути алелопатія [99]. При переході із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів куничник наземний є сповільнювачем цього процесу. Оскільки прогностичною асоціацією, яка сформується на відвалах вугільних шахт ЧГПР, є *Pineto-Quercetum* та спостерігається поселення сосни звичайної на відвалі ЦЗФ унаслідок самосіву, важливо було перевірити алелопатичний вплив корневих виділень та відпаду куничника наземного на проростання насіння сосни звичайної (табл. 5.10).

Характеризуючи вплив витяжок з порід відвалу (перегорілої та неперегорілої), було відзначено істотне пригнічення проростання сосни звичайної спричинене перегорілою породою (кількість пророслих насінин становить 64 % порівняно з контролем). Щодо впливу корневих виділень

куничника наземного та екстракту з відпаду куничника наземного, більш негативний алелопатичний вплив на проростання сосни звичайної спричиняв екстракт з відпаду куничника наземного.

Таблиця 5.10

Вплив виділень куничника наземного та витяжок з субстратів породного відвалу на проростання насіння сосни звичайної

Варіант	Кількість пророслих насінин сосни звичайної (шт.)	
	M±m	% до контролю
Контроль	14,7±0,3	100
Неперегоріла порода	10,3±0,3	70
Перегоріла порода	9,3±0,3	64
Відпад куничника	10,3±0,8	70
Кореневі виділення куничника	11,7±0,9	80

Аналогічні результати спостерігалися і за морфометричними показниками сосни звичайної (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Морфометричні показники сосни звичайної під впливом виділень куничника наземного та витяжок з субстратів породного відвалу

Варіант	Довжина пагона (см)	Маса пагона (мг)	Довжина кореня (см)	Маса кореня (мг)
	M±m	M±m	M±m	M±m
Контроль	7,27±0,15	42,18±3,18	1,56±0,13	4,91±0,84
Неперегоріла порода	3,41±0,11	31,45±1,75	1,29±0,10	1,55±0,25
Перегоріла порода	5,75±0,13	37,82±1,08	1,64±0,13	3,55±0,21
Відпад	4,26±0,18	34,64±1,39	1,96±0,05	4,10±0,22
Кореневі виділення	6,59±0,19	44,27±0,97	1,99±0,03	4,64±0,20

Довжина пагона та маса кореня сосни звичайної зменшуються у понад 2 рази за росту на неперегорілій породі порівняно з контролем. Зміни морфометричних показників за росту сосни на перегорілій породі та екстракті із відпаду куничника є практично на однаковому рівні.

На підставі обрахунку індексу алелопатичного впливу виділень куничника наземного на проростання сосни звичайної (рис. 5.4) показано, що він становив 23,0 % за росту сосни звичайної на екстракті із відпаду та 5,2 % за росту на фільтраті із кореневих виділень куничника наземного.

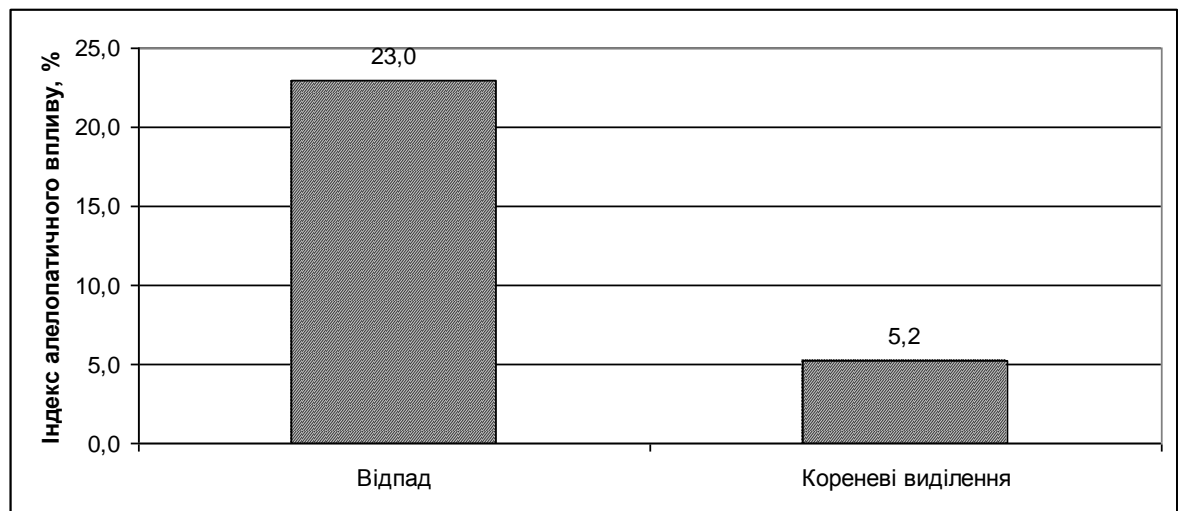


Рис. 5.4. Алелопатичний вплив виділень куничника наземного на проростання та ріст сосни звичайної.

Показано, що алелопатичний вплив виділень із різних частин куничника наземного на сосну звичайну є незначним, але завдяки швидкому задернінню породи та зменшенню потрапляння насіння у субстрат він на довгий час унеможлиблює швидке та масове поселення деревних рослин на ділянках відвалу, де куничник наземний є едифікатором.

Висновки до розділу. При заростанні субстратів відвалів вугільних шахт куничником наземним відбувається зміна фізико-хімічних характеристик едафотопу внаслідок зміни температурного та водного режимів, збільшення фракцій дрібнозему, які забезпечують рослини більшістю рухомих форм мікро- та макроелементів, перерозподілу вмісту важких металів у субстраті та рослинах. Нагромадження органічної речовини

S. epigeios її відпад і швидка деструкція збільшують вміст органічного Карбону у субстраті під куничником наземним на відвалах вугільних шахт. Проаналізовані едафічні властивості субстратів відвалів під куничником наземним свідчать про кращі умови росту і розвитку рослин у підніжжі та терасах нерекультивованого відвалу ЦЗФ. За умов рекультивації відвалів та їх природного заростання відбувається покращення едафічних умов субстратів. Алелопатичний вплив корневих виділень куничника наземного та його відпаду на проростання і ріст сосни звичайної є незначним.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі проаналізовано зміну популяційних характеристик *C. epigeios* за умов сукцесії рослинності на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району, вивчено біохімічні адаптивні реакції та середовищеві функції. Отримано такі основні наукові результати:

1. У процесі формування едафотопу від стадій окиснення та вимивання до масового поселення рослин (загальне проективне покриття рослинного покриву становить 50-70 %) на відвалах зменшується зольність субстрату (від 94,8 до 83,5 %), збільшується вміст органічної речовини (від 0,11 до 1,97 %) та значення рН (від 3,3 до 5,5), змінюється вміст важких металів у субстраті.

2. Встановлено, що фітотоксичний ефект субстрату на стадії окиснення був найбільшим (100 %), унаслідок вимивання дещо зменшувався і становив для перегорілої породи 68 %, для неперегорілої 22 %. На стадії масового поселення рослин фітотоксичність субстратів зменшувалася, а характеристики едафотопу були сприятливішими для поселення, росту та розвитку рослин.

3. Показано, що куничник наземний має широку екологічну амплітуду до едафічних характеристик техногенного середовища. Значення рН, при якому куничник наземний зберігає нормальну життєдіяльність, змінюється в межах від 3,7 до 8,0. Цей вид практично є невибагливим до кількості органічної речовини в субстраті відвалів (0,5-2,0 %), польова вологість у субстраті під куничником наземним становила 3-20 %.

4. Екологічна валентність куничника наземного до несприятливих чинників відвалів вугільних шахт пов'язана із структурними змінами в апараті фотосинтезу. Визначено кількісні зміни пігментів фотосинтезу, збільшення розмірів хлоропластів (у два рази), нагромадження в них вуглеводів за умов росту на субстратах відвалу, порівняно з контролем.

5. Встановлено зменшення в органах куничника наземного за умов росту на субстратах відвалу загального вмісту амінокислот (у 1,6 раза), порівняно із контролем, разом із тим відзначено збільшення вмісту стрес-протекторних амінокислот (проліну, тирозину, гістидину, сірковмісних амінокислот, γ -аміномасляної кислоти) і фенольних сполук.

6. За віковими спектрами всі досліджувані ценопопуляції куничника наземного на відвалах вугільних шахт є інвазійного типу, що свідчить про їхню відносну “молодість” та інтенсивне вегетативне розмноження. Під час переходу із злакової на деревно-злакову стадію сукцесії рослинності відвалів визначено загальне пригнічення генеративного розмноження внаслідок зменшення кількості насіння у суцвіттях (у 2 рази) і кількості генеративних пагонів на одиницю площі (у 3 рази).

