

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Кафедра геології та екології

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА
спеціальність Е-2 екологія

На тему:

“Дослідження асортименту аборигенних та інтродукованих рослин
для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу”

Виконала: здобувачка
групи ЗЕО-22
Архипчук. А. Ю

Науковий керівник:
канд. біол. наук, ст. викладач
Долина. О. О.

Залікова книжка №

Підпис _____
Дата, підпис

Підпис _____

Підпис _____

Захищена з оцінкою _____
« ____ » _____ 2026 р.

Секретар ЕК
_____.

Кривий ріг
2026

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гірничо-металургійний факультет

Кафедра геології та екології

Спеціальність Е-2 «Екологія»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедрою _____

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Здобувачка Архипчук Анастасія Юріївна

Група ЗЕО-22

1. Тема випускної роботи Дослідження асортименту аборигенних та інтродукованих рослин для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу.

2. Вихідні дані: Наукові літературні джерела з питань біологічної рекультивації порушених земель, матеріали досліджень флори Криворізького регіону, дані щодо аборигенних та інтродукованих видів рослин, результати аналізу екологічних особливостей відвалів Кривбасу, нормативно-правові документи у сфері охорони довкілля та рекультивації земель.

3. Перелік обов'язково графічного матеріалу:

1. Порівняльна характеристика аборигенних та інтродукованих рослин для рекультивації відвалів Кривбасу.

2. Рекомендований асортимент деревних, чагарникових і трав'янистих рослин для біологічної рекультивації.

3. Орієнтовний план моніторингу біорізноманіття на відвалах Кривбасу

Етапи виконання випускної роботи:

Номер	Етапи і розділи проектування	Тиждень					
1		1,2	3,4,5,6	7,8,9	10,11,12,13	14	15
2	Аналіз літературних джерел та формування мети і завдань дослідження	-					
3	Розроблення теоретичних основ біологічної рекультивації		-				
4	Дослідження екологічних особливостей відвалів Кривбасу та аналіз рослинного покриву			-			
5	Дослідження асортименту аборигенних та інтродукованих рослин, порівняльний аналіз їх рекультиваційного потенціалу.				-		
6	Узагальнення результатів дослідження, формування висновків					-	
	Оформлення кваліфікаційної роботи та графічного матеріалу						-

Дата видачі завдання 2026 р.

Керівник _____

РЕФЕРАТ

Бакалаврська робота складається з трьох розділів. Загальний обсяг роботи 70 сторінок. Робота містить 10 таблиць, 1 додаток, 23 літературних джерела.

У роботі використано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження, зокрема: аналіз та узагальнення літературних джерел, порівняльно-екологічний метод, системний підхід, методи класифікації та групування рослин за функціональними ознаками, елементи геоботанічного аналізу, а також методи оцінки екологічної ефективності рослинних угруповань у техногенних умовах.

У першому розділі роботи здійснено теоретичне обґрунтування процесів рекультивації порушених земель. На основі аналізу наукових джерел розглянуто сутність рекультивації як комплексного екологічного процесу, охарактеризовано біологічну рекультивацію як завершальний етап відновлення техногенних екосистем, визначено екологічні критерії добору рослин та обґрунтовано роль аборигенних і інтродукованих видів у формуванні стійких фітоценозів. У даному розділі узагальнено теоретичні підходи без використання табличного матеріалу, що дозволило сформулювати наукову основу для подальших досліджень.

У другому розділі проаналізовано природно-кліматичні умови Криворізького регіону та особливості формування техногенних ландшафтів. Описано фізико-хімічні властивості субстратів відвалів, їх низьку родючість, дефіцит органічної речовини та нестабільність водного режиму. Використання описового та геоекологічного аналізу дозволило встановити основні обмежуючі фактори, що впливають на розвиток рослинності, та обґрунтувати необхідність диференційованого підходу до рекультивації залежно від мікроекотопів.

Третій розділ присвячено формуванню науково обґрунтованого асортименту рослин для рекультивації відвалів. У межах розділу здійснено класифікацію рослин на деревні, чагарникові та трав'янисті групи, визначено їх функціональні ролі, зокрема протиерозійну, ґрунтоутворювальну, азотфіксуючу

та фіторемедіаційну. У роботі наведено узагальнену таблицю рекомендованих видів, яка містить інформацію про їх екологічні властивості, норми застосування та можливі ризики інвазійності. Також розроблено приклад стартової трав'янистої суміші та описано технологічні підходи до посіву і посадки рослин.

У підрозділі, присвяченому перспективам відновлення біорізноманіття, розглянуто основні екологічні механізми формування нових екосистем на техногенних територіях. Зокрема, проаналізовано роль сукцесії, мозаїчності середовища, екологічних коридорів та буферних зон. У роботі представлено таблиці, що відображають механізми відновлення біорізноманіття та систему моніторингу, яка включає основні показники оцінки стану екосистем, методи їх визначення та частоту спостережень. Це дозволило обґрунтувати необхідність регулярного контролю за процесами відновлення та своєчасного коригування рекультиваційних заходів.