7. Встановлено найбільші показники нагромадження надземної фітомаси *C. epigeios* на терасі відвалу ЦЗФ злакової стадії сукцесії – 504,99 г/м², що пов’язано із кращими мікрокліматичними умовами. Внаслідок втрати видом домінантного положення у фітоценозі на деревно-злаковій стадії сукцесії рослинності (тераса відвалу шахти “Візейська”) запаси його фітомаси зменшувалися до 105,17 г/м².

8. В угрупованнях *C. epigeios* на техногенних відвалах поліпшувався гідротермічний режим субстратів (збільшується вологість у 1,1-2,9 раза та зменшується температура на 0,6-1,1 °С, порівняно з оголеним субстратом).

9. Покращення едафічних властивостей субстрату під куничником наземним, порівняно з оголеним субстратом, пов’язане із збільшенням на різних елементах мезорельєфу техногенних відвалів фракцій дрібнозему (у 1,1-1,9 рази), вмісту органічного Карбону (у 1,2-1,8 раза), кількості целюлозоруйнівних мікроорганізмів (у 3-9 разів), інтенсивності деструкції клітковини (у 4-6 разів), перерозподілом вмісту важких металів у системі субстрат/рослина.

10. Важлива середовищетворна роль куничника наземного у поліпшенні едафічних і мікрокліматичних умов, формування гумусового горизонту дає

підстави рекомендувати цей вид як перспективну рослину-фітомеліоранта відвалів вугільних шахт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Аверчук А. С. Поширення лишайників у екотопах атропогенно трансформованих територій / А. С. Аверчук // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк : Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2010, вып. 10. – С. 36-41.
2. Авксентьева О. О. Роль білкової системи у формуванні адаптивних реакцій до посухи на ранніх етапах онтогенезу озимої пшениці / О. О. Авксентьева // автореф. дис. канд. біол. наук. : 03.00.12. – Харків, 2004. 21 с.
3. Агурова І. В. Еколого-популяційна характеристика рослинного покриву відвалів вугільних шахт у Донбасі (життєвість, динаміка, прогнозування) / І. В. Агурова // Автореф. дис. канд. біол. наук. – Дніпропетровськ, 2006. – 20 с.
4. Александрова В. Д. Изучение смен растительного покрова / В. Д. Александрова // Полевая геоботаника. – М. ; Л. : Изд-во. АН СССР. – 1964. – Т. 3. – С. 300–447.
5. Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв / Е. В. Аринушкина. – М. : Изд-во Москов. ун-та, 1970. – 488 с
6. Артюшенко О. М. Форми фосфору та його біохімічна трансформація в ґрунтах відвалів гірничо-видобувних підприємств за їх біологічної рекультивациі / О. М. Артюшенко // Міжвідомчий тематичний науковий збірник. Агрохімія і ґрунтознавство. – Харків : ННЦ «ІГА імені О.Н. Соколовського», 2009. – Випуск 71. – С. 166-171.
7. Баимова С. Р. Тяжелые металлы в системе «почва–растения–животные» в условиях башкирского зауралья / С. Р. Баимова // Автореф. дисс. : канд. биологических наук. 03.00.16. Уфа, 2009. 19с.
8. Барабой В. А. Биологическое действие растительных фенольных соединений / В. А. Барабой. – Киев : Наукова думка, 1976. – 260 с.
9. Баранник Л. П. Лесная рекультивация отвалов угольных карьеров в Южном Кузбассе / Л. П. Баранник // Рекультивация в Сибири и на Урале. –

- Новосибирск : Наука, 1970. – С. 125-129.
10. Баранник Л. П. Экологическое обоснование и опыт лесной рекультивации на техногенных территориях в Кузбассе / Л. П. Баранник // Программа и методика изучения техногенных биоценозов. – М. : Лесная промышленность, 1978. – С. 159-165.
 11. Баранник Л. П. Лесовозобновление на породных отвалах угольных разрезов Южного Кузбасса / Л. П. Баранник, Е. Р. Кандрашин // Почвообразование в техногенных ландшафтах. – Новосибирск, 1979. – С. 172-179.
 12. Баранов В. І. Екологічний опис породного відвалу вугільних шахт ЦЗФ ЗАТ "Львівсистеменерго" як об'єкта для озеленення / В. І. Баранов // Вісн. Львів. ун-ту, сер. Біол. – 2008. – Вип. 46. – С. 172-178.
 13. 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: матер. V міжнар. наук. конф. – Донецьк, 2007. – С. 36-37.
 14. 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.
 15. Баранов В. Деякі біохімічні показники адаптації куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) до умов едафотопу відвалів вугільних шахт / В. Баранов, С. Бешлей, Я. Телегус // Вісн. Львів. ун-ту, сер. біол. – 2012. – Вип. 58. – С. 292-299.
 16. Баранов В. Вплив капсульованих добрив на ростові показники, вміст пігментів фотосинтезу та вуглеводів у проростків ріпаку за росту на ґрунтах породного відвалу вугільних шахт / В. Баранов, М. Козловський, М. Гавриляк, С. Бешлей // Вісн. Львів. ун-ту, сер. біол. 2010. – Вип. 52. – С. 167-171.

17. Баранов В. І. Вивчення вмісту важких металів у деревних рослин на девастованих ґрунтах породного відвалу вугільних шахт / В. І. Баранов, М. М. Гузь, М. Я. Гавриляк та ін. // Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 20.1. – С. 68-72.
18. Баранов В. І. Вміст пігментів і структура хлоропластів куничника наземного (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) за умов росту на відвалах породи вугільних шахт / В. І. Баранов, С. В. Бешлей, Р. Р. Соханьчак та ін. // Біологічні студії / *Studia Biologica*. – 2011. – Т. 5, № 3. – С. 97-102.
19. 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.
20. Баранова О. О. Ґрунтові водорості хвостосховища та прилеглих територій на Криворіжжі / О. О. Баранова, І. А. Мальцева // Екологія та ноосферологія. – 2009. – Т. 20, № 3-4. – С. 110-115.
21. Башуцька У. Б. Озеленення породних відвалів шахтарського Червонограда на Львівщині / У. Б. Башуцька // *Наук. вісник УкрДЛТУ // Зб. наук.-техн. праць. – Львів, УкрДЛТУ. – 2001, вип. 11.5. – С. 297-301.*
22. Башуцька У. Б. Біоморфологічна структура флори породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька // *Наук. вісник УкрДЛТУ // Зб. наук.-техн. праць. – Львів, УкрДЛТУ. – 2002, Вип. 12.8. – С. 76-79.*
23. Башуцька У. Б. Географічна структура флори породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька // *Наук. вісник УкрДЛТУ // Зб. наук.-техн. праць. – Львів, УкрДЛТУ. – 2002, Вип. 12.3. – С. 23-26.*
24. Башуцька У. Б. Лікарські рослини породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька // *Ресурсознавство, колекціонування та охорона біорізноманіття. – Полтава, 2002. – С. 59-61.*

25. Башуцька У. Б. Синантропна рослинність породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька // Наук. вісник УкрДЛТУ // 36. наук.-техн. праць. – Львів, УкрДЛТУ. – 2002, Вип. 12.4. – С 202-204.
26. Башуцька У. Б. Флороценотипична структура флори породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька // Наук. вісник УкрДЛТУ // 36. наук.-техн. праць. – Львів, УкрДЛТУ. – 2003, Вип. 13.1. – С 52-57.
27. Башуцька У. Б. Сукцесії рослинності породних відвалів шахт Червоноградського гірничопромислового району / У. Б. Башуцька. – Львів : РВВ НЛТУ України, 2006. – 180 с.
28. Безель В. С. Роль травянистых растительных сообществ в формировании биогенных циклов химических элементов / В. С. Безель, Т. В. Жуйкова // Поволжский экологический журнал. – 2010. – № 3. – С. 219-229.
29. Безносюк С. В. Активність антиоксидантної системи за вмістом аскорбінової кислоти у проростків тифону на ґрунтах Швацького НПП і субстратах породного відвалу вугільних шахт / С. В. Безносюк, В. І. Баранов, Н. Г. Баюн та ін. // Матер. наук. конф. «Стан і біорізноманіття екосистем Шацького національного природного парку». – Львів: 2010 р. – С. 19-20.
30. Бельгард А. Л. О невесомой ценности лесов Литвы / А. Л. Бельгард // Экология и эстетика ландшафта. – Вильнюс: Минтис, 1975. – С. 31–47.
31. Берестецький О. А. Методы определения токсичности почв / О. А. Берестецький – К. : Урожай, 1971. – С. 139–243.
32. Бессонова В. П. Вплив важких металів на пігментну систему листка / В. П. Бессонова // Український ботанічний журнал. – 1992. – Т. 49, № 2. – С. 63-66.
33. Бессонова В. П. Состояние пыльцы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В. П. Бессонова. – Экология. – 1992. – № 4. – С.

- 45-50.
34. Бессонова В. П. Динамика пигментов и углеводов в листьях акации белой, произрастающей в различных лесорастительных условиях / В. П. Бессонова, О. Ф. Михайлов, А. И. Корытова // Вопросы степного лесоведения и охраны природы. – Днепропетровск : ДГУ, 1976. – С. 100-105.
35. Бессонова В. П. Влияние цитокинина на рост растений и содержание хлорофилла в листьях в условиях загрязнения среды / В. П. Бессонова, И. И. Лыженко, О. Ф. Михайлов и др. // Физиология растений. – 1984. – Т. 31, № 6. – С. 1149-1153.
36. Бессонова В. П. Влияние кинетина на рост проростков гороха и содержание пигментов при избытке цинка в питательном растворе / В. П. Бессонова, И. И. Лыженко, О. Ф. Михайлов и др. // Физиология растений. – 1985. – Т. 32, № 1. – С. 153-159.
37. Бешлей С. В. Особливості нагромадження надземної фітомаси *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth у сукцесійних угрупованнях на відвалах вугільних шахт Червоноградського гірничопромислового району (Львівська область) / С. В. Бешлей // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2011. – Т. 2 (9), № 1. – С. 23-32.
38. Бешлей С. В. Зміна субстратів відвалів породи Червоноградського гірничопромислового району при заростанні куничником наземним (*Calamagrostis epigeios* (L.) Roth) / С. В. Бешлей, В. І. Баранов, І. М. Микієвич // Біологічні студії / *Studia Biologica*. – 2010. – Т. 4, № 2. – С. 75-82.
39. Бешлей С. В. Оцінка токсичності субстратів відвалів вугільних шахт методом біотестування / С. В. Бешлей, В. І. Баранов, С. П. Ващук // Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21. – С. 98-102.
40. Билонога В. М. Сукцессии растительности на отвалах серных месторождений Предкарпатья / В. М. Билонога // Автореф. дисс. канд.

- биол. наук. – Днепропетровск, 1989. – 20 с.
41. Білонога В. М. Динаміка індивідуальних параметрів і структури популяції *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth (Poaceae) у первинній сукцесії на техногенних субстратах сірчаних родовищ Львівської області / В. М. Білонога // Наукові основи збереження біотичної різноманітності. – 2012. – Т. 3(10), № 1. – С. 31-40.
42. Бортник Л. М. Забруднення ґрунту важкими металами та стан рослинності на території міста Харкова / Л. М. Бортник // Агрохімія та ґрунтознавство: спец. вип. до V з'їзду ґрунтознавців. – Харків, 1998. – ч. IV. – С. 207-214.
43. Бровко Ф. М. Особливості використання стеблових живців як садивний матеріал для озеленення відвальних ландшафтів Придніпровської височини / Ф. М. Бровко // Наук. вісн. УкрДЛТУ : Зб. наук.-техн. праць. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.5. – С. 185-190.
44. Бровко Ф. М. Культурфітоценози дуба на відвальних ландшафтах Придніпровської височини / Ф. М. Бровко // Наукові доповіді НАУ. – 2008. – Т. 1, № 9. – С. 1-9.
45. Бровко Ф. Ю. Техногенні сукцесії на відвальних ландшафтах / Ф. Ю. Бровко, В. Ю. Юхновський // Вісник ХНАУ. Лісове господарство. – 2010. – № 5. – С. 187-191.
46. Бурда Р. И. Антропогенная трансформация флоры / Р. И. Бурда. – Киев: Наук. думка. – 1991. – 168 с.
47. Бяллович Ю. П. Метод фитомелиорации / Ю. П. Бяллович // Научн. отчет за 1945 г. Укр. ин-та агролесомелиорации. – Киев-Харьков, 1945. – С. 105–148.
48. Бяллович Ю. П. О некоторых биогеоценологических основах общей теории фитомелиорации / Ю. П. Бяллович // Теоретические проблемы фитоценологии и биогеоценологии. – М. : Наука, 1970. – С. 5-16.

- 49.Вайнагій І. В. Інтенсивність проростання насіння деяких рослин Українських Карпат, зібраного з різних висот / І. В. Вайнагій // Укр. ботан. журн. – 1960. – Т. 28, № 2. – С. 50-59.
- 50.Вайнагий И. В. К методике изучения семенной продуктивности растений / И. В. Вайнагий // Бот. журн. – 1974. – Т. 59, № 6. – С. 826–831.
- 51.Валерко Р. А. Забруднення важкими металами ґрунтового покриву і фітоценозів на території м. Житомира та прилеглих до нього агро-екосистем / Р. А. Валерко // Вісн. ДАЕУ. – 2008. – № 1. – С. 356-366.
- 52.Верех-Білоусова К. Й. Породні відвали вугільних шахт як техногенні родовища алюмінію, галію та германію / К. Й. Верех-Білоусова // Вісник КДУ імені Михайла Остроградського. – 2010. – Вип. 2 (61). Ч. 1. – С. 105-107.
- 53.Виноградов А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов / А. П. Виноградов. – М. : Изд-во АН СССР, 1957. – Вип. 10.2. – С. 61-63.
- 54.Виноградов Б. В. Растительные индикаторы и их использование при изучении природных ресурсов / Б. В. Виноградов. – М. : Высш. шк., 1964. – 328 с.
- 55.Володарский Н. И. Об эффективности фотосинтеза у озимой пшеницы и высокопродуктивных сортов / Н. И. Володарский, Е. Б. Быстрых, Е. К. Николаев // Научн. докл. высш. шк. Биологические науки. – 1980. – Т. 9. – С. 84-90.
- 56.Володарский Н. И. Особенности световой стадии фотосинтеза в онтогенезе высокопродуктивных сортов озимой пшеницы / Н. И. Володарский, Е. Е. Быстрых // Сельскохозяйственная биология. – 1981. – Т. 16, № 6. – С. 847-854.
- 57.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. 638–643.
58. Гавриленко В. Ф. Большой практикум по физиологии растений. Фотосинтез. Дыхание. Учебное пособие / В. Ф. Гавриленко, М. Е. Ладыгина, Л. М. Хандобина. – М., "Высшая школа", 1975. – 392 с.
59. Ганжара Н. Ф. Практикум по почвоведению / Н. Ф. Ганжара, Б. А. Борисов, Р. Ф. Байбеков. – Под ред. Н. Ф. Ганжары. – М. : Агроконсалт, 2002. – 280 с.
60. Гладкова Л. И. Использование рекультивированных земель в сельском и лесном хозяйстве / Л. И. Гладкова. – М. : ВНИИТЭИСХ, 1977. – 53 с.
61. Глухов О. З. Життєздатність популяцій *Silene supina* М. Віб. в умовах відвалів вугільних шахт донбасу / О. З. Глухов, І. В. Агурова, С. І. Прохорова и др. // Проблеми екології а охорони природи техногенного регіону . – Донецьк: ДонНУ, 2010. – № 1 (10). – С. 26-33.
62. 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. – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2010. – Вып. 10. – С. 3-10.
63. Голубець М. А. Екологічний потенціал наземних екосистем / М. А. Голубець, О. Г. Марискевич, Б. О. Крок, М. П. Козловський. – Львів: Поллі, 2003. – 180 с.
64. Горова А. І. Оцінка токсичності ґрунтів Червоноградського гірничопромислового району за допомогою ростового тесту / А. І. Горова, С. Л. Кулина // Вісн. Львів. ун-ту, сер. Біол. – 2008. – Вип. 48. – С. 189-194.
65. Горова А. І. Біоіндикаційна оцінка токсичності поверхневих водойм в зоні впливу Червоноградської групи шахт / А. І. Горова, С. Л. Кулина // Матер. II-го Всеукраїнського зїзду екологів з міжнародною участю. – Вінниця: ФОП Данилюк, 2009. – С. 527-530.