Ключові слова: *рекультивація, відвали, кривбас, техногенні території, аборигенні рослини, інтродуковані рослини, біорізноманіття, фітоценози, екологічна ефективність.*

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ.....	9
1.1. Поняття та основні етапи рекультивації порушених територій.....	9
1.2. Біологічна рекультивація як метод відновлення техногенних екосистем.....	12
1.3. Екологічні критерії добору рослин для рекультивації.....	14
1.4. Значення аборигенних та інтродукованих рослин у відновленні деградованих земель.....	17
РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ ТА РОСЛИННОГО ПОКРИВУ.....	21
2.1. Загальна характеристика Криворізького гірничопромислового регіону.....	21
2.2. Екологічні особливості техногенних ландшафтів відвалів.....	23
2.3. Природна флора Криворіжжя та потенціал аборигенних видів для рекультивації.....	25
2.4. Аналіз інтродукованих рослин, придатних для рекультивації техногенних територій.....	30
РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ РОСЛИН ДЛЯ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ.....	42
3.1. Порівняльна характеристика аборигенних та інтродукованих рослин.....	42
3.2. Екологічна ефективність використання різних груп рослин.....	51
3.3. Рекомендований асортимент деревних, чагарникових та трав'янистих рослин.....	56
3.4. Перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях.....	61
ВИСНОВКИ.....	67
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	69
ДОДАТКИ.....	74

ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості супроводжується значними антропогенними змінами природного середовища, що призводить до трансформації природних ландшафтів і формування великих площ техногенно порушених територій. Особливо яскраво ці процеси проявляються у гірничодобувних регіонах, де інтенсивна експлуатація корисних копалин змінює структуру земної поверхні, ґрунтовий покрив, водний режим та біологічне різноманіття. Одним із найбільших таких регіонів в Україні є Криворізький залізорудний басейн, де видобуток залізної руди здійснюється вже понад сто років і призвів до формування значних площ кар'єрів, хвостосховищ та відвалів гірських порід. Унаслідок цього природні степові ландшафти регіону значною мірою були зруйновані та замінені антропогенними техногенними комплексами, що стали домінуючими у структурі ландшафту Кривбасу.

Гірничодобувна діяльність спричиняє суттєве порушення земельних ресурсів, що проявляється у деградації ґрунтового покриву, зміні рельєфу, накопиченні великих мас гірських порід та промислових відходів. Значна частина порушених земель зайнята відвалами розкривних порід, які можуть досягати значних площ і висоти та становлять серйозну екологічну проблему. Формування таких техногенних об'єктів призводить до втрати природних екосистем, погіршення стану атмосферного повітря через пилові викиди, змін гідрологічного режиму та зниження біологічного різноманіття. У Криворізькому регіоні значні обсяги промислових відходів накопичуються внаслідок видобутку та збагачення залізної руди, що призводить до формування великих техногенних масивів порід і значного порушення земельних ресурсів.

Особливістю відвалів гірських порід є специфічні екологічні умови, що значно ускладнюють природне відновлення рослинності. Субстрат таких відвалів часто характеризується низьким вмістом гумусу, значною кам'янистістю, нестійкою структурою, підвищеною щільністю та дефіцитом

поживних елементів. Крім того, на поверхні відвалів спостерігаються різкі коливання температури і вологості, а також підвищені концентрації деяких хімічних елементів, що негативно впливає на формування рослинного покриву. У таких умовах процеси первинного ґрунтоутворення відбуваються дуже повільно, а природне заселення рослинністю є обмеженим і часто відбувається лише через тривалий проміжок часу.

Одним із найбільш ефективних напрямів відновлення техногенно порушених земель є рекультивація, яка включає комплекс інженерно-технічних, агротехнічних та біологічних заходів, спрямованих на відновлення екологічних функцій території та її подальше використання. Особливу роль у цьому процесі відіграє біологічна рекультивація, що передбачає створення рослинного покриву та формування нових екосистем на порушених землях. Біологічна рекультивація розглядається як система заходів, спрямованих на відновлення родючості ґрунтів і створення умов для розвитку рослинності, здатної стабілізувати субстрат, зменшити ерозійні процеси та сприяти накопиченню органічної речовини.

Рослинний покрив відіграє важливу роль у процесах екологічної стабілізації техногенних ландшафтів. Завдяки розвитку кореневих систем рослини сприяють закріпленню поверхні відвалів, зменшенню пилових процесів та ерозії, накопиченню органічної речовини й формуванню первинного ґрунтового шару. Крім того, рослинність створює сприятливі умови для розвитку мікроорганізмів, ґрунтової фауни та поступового формування нових біогеоценозів. Таким чином, формування рослинного покриву є одним із ключових факторів відновлення екологічної рівноваги на порушених територіях.

Для проведення біологічної рекультивації застосовують різні групи рослин, серед яких важливе місце займають аборигенні та інтродуковані види. Аборигенні рослини є природними компонентами місцевих екосистем і характеризуються високим рівнем адаптації до кліматичних та ґрунтових умов

регіону. Використання таких видів сприяє відновленню природного біорізноманіття та формуванню екологічно стійких фітоценозів. Водночас інтродуковані рослини, які були введені у флору регіону з інших природних зон, можуть мати підвищену стійкість до несприятливих умов середовища, швидко формувати біомасу та забезпечувати стабілізацію поверхні техногенних субстратів.