- 66.Горова А. Про біоіндикаційну оцінку впливу на довкілля ставків-накопичувачів шахтних вод (на прикладі Червоноградського гірничопромислового регіону) / А. Горова, С. Кулина, О. Шкретко // Вісн. Львів. ун-ту, сер. біол, 2011, Вип. 56. – С. 221-226.
- 67.Гребинский С. Биохимия растений / С. Гребинский. – Львов : Вища школа. Изд-во при Львов. ун-те, 1967. – 272 с.
- 68.Грешта Я. Укрепление склонов бросовых земель, образованных в результате промышленной эксплуатации недр земли, при помощи растительности (Польша) / Я. Грешта // Охрана природы на Урале. Свердловск, 1970. – Вип. 7. – С. 63-71.
- 69.Григора І. М. Основи фітоценології / І. М. Григора, В. А. Соломаха. – К. : Фітосоціоцентр, 2000. – 240 с.
- 70.Гродзинский А. М. Краткий справочный по физиологии растений / А. М. Гродзинский, Д. М. Гродзинский. – К. : Наук. думка, 1964. – 388 с.
- 71.Губачов О. І. Особливості використання рослин для біотестування ґрунтів з метою визначення рівня екологічної безпеки промислових територій / О. І. Губачов // Наук. вісн. КУЕІТУ. – 2010. – № 3 (29). – С. 164-171.
- 72.Гудвин Т. Введение в биохимию растений / Т. Гудвин, Э. Мерсер. – М. : 1986. – Т. 1. – 392 с.
- 73.Данько В. Лесопригодность местообитаний разровненных отвалов и ассортимент древесных и кустарниковых пород для их облесения / В. Данько // Рекультивация земель. – Тарту, 1975. – С. 25-30.
- 74.Джура Н. Реакції осоки на нафтове забруднення / Н. Джура, О. Цвілинюк, О. Терек // Вісн. Львів. ун-ту, сер. біол, 2006. – Вип. 42. – С. 142-146.
- 75.Дідик Б. М. Доповідь щодо загрози техногенних катастроф і надзвичайних ситуацій у Сокальському районі / Б. М. Дідик. – Сокальська районна екологічна інспекція. – 1999. – 8 с.

- 76.Добровольский И. А. Аллелопатические аспекты сингенеза в техногенных экотопах Криворожья / И. А. Добровольский, И. А. Добровольский, В. И. Шанда // Пробл. аллелопатии. Тез. докл. IV Всесоюзн. совещ. по физиолого-биохимич. основам взаимодействия раст. в фитоценозах. – К. : Наук. думка, 1976. – С. 129-130.
- 77.Домрачева Е. А. Физико-механический и химический анализ почвы / Е. А. Домрачева. – Ленинград : Сельхозгиз, 1939. – 265 с.
- 78.Дэвени Т. Аминокислоты, пептиды и белки / Т. Дэвени, Я. Гергей. – Москва : Мир, 1976. – С. 173–186.
- 79.Ермаков А. И. Методы биохимического исследования растений / А. И. Ермаков В. В. Арасимович, Н. П. Ярош и др.. – М. : Изд-во "Колос". – 1972. – 456 с.
- 80.Жолудева І. Д. Ґрунтоутворення в техногенних ландшафтах Донбасу / І. Д. Жолудева // Автореф. дис. канд. біол. наук. – Харків, 2009. – 23 с.
- 81.Жуков С. П. Антропогенна сукцесія рослинності відвалів вугільних шахт Донбасу / С. П. Жуков // Автореф. дис. канд. біол. наук. – Дніпропетровськ, 1999. – 19 с.
- 82.Жуков С. П. Диференціація екологічних ніш видів та формування фітоценозів на техногенно порушених землях / С. П. Жуков // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк : Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2011. – Вып.11. – С. 36-41
- 83.Жуков С. П. Структура популяцій деревних рослин на відвалах шахт / С. П. Жуков, О. М. Торохова, І. В. Сетт // Наукові основи збереження біотичної різноманітності / Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України. – Львів : Ліґа-Прес, 2004. – Вип. 5. – С. 52-57.
- 84.Зайцев Г. Н. Математика в экспериментальной ботанике / Г. Н. Зайцев. – М.: Наука, 1990. – 296 с.
- 85.Запрометов М. Н. Биохимические методы в физиологии растений / М. Н. Запрометов. – М.: Наука, 1971. – 191 с.

- 86.Зборщик М. П. Предотвращение самонагрева горных пород / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – К.: Техника, 1990. – 176 с.
- 87.Зборщик М. П. Предотвращение экологически вредных проявлений в породах угольных месторождений / М. П. Зборщик, В. В. Осокин. – Донецк: ДонГТУ, 1996. – 178 с.
- 88.Зверковський В. М. Фітомеліорація шахтних відвалів в Західному Донбасі / В. М. Зверковський // Український ботанічний журнал. – К, 1997. – Вип. 54, № 5. – С. 474-481.
- 89.Землянухин А. А Организация метаболизма гамма-аминомасляной кислоты в растениях / А. А. Землянухин, Б. Ф. Иванов, А. Н. Ершова // Успехи современной биологии. – 1979. – Вип. 2. – С. 185-189.
- 90.Злаки Украины. К. : Наук. думка, 1977. – 519 с.
- 91.Іванов Є. А. Еколого-ландшафтознавчий аналіз гірничопромислових територій (на прикладі Львівської області) / Є. А. Іванов // автореф. дис. канд. геог. наук. – Київ, 2001. – 17 с.
- 92.Іванов Є. А. Радіоекологічні дослідження / Іванов Є. А. // Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка. – 2004. – 141 с.
- 93.Кабилов Р. Разработка и использование многокомпонентной тест-системы для оценки токсичности почвенного покрова городской территории / Р. Кабилов, А. Сагитова, Н. Суханова // Екологія, 1997. – № 6. – С. 408–411.
- 94.Качинский Н. А. Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения / Н. А. Качинский. – М. : Изд-во АН СССР, 1958. – 192 с.
- 95.Клевенская И. Л. Сукцессии и функционирование микробоценозов в молодых почвах техногенных экосистем Кузбаса / И. Л. Клевенская, С. С. Трофимов, С. А. Таранов и др. // Микробоценозы почв при антропогенном воздействии. – Новосибирск: Наука. – 1985. – С. 3-21.
- 96.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. – Вип. 17. – С. 148-158.
- 97.Кобилецька М. С. Адаптація рослин кукурудзи та сої до токсичної дії іонів кадмію / М. С. Кобилецька // Автореф. дис. канд. біол. наук. : 03.00.12. Львів, 2003. – 20 с.
- 98.Кобилецька М. Вплив іонів кадмію на вміст фенольних сполук та вільного проліну в рослинах кукурудзи / М. Кобилецька, О. Терек // Вісн. Львів. ун-ту, Сер. Біол. – 2002. – Вип. 28. – С. 311-316.
- 99.Ковалевський С. Б. Лісівничо-екологічна роль трав'яного покриву в культурах сосни звичайної Східного Полісся / С. Б. Ковалевський // Автореф. дис... д-ра с.-г. наук : 06.03.01 . – Л., 2003. – 33 с.
- 100.Козловський В. І. Важкі метали в ґрунтах техногенних ландшафтів родовищ самородної сірки Передкарпаття (Україна) / В. І. Козловський // Вісник Львівського університету. Сер. Географічна. – 2008. – Т. 9, № 3–4. – С. 101-107.
101. Козловський В. Кореляційні зв'язки між вмістом хімічних елементів у мохах, лишайниках і корі хвойних порід Чорногори (Українські Карпати) / В. Козловський // Вісник Львівського університету. Сер. Біологічна. – 2008. – Вип. 47. – С. 81-88.
- 102.Козловський В. Оцінка еколого-геохімічної стійкості екосистем Сколівських бескидів (Українські Карпати) до важких металів та кислих опадів / В. Козловський, Є. Пука, Д. Воронцов та ін. // Вісник Львівського університету. Сер. Біологічна. – 2007. – Вип. 45. – С. 91-101.
103. Козловський В. Важкі метали у ґрунтах та рослинах заплави ріки тиса / В. Козловський, Н. Романюк, О. Терек та ін. // Вісник Львівського університету. Сер. Біологічна. – 2005. – Вип. 40. – С. 35-50.
104. Колесниченко А. В. Белки низкотемпературного стресса растений / А. В. Колесниченко, В. К. Войников. – Иркутск : Арт-Пресс, 2003. – 196 с.

105. Кондратюк Е. Н. Промышленная ботаника / Е. Н. Кондратюк, В. П. Тарабрин, Р. И. Бурда и др. – Киев : Наук. думка, 1980. – 260 с.
106. Коршиков И. И. Ассортимент растений для озеленения коксохимических заводов / И. И. Коршиков // Интродукция и акклиматизация растений. – К., 1986. – Вып. 5. – С. 15-18.
107. Коршиков И. И. Самовозобновление древесных растений на отвалах угольных шахт Донбасса / И. И. Коршиков, С. П. Жуков // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2008, Вып. 8. – С. 17-23.
108. Косулина Л. Г. Физиология устойчивости растений к неблагоприятным факторам среды / Л. Г. Косулина, С. К. Луценко, В. А. Аксенова. – Ростов-на-Дону : Изд-во Рост. ун-та, 1993. – 235 с.
109. Кречківська Г. В. Дослідження ґрунтових мікроорганізмів на шахтних відвалах Бориславського озокеритового родовища / Г. В. Кречківська, Й. В. Царик // Вісник ОНУ. – 2011. – Т. 16, Вып. 6. – С. 55-61.
110. Кузнецов В. В. Пролин при стрессе: биологическая роль, метаболизм, регуляция / В. В. Кузнецов, Н. И. Шевякова // Физиология растений. – 1999. – Т. 46, № 2. – С. 321-336.
111. Кузнецов В. В. Физиология растений / В. В. Кузнецов, Г. А. Дмитриева. – М.: Изд-во "Высш. шк.", 2006. – 742 с.
112. Кузярін О. Т. Анотований список судинних рослин вугільних відвалів Львівсько-Волинського гірничопромислового регіону / О. Т. Кузярін // Біологічні студії / Studia Biologica. – 2010. – Т. 5, № 3. – С. 155-170.
113. Куренкова С. В. Содержание и состояние пигментов. Физиология и биохимия многолетних трав на севере / С. В. Куренкова. – Ленинград : Наука, 1982. – С. 19-30.
114. Курчій Б. О. Абсцизова кислота як кінцевий продукт антиокислюваного метаболізму ксантофілів, зумовленого дією диквату / Б. О. Курчій // Физиология и биохимия культурных растений. – 2000. – Т. 32, № 4. – С. 334-338.

115. Кухта О. С. Вивчення надземної біомаси трав'яної рослинності Вільногірського гірничо-металургійного комбінату / О. С. Кухта // Матер. міжнар. наук. конф. молодих вчених – “Актуальні проблеми ботаніки та екології”, 12-13 серпня 2011 р., – Київ, 2011. – С. 114-115.
116. Кучерявий В. П. Фітомеліорація: навч. посіб / В. П. Кучерявий. – Львів: Вид-во "Світ", 2003. – 540 с.
117. Кучерявий В. П. Рекультивація та фітомеліорація: навч.-метод. Посіб / В. П. Кучерявий, Я. В. Генік, А. П. Дида та ін.. – Львів: Вид-во НЛТУ України, 2006. – 116 с.
118. Лакин Г. Ф. Биометрия: Учеб. пособие для биол. спец. вузов / Г. Ф. Лакин // 4-е изд. М.: Высш. шк., 1990. – 352 с.
119. Лаптев О. О. Екологічна оптимізація біогеоценологічного покриву в сучасному урболандшафті / О. О. Лаптев. – К.: Держкомітет України по житлово-комунальному господарству, 1998. – 206 с.
120. Лебедева О. Ю. Геоэкологическая оценка распределения валовых форм тяжелых металлов в почвах Костромской области / О. Ю. Лебедева // Автореф. дисс. : канд. географических наук. 25.00.36. Санкт-Петербург, 2011. – 21 с.
121. Левик В. Фітотоксична оцінка ґрунтів на територіях підземної виплавки сірки Передкарпатського сірконосного басейну / В. Левик // Вісн. Львів. ун-ту, сер. Біол. – 2010. – Вип. 52. – С. 70-76.
122. Липницкая Г. П. Про альгофлору породи териконів вугільних шахт Донбасу / Г. П. Липницкая // Інтродукція та експериментальна екологія рослин. – 1974. – № 3. – С. 63-64.
123. Лисовицкая О. В. Фитотестирование: основные подходы, проблемы лабораторного метода и современные решения / О. В. Лисовицкая, В. А. Терехова // Доклады по экологическому почвоведению. – 2010. – № 1, Вип. 13. – С. 1-18.
124. Лобачевська О. В. *Campylopus introflexus* (Hedw.) Brid. – новий адвентивний вид моху для флори України / О. В. Лобачевська,

- Р. Р. Соханьчак // Укр. ботан. журн. – 2010. – Т. 67, № 3. – С. 432-437.
125. Лозановская И. Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении / И. Н. Лозановская, Д. С. Орлов, Л. К. Садовникова. – М.: Высш. шк., 1998. – 287 с.
126. Маджугина Ю. Г. Исследование способности вейника наземного аккумулировать тяжелые металлы с целью разработки технологии фиторемедиации / Ю. Г. Маджугина // автореф. дис. канд. биол. наук. – Москва, 2008. – 12 с.
127. Мазур А. Ю. Роль Криворізького ботанічного саду в озелененні та рекультивациі порушених земель Кривбасу / А. Ю. Мазур, В. В. Кучеревський // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів: УкрДЛТУ. – 2001. – Вип. 11.5. – С. 193-199.
128. Малик Ю. О. Аналіз впливу полігону твердих промислових відходів Червоноградської ЦЗФ на довкілля / Ю. О. Малик, Н. Ю. Голець // Вісн. нац. ун-ту «Львів. політехніка»: хімія, технологія речовин та їх застосування. – 2008. – Вип. 609. – С. 253-257.
129. Малиновський К. А. Основні напрямки у вивченні популяцій рослин / К. А. Малиновський, Й. В. Царик // Укр. ботан. журн. – 1983. – Т. 40, № 6. – С. 14-28.
130. Мальцева И. А. Почвенные водоросли отвала угольной шахты Донецкой области / И. А. Мальцева, Н. И. Чайка // Біологічний вісник МДПУ. – 2011. – № 3. – С. 47-56.
131. Мандрик В. О. Фітомеліорація земель, порушених гірничодобувною галуззю, у Львівсько-Волинському вугільному басейні / В. О. Мандрик // Наук. вісн. УкрДЛТУ: Зб. наук.-техн. праць. – Львів : УкрДЛТУ. – 2004. – Вип. 14.8. – С. 412-416.
132. Мануїлова Г. М. Розвиток рослинності на девастрованих землях гірничодобувних підприємств / Г. М. Мануїлова // Науковий вісник: Зб. науково-технічних праць. – Львів: УкрДЛТУ, 2004. – Вип. 14.4. – С. 34-37.

133. Марискевич О. Ферментативная активность отвалов Яворовского месторождения / О. Марискевич // Растения и промышленная среда. Тез. Докл. I Всес. Конф., 20-22 марта – Днепропетровск, 1990. – С. 173-174.
134. Марискевич О. Формування ґрунтів у межах техногенного ландшафту Яворівського ДГХП «Сірка» / О. Марискевич, І. Шпаківська, О. Дідух // Наук. вісник Чернівецького університету : Зб. наук. праць, 2005. – Вип. 251. – С. 175-185.
135. Марискевич О. Г. Первинна сукцесія на відвалах Язівського родовища сірки: зміни ґрунтових параметрів / О. Г. Марискевич, І. М. Шпаківська, М. А. Павлюк, Г. В. Полив'яна // Проблеми і перспективи розвитку природоохоронних об'єктів на Розточчі // Матеріали Міжнар. наук.-практ. конф. (с. Шкло. 6–7 липня 2000 р.). – Львів: Логос, 2000. – С. 109-112.
136. Масюк М. Т. Особенности формирования естественных и культурных фитоценозов на вскрышных горных породах и местах производственной добычи полезных ископаемых / М. Т. Масюк // Рекультивация земель. Труды Днепропетровского ДСХИ. – 1974. – Вып. 21. – С. 63-85.
137. Матолич Б. М. Природні ресурси Львівщини / Б. М. Матолич, І. П. Ковальчук, Є. А. Іванов, та ін. – Львів : ПП Лукашук В. С, 2009. – 120 с.
138. Махонина Г. И. Химический состав растений на промышленных отвалах Урала / Г. И. Махонина. – Свердловск : Изд-во Урал. ун-та, 1987. – 176 с.
139. Методические рекомендации по проведению полевых и лабораторных исследований почв и растений при контроле загрязнения окружающей среды металлами. – М. : Гидрометеиздат, 1981.
140. Миркин Б. М. Толковый словарь современной фитоценологии / Б. М. Миркин. – М. : Наука, 1983. – 133 с.

141. Миркин Б. М. Теоретические основы современной фитоценологии / Б. М. Миркин. – М. : Наука, 1985. – 136 с.
142. Миркин Б. М. Современная наука о растительности / Б. М. Миркин, Л. Г. Наумова, А. И. Соломещ. – М. : Логос, 2001. – 264 с.
143. Миронычева-Токарева Н. П. Сукцессия растительности и динамика растительного вещества при зарастании отвалов лесостепной зоны юга Средней Сибири / Н. П. Миронычева-Токарева // Автореф. дис. канд. биол. наук. – Новосибирск, 1996. – 15 с.
144. Мислива Т. М. Важкі метали в урбоедафотопах і фітоценозах на території м. Житомира / Т. М. Мислива, Л. О. Онопрієнко // Вісник ХНАУ. – 2009. – № 1. – С. 89-95.
145. Мокроносов А. Т. Фотосинтез. Физиолого-экологические и биохимические аспекты / А. Т. Мокроносов, В. Ф. Гавриленко, Т. В. Жигалова. – М. : Издательский центр «Академия», 2006. – 448 с.
146. Моторина Л. Б. К динамике естественной растительности на отвалах угольных разрезов в Подмосковном бассейне / Л. Б. Моторина, Т. И. Ижевская // Научные основы охраны природы. – М., 1973. – Вып. 2. – С. 119-129.
147. Моторина Л. В. Промышленность и рекультивация земель / Л. В. Моторина, Л. В. Овчинников. – М. : Изд-во "Мысль", 1975. – 240 с.
148. Мусієнко М. М. Фізіологія рослин: Підручник / М. М. Мусієнко. – Київ: Фітосоціоцентр, 2001. – 392 с.
149. 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.
150. Мэннинг У. Д. Биомониторинг загрязнения атмосферы с помощью растений / У. Д. Мэннинг, У. А. Федер. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 144 с.

151. Наплекова Н. Н. Формирование микробных ценозов почв техногенных ландшафтов Кузбасса / Н. Н. Наплекова, Е. Р. Кондрашин, С. С. Трофимов, Ф. А. Фактулин // Изв. Сибирского отд. АН СССР. Серия биол. Наук, 1982. – №5, Вып. 1. – С. 69-73.
152. Неспляк О. С. Сукцесії рослинного покриву золошлаковідвалів Бурштинської ТЕС / О. С Неспляк // Вісн. Прикарпатського. ун-ту, сер. біол. – 2009. – Вип. XIV. – С. 84-88.
153. Нестерчук І. Аналіз придатності розкривних порід Коростишівського буровугільного розрізу для лісової рекультивації та оптимізації навколишнього середовища на Житомирщині / І. Нестерчук // Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія. Географія. – Київ. – 2008. – Вип. 55. – С. 48-51.
154. Никитин Б. А. Определение содержания гумуса в почве / Б. А. Никитин. – Агрехимия, 1972. – Т. 3, № 3. – С. 123-125.
155. Николаевский В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / Николаевский В. С. – Новосибирск : Наука, 1979. – 280 с.
156. Новицкий М. Л. Гранулометрический состав мелкозема сульфидной горной породы и техногенных субстратов шахтных отвалов / М. Л. Новицкий // Бюллетень Никитского ботанического сада. Агроэкологія. – 2011. – Вип. 103. – С. 85-89.
157. Одум Ю. Основы экологии / Ю. Одум. – М. : Мир, 1975. – 740 с.
158. Одум Ю. Екологія / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. – Т. 1. – 328 с.
159. Одум Ю. Екологія / Ю. Одум. – М. : Мир, 1986. – Т. 2. – 376 с.
160. Осташ Б. Ріст актиноміцетів *in vivo* та *in vitro* на породах Центральної збагачувальної фабрики «Червоноградська» / Б. Осташ, Т. Грень, С. Бешлей, В. Баранов, В. Федоренко // Вісник ЛНУ. – 2011. – Вип. 57. – С. 125-130.
161. Панас Р. Н. Агроэкологические основы рекультивации земель / Р. Н. Панас. – Львов : Изд-во ЛГУ, 1989. – 158 с.
162. Паньків З. Забруднення важкими металами ґрунтів міста Бурштин

- Івано-Франківської області / З. Паньків // Вісник Львівського університету. Сер. Географічна. 2007. – Вип. 34. – С. 189-192.
163. Пат. 13646 Україна, МПК (2009) A01G 7/00 Спосіб діагностування придатності едафотопів породних відвалів для фіторекультивациї за життєздатністю популяцій рослин (на прикладі *Silene supina* M.Bieb.) / Глухов О. З., Агурова І. В., Прохорова С. І., Хархота Г. І. заявник і патентоодержувач Донецький батанічний сад НАНУ. – №50523; заявл. 28.12.2009, опубл. 10.06.2010, Бюл. №11, 22 с.
164. Пат. 50789 Україна, МПК А 01 В 79/02. Спосіб очищення ґрунтів породного відвалу вугільних шахт від важких металів / Гавриляк М., Баранов В. заявник і патентоодержувач ЛНУ ім. Івана Франка. № u200913111; заявл. 16.12.2009; опубл. 25.06.2010. Бюл. №12. 3с.
165. Плешков Б. П. Практикум по биохимии растений / Б. П. Плешков. – М. : Изд-во "Колос". – 1976. – С. 115-117.
166. Пньовська О. М. Особливості динаміки водного режиму ґрунтів лісових фітоценозів зеленої зони м. Києва / О. М. Пньовська // Наукові доповіді НАУ. – 2008. – Т. 2, № 10. – С. 1-8.
167. Полевой В. В. Физиология растений. Ученик / В. В. Полевой. – М. : Высшая школа, 1989. – 464 с.
168. Попа Ю. М. Особливості первинного ґрунтоутворення на поверхні териконів вугільних шахт Донбасу / Ю. М. Попа // Ґрунтознавство. – 2010. – Т. 11, № 1. – С.66-72.
169. Попович В. В. Вплив кліматичних умов на розвиток рослинності техногенних ландшафтів Малого Полісся у зимовий період / В. В. Попович // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.3. – С. 37-42.
170. Попович В. В. Характеристика осередків самозаймання породних відвалів вугільних шахт Нововолинського гірничопромислового району / В. В. Попович // Науковий вісник НЛТУ України. – 2009. – Вип. 19.12. – С. 77-82.

171. Попович В. В. Природна фітомеліорація вугільних відвалів / В. В. Попович, Р. І. Мисяк, К. С. Брунець // Науковий вісник НЛТУ України. – 2011. – Вип. 21.4. – С. 127-131.
172. Посреднікова А. В. Альгофлора відвалів вугільних та уранових розробок / А. В. Посреднікова, М. В. Ворона // Матер. IV Міжнар. науково-практичної конференції «Проблеми фундаментальної та прикладної екологічної геології та раціонального природокористування». – Кривий Ріг: Видавничий дім, 2009. – С. 272-273.
173. Почвоведение / Под ред. И. С. Кауричева. – М. : Агропромиздат, 1989. – 719 с.
174. Правила проведення біологічної рекультивації породних відвалів вугільних шахт України. Видання офіційне. К. : Вид-во "Мінвуглепром України", 2007. – 30с.
175. Практикум по агрохимии: учеб. Пособие. – 2-е изд., перераб и. доп. / Под ред. академика РАСХН / В. Г. Минеева. – М. : Изд-во МГУ, 2001. – 689 с.
176. Прасад И. М. Практическое использование растений для восстановление экосистем, загрязненных металлами / Прасад И. М. // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 5. – С. 764-780.
177. Приступа І. В. Динаміка вмісту фотосинтезуючих пігментів як фітоіндикаційний показник у представників р. *Juniperus*, що зростають в умовах промислового міста південного сходу України / І. В. Приступа, І. В. Шалімов, Т. В. Романчук // Питання біоіндикації та екології. – Запоріжжя: ЗНУ, 2009. – № 1. – С. 23-30.
178. Прозорова Т. А. Биологическая рекультивация золоотвалов / Т. А. Прозорова // Охрана труда и окруж. среды. – Караганда, 1987. – С. 107-108.

179. Работнов Т. А. Жизненный цикл многолетних травянистых растений в луговых ценозах / Т. А. Работнов // Тр. Ботан. ин-та АН СССР. Сер. Геоботаника. М. ; Л. : Изд-во АН СССР, 1950. – Т. 6. – С. 7-204.
180. Работнов Т. А. К методике наблюдения над травянистыми растениями на постоянных площадках / Т. А. Работнов // Ботан. журн. – 1951. – Т. 36, № 6. – С. 643–645.
181. Работнов Т. А. Экспериментальная фітоценологія: Учеб-метод. Пособие / Т. А. Работнов. – М. : Изд-во МГУ, 1987. – 160с.
182. Работнов Т. А. Фитоценология / Т. А. Работнов. – М. : Изд-во МГУ, 1992. – 352 с.
183. Раменский Л. Г. Введение в комплексное почвенно-ботаническое исследование земель / Л. Г. Раменский. – М.: Сельхозгиз., 1938. – 620 с.
184. Ратушний В. М. Визначення біологічної придатності рослин для біологічної рекультивації відвалів розкривних порід / В. М. Ратушний, А. М. Бондаренко, М. І. Малаховський // Питання біоіндикації та екології. Запоріжжя : ЗНУ, 2011. – Вип.16, № 1.– С. 29 –36.
185. Рева М. Л. Естественная растительность на терриконах угольных шахт Донбасса / М. Л. Рева, А. И. Хархота // Растения и промышленная среда : Материалы I Укр. конференции. – К. : Наук. думка, 1968. – С. 146-152.
186. Родин Л. Е. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота фитоценозов / Л. Е. Родин, Н. П. Ремезов, Н. И. Базилевич. – Л. : Наука, 1967. – 145 с.
187. Сакало В. Д. Синтез і метаболізм сахарози в листках проростків кукурудзи за умов водного дефіциту / В. Д. Сакало, К. А. Марченко, В. М. Курчій // Физиология и биохимия культ. Растений. – 2009. – Т. 41, № 4. – С. 305-313.
188. Сафонова Г. С. Заселення вищими рослинами залізорудних відвалів Кривбасу / Г. С. Сафонова, С. В. Рева // Вісн. Дніпропетр. ун-ту. Серія біологічна, 2009. – Вип. 17, Т. 2. – С. 87-94.

189. Сергейчик С. А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды / Сергейчик С. А. – Минск: Наука и техника, 1984. – 168 с.
190. Сетт І. В. До вивчення агрохімічних властивостей едафотопу та щільності популяцій рослин на териконниках Донбасу / І. В. Сетт // Промышленная ботаника. Збірник наукових праць. – Донецьк, ТОВ «Лебідь», 2002, Вып. 2. – С. 218-221.
191. Сетт И. В. Изучение структуры популяций растений на отвалах угольных шахт Донбаса / И. В. Сетт // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецьк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2004. – Вып 4. – С. 221-227.
192. Скатынський Ю. П. Оцінка екологічного стану геологічного середовища Червоноградського ГПР і умов водопостачання населенню / Ю. П. Скатынський, Г. І. Рудько, В. П. Федосєєв та ін. // Звіт ДГП "Західукргеологія". – Львів, 1996. – 250 с.
193. Сорочан О. О. Вільні амінокислоти злаків на перших фазах пророщування під впливом деяких факторів / О. О. Сорочан // Автореф. дис. ... канд біол. наук. : 03.00.04. Чернівці. – 2001. – 16 с.
194. Соханьчак Р. Р. Особливості впливу 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.
195. Сочава В. Б. Введение в учение о геосистемах / В. Б. Сочава. – Новосибирск: Наука, 1978. – 318 с.
196. Станецька Д. М. Вплив високотемпературного стресу на пігментний комплекс видів роду *Solidago* L. в репродуктивний період / Д. М. Станецька, І. В. Коваль, Н. І. Джуренко та ін. // Вісн. Ужгородського ун-ту, сер. Біол. – 2011. – Вып. 30. – С. 192-196.
197. Струёв М. И. Львовско-Волынский каменноугольный бассейн. Геолого-промышленный очерк / М. И. Струёв, В. И. Исаков, В. Б. Шпакова и др.. – К : Наук. думка, 1984. – 273 с.

198. Сукачев В. Н. Основные понятия биогеоценологии / В. Н. Сукачев // Основы лесной биогеоценологии. – М. : Наука, 1964. – 574 с.
199. Сургай Н. С. Рекультивация породных отвалов закрываемых шахт Львовско-Волынского бассейна / Н. С. Сургай, В. Н. Бруслик // Уголь Украины. – 2000. – № 7. – С. 24-26.
200. Таран Н. Ю. Каротиноїди фотосинтетичних тканин за умов посухи / Н. Ю. Таран // Фізіологія і біохімія культурних рослин, 1999. – Т. 31, № 6. – С. 414-422.
201. Теппер Е. З. Практикум по микробиологии / Теппер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. // (Учебники и учеб. пособия для высш. с.-х. учеб. заведений). – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1993. – 175 с.
202. Токсико-гигиеническая характеристика породы террикона шахты № 8 “Великомостовская”, ЛодНГМИ, Укрзападуголь. – 1992. – С. 8.
203. Горохова О. Н. К вопросу фитотоксичности породы промышленных отвалов Донбаса / О. Н. Трохова // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2007. – Вып. 7. – С. 80-84.
204. Горохова О. Н. Динамика засоления и влажности субстратов отвалов угольных шахт донбасса / О. Н. Горохова, И. В. Агурова // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2009. – Вып. 9. – С. 97-100.
205. Травлеев А. П. Научные основы техногенной биогеоценологии / А. П. Травлеев // Вопросы степного лесоведения. – Д. : ДГУ, 1989. – С. 4-9.
206. Травлєєв А. П. Теоретичні основи лісової рекультивації порушених земель у західному Донбасі на Дніпропетровщині / А. П. Травлєєв, Н. А. Белова, В. М. Зверковський // Ґрунтознавство. – 2005. – Т. 16, № 1-2. – С. 19-29.

207. Трахтенберг И. Опыт изучения биогеохимической провинции одного из горнопромышленных районов Западной Украины / И. Трахтенберг // Книга о ядах и отравлениях. Очерки токсикологии. К. : Наук. думка, 2000. – С. 213–225.
208. Узбек И. Х. Роль корней в грунтах отвалов / И. Х. Узбек // Рекультивация земель нарушенных открытыми горными разработками. – Губкин. – Орджоникидзе, 1974. – Т. 2. – С. 96-98.
209. Уланова Н. Г. Вейник наземный // Биологическая флора Московской области. – М., 1995. Вып. 10. С. 4–19.
210. Уланова Н. Г. Моделирование популяционной динамики вейника наземного *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth при зарастании вирубки ельника сложного / Н. Г. Уланова, И. Н. Клочкова, А. Н. Демидова. Сибирский ботанический вестник: электронный журнал. – 2007. – Том 2, выпуск 2. – С. 91–96
211. Уранов А. А. Онтогенез и возрастной состав популяций / А. А. Уранов // Онтогенез и возрастной состав популяций цветковых растений. – М. : Наука, 1967. – С. 3–8.
212. Фоновий вміст мікроелементів у грунтах України // За ред. А. І. Фатєєва, Я. В. Пашенка. – Харків, 2003. – 117 с.
213. Цайтлер М. Й., Скробач Т. Б., Сеньків В. М. Особливості рекультивації відвалів озокеритовидобутку Бориславщини / М. Й. Цайтлер, Т. Б. Скробач, В. М. Сеньків // Промышленная ботаника. Сборник научных трудов. – Донецк: Донецкий ботанический сад НАН Украины. – 2010. – Вып. 20.3. – С. 47-51.
214. Царик Й. В. Самовідновлення популяцій за різних умов їхнього росту / Й. В. Царик // Вісник Львів. ун-ту. Серія біологічна. – 2010. – Вып. 53. – С. 94-99.
215. Шакирова Ф. М. Неспецифическая устойчивость растений к стрессовым факторам и ее регуляция / Шакирова Ф. М. – Уфа : Гилем, 2001. – 160 с.

216. Шалыт М. С. Методика изучения морфологии и экологии надземной части отдельных растений и растительных сообществ / М. С. Шалыт // Полевая геоботаника. – М.; Л. : Наука, 1960. – Т. 2. – С. 369-447.
217. Шевякова Н. И. Метаболизм и физиологическая роль пролина при водном и солевом стрессе / Н. И. Шевякова // Физиология растений. – 1983. – Т. 30. – С. 768-783.
218. Шенников А. П. Введение в геоботанику / А. П. Шенников. – Л. : изд-во ЛГУ, 1964. – 447 с.
219. Шпаківська І. М. Режими трансформації органічного вуглецю в екосистемах Чорногори/ І. М. Шпаківська // Науковий вісник УкрДЛТУ. – 1998. – Вип. 9.1. – С. 81-86.
220. Шпаківська І. М. Мінералізація органічного вуглецю у ґрунтах екосистем Чорногори (Східні Карпати) / І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич // Наукові основи збереження біотичної різноманітності/ Тематичний збірник Інституту екології Карпат НАН України. – 2002. – Вип. 3. – С. 170-180.
221. Экология города / Под ред. Ф.В. Стольберга. – К. : Либра, 2000. – 464 с.
222. Ярков С. В. Сингенез "молодых" кам'янистых відвалів Криворіжжя / С. В. Ярков // Наукові записки Вінницького державного педагогічного університету імені Михайла Коцюбинського. Серія : географія. – Вінниця, 2008. – Вип .16. – С. 91-97.
223. Ярошенко П. Д. Геоботаника. Основные понятия, направления и методы / П. Д. Ярошенко. – М. ; Л. : Изд – во АН СРСР, 1961. – 474 с.
224. Bradshaw A. Restoration of mined lands - using natural processes / A. Bradshaw // Ecol. Eng. –1997. – 8. – P. 255-269 .
225. Chater K. F. Streptomyces inside-out: a new perspective on the bacteria that provide us with antibiotics / K. F. Chater // Philos. Trans. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci. – 2006. – Vol. 361, № 1469. – P. 761-768.
226. Cheng J. Natural vegetation recovery on waste dump in opencast coalmine

- area / J. Cheng, Z. Lu // *Journal of forestry research*. – 2005. – Vol. 16, № 1. – P. 55-57.
227. Clements F. E. *Plant succession: An analysis of the development of vegetation* / F. E. Clements. – Washington: Publ. Carnegie Institute. – 1916. – No. 242. – P. 3-4.
228. Clements F. E. *Plant succession and indicators* / F. E. Clements. – New York: Hatner Press, 1973. – 453 p.
229. Dierschke H. *Pflanzensoziologie: Grundlagen und Methoden* / H. Dierschke. – Stuttgart: Ulmer, 1994. – 683 p.
230. Ernest S. K. M. Homeostasis and compensation: the role of species and resources in ecosystem stability / S. K. M. Ernest, J. H. Brown // *Ecology*. 2001. – 82 (8). – P. 2118-2132.
231. Gloser V. Acclimation capability of *Calamagrostis epigejos* and *C. arundinacea* to changes in radiation environment / V. Gloser, J. Gloser // *Photosynthetica*, Prague. – 1996. – 32. – P. 202-212.
232. Gloser V. Regrowth dynamics of *Calamagrostis epigeios* after defoliation as affected by nitrogen availability / V. Gloser, M. Kosvancova, J. Gloser // *Biologia plantarum*. – 2007. – 51 (3). – P. 501-506.
233. Green B. Hypothesis for the evolution of three-helix Chl a/b and Chl a/c light-harvesting antenna proteins from two-helix and four-helix ancestors / B. Green, E. Pichersky // *Photosynth Res*. – 1994. – Vol. 39. – P. 149-162.
234. Ikegami M. Optimal biomass allocation in heterogeneous environments in clonal plant – Spatial division of labor / M. Ikegami, D. F. Whigham, M. J. A. Werger // *Ecological modeling*. – 2008. – 213. – P. 156-164.
235. Kabrna M. Studies of land restoration on spoil heaps from brown coal mining in the Czech Republic – a literature review / M. Kabrna // *Journal of Landscape Studies*. – 2011. – 4. – P. 59-69.
236. Kullu B. Vegetational Succession on Different Age Series Sponge Iron Solid Waste Dumps with Respect to Top Soil Application / B. Kullu, N. Behera // *Research Journal of Environmental and Earth Sciences*. – 2011. –

- 3 (1). – P. 38-45.
237. Lackov E. Social forest functions of reclaimed spoil heaps in the Ostrava-Karvina district / E. Lackov, P. Kupec J. Polansk et al. // *Journal of Forest Science*. – 2012. – 58 (5). – P. 203–212.
238. Lehmann C. Clonal diversity of populations of *Calamagrostis epigeios* in relation to environmental stress and habitat heterogeneity / C. Lehmann // *Ecography*. – 1997. – 20. – P. 483-490.
239. Martínez-Ruiz C. Natural and man-induced revegetation on mining wastes: changes in the floristic composition during early succession / C. Martínez-Ruiz, B. Fernández-Santos, P.D. Putwain et al. // *Ecological Engineering*. – 2007. – 30. – P. 286–294.
240. Mench M. Notions sur les elements en trace pour une qualite des solt et des produits vegetaux / M. Mench // *Purpan*. – 1993. – P. 118-127.
241. Piekarska-Stachowiak A. An application of the plant functional group concept to restoration practice on coal mine spoil heaps / A. Piekarska-Stachowiak, M. Szary, B. Ziemer et al. // *Ecological Research*. – 2014. – 29. – P. 843–853.
242. Prach K. Spontaneous succession versus technical reclamation in the restoration of disturbed sites / K. Prach, R. Hobbs // *Restor Ecol*. – 2008. – 16. – P. 363–366
243. Price E. A. C. Clonal plants and environmental heterogeneity. An introduction to the proceedings / E. A. C. Price, C. Marshall // *Plant ecology*. – 1999. – 141. – P. 3-7.
244. Quin P. J. The structural role of lipids in photosynthetic membranes / P. J. Quin, J. P. Williams // *Biochim et biophys. Acta*. – 1983. – 737 (2). – P. 223-266.
245. Raskin I. *Phytoremediation of Toxic Metals. Using Plants to Clean Up the Environment* / I. Raskin, B. Ensley // New-York : Wiley and Sons. –2000. – P. 685.
246. Reynolds E. S. The use of lead citrate at high pH as an electronopaque in

- electron microscopy / E. S. Reynolds // *J. Cell. Biol.* – 1963. – Vol. 17. – P. 208-212.
247. Shpakivska I. Microbial biomass, C and N mineralization in mineral soil of adjacent montane ecosystems on timberline (East Carpathians Mts.) / I. Shpakivska // *Proc. Congress of the Polish Society of Soil.Sci. and Intern.Sci.Conference.* – Lublin (Poland), 1999. – P. 474-475.
248. Xu JM The role of plant residues in pH change of acid soils differing in initial pH / JM Xu, C Tang, ZL Chen // *Soil Biology & Biochemistry.* – 2006. – 38. – P. 709-719.
249. Woźniak G. Colonisation process on coal mine sedimentation pools (Upper Silesia, Poland) / G. Woźniak // *Polish Botanical Studies.* – 2006. – 22. – P. 561-568.
250. Woźniak G. The relationship between successional vascular plant assemblages and associated microbial communities on coal mine spoil heaps / G. Woźniak, A. Markowicz, S. Borymski et al.// *Community Ecology.* – 2015. – 16 (1). – P. 23-32.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Львівського національного
університету імені Івана Франка,
член-кореспондент НАН України,
професор


«18» Р. С. Гладисhevський
2015 р.



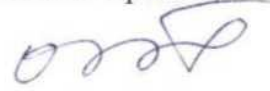
АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи у навчальний процес

Джерело впровадження: Наукові публікації провідного інженера відділу екоморфогенезу рослин Інституту екології Карпат НАН України Бешля С.В. по темі дисертаційної роботи «Екологічні властивості *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth та його середовищевірна роль на відвалах вугільних шахт (Червоноградський гірничопромисловий район)», поданої на здобуття вченого ступеня кандидата біологічних наук.

Де впроваджується: у навчальному процесі студентів біологічного факультету Львівського національного університету імені Івана Франка у курсі лекцій «Фізіологія та біохімія рослин», а також у спецкурсах «Фізіологія адаптації рослин», «Фітомоніторинг» для студентів кафедри фізіології та екології рослин включені матеріали дисертаційної роботи Бешля С. В. по адаптації рослин кунічника наземного до абіотичних факторів відвальних відслонень на організмовому та популяційному рівнях. Наводяться дані про покращення едафічних умов під заростями *Calamagrostis epigeios* на різних елементах мезорельєфу відвалів вугільних шахт.

Завідувач кафедри фізіології та
екології рослин біологічного факультету
Львівського національного університету імені Івана Франка,
д.б.н., професор, академік АН ВШ України,
заслужений працівник освіти України



О.І. Терек

Декан біологічного факультету
Львівського національного університету
імені Івана Франка,
к.б.н., доцент



І. С. Хамар