У практиці рекультивації відвалів Криворізького басейну використовувалися різні деревні, чагарникові та трав'янисті рослини. Дослідження показали, що на окремих ділянках відвалів формуються рослинні угруповання, подібні до природних степових екосистем, однак цей процес відбувається повільно і потребує цілеспрямованого втручання людини. Створення стійких фітоценозів на техногенних субстратах можливе лише за умови правильного добору рослин, здатних витримувати складні екологічні умови та сприяти поступовому формуванню ґрунтового покриву.

Незважаючи на значну кількість досліджень у галузі рекультивації порушених земель, питання формування оптимального асортименту рослин для відновлення техногенних ландшафтів Криворізького регіону залишається актуальним. Це пов'язано з різноманітністю типів відвалів, складністю їх екологічних умов та необхідністю створення стабільних рослинних угруповань, здатних виконувати екосистемні функції без значного антропогенного втручання. Особливо важливим є поєднання аборигенних та інтродукованих видів, що дозволяє підвищити ефективність рекультиваційних заходів і забезпечити довготривалу екологічну стабільність територій.

У зв'язку з цим дослідження асортименту аборигенних та інтродукованих рослин для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу має важливе наукове та практичне значення. Результати таких досліджень можуть бути використані для розроблення екологічно обґрунтованих підходів до відновлення порушених земель, підвищення ефективності рекультиваційних робіт та збереження біорізноманіття техногенних ландшафтів.

Метою даної роботи є дослідження асортименту аборигенних та інтродукованих рослин і визначення можливостей їх використання для біологічної рекультивації відвалів Криворізького гірничопромислового регіону.

Об'єктом дослідження виступають процеси відновлення рослинного покриву на техногенно порушених землях. Предметом дослідження є аборигенні та інтродуковані види рослин, які можуть бути використані для формування стійких фітоценозів на відвалах гірських порід. У роботі використано методи аналізу наукових джерел, порівняльного екологічного аналізу, узагальнення наукових даних та систематизації інформації щодо екологічних властивостей рослин.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ПОРУШЕНИХ ЗЕМЕЛЬ.

1.1. Поняття та основні етапи рекультивації порушених територій

Інтенсивний розвиток промисловості, урбанізації та гірничодобувної діяльності призводить до значних змін природного середовища і формування великої кількості порушених земель. Такі території характеризуються трансформацією природного рельєфу, деградацією ґрунтового покриву, порушенням гідрологічного режиму та зниженням біологічного різноманіття. Особливо масштабні зміни відбуваються у районах видобутку корисних копалин, де внаслідок відкритих або підземних гірничих робіт формуються кар'єри, відвали розкривних порід, хвостосховища та інші техногенні об'єкти. Такі території потребують спеціальних заходів, спрямованих на відновлення їх екологічних функцій та повернення до господарського використання [1].

Одним із найважливіших напрямів відновлення порушених земель є рекультивація. У сучасній екологічній та природоохоронній практиці рекультивація розглядається як комплекс організаційних, технічних і біологічних заходів, спрямованих на відновлення або поліпшення екологічного стану земель, які зазнали деградації внаслідок антропогенного впливу. Відповідно до Земельного кодексу України, рекультивація порушених земель визначається як комплекс заходів, спрямованих на відновлення ґрунтового покриву, поліпшення стану та продуктивності земель .

Основною метою рекультивації є відновлення продуктивності порушених земель і формування екологічно стабільних ландшафтів, які можуть використовуватися у сільському або лісовому господарстві, рекреації, природоохоронній діяльності або інших сферах господарства. Крім того, рекультиваційні заходи спрямовані на зменшення негативного впливу техногенних територій на навколишнє середовище, зокрема на запобігання ерозії, пиловому забрудненню, забрудненню водних ресурсів та деградації природних екосистем [2]. У результаті рекультивації на місці порушених

територій можуть формуватися нові продуктивні ландшафти – лісові насадження, сільськогосподарські угіддя, водойми або рекреаційні зони.

Рекультивація порушених територій є складним багатоступеневим процесом, що потребує поєднання інженерних, агротехнічних і біологічних методів. У науковій та практичній діяльності зазвичай виділяють кілька основних етапів рекультивації, які забезпечують послідовне відновлення природних компонентів порушеної території. Найчастіше рекультиваційний процес поділяють на підготовчий, гірничо-технічний та біологічний етапи .

Підготовчий етап є початковою стадією рекультиваційних робіт і передбачає проведення комплексних досліджень порушеної території. На цьому етапі здійснюється оцінка масштабу деградації земель, аналіз причин порушення, вивчення фізичних, хімічних та біологічних властивостей субстрату, визначення типу техногенного ландшафту та можливих напрямів його подальшого використання. Важливим елементом підготовчого етапу є також розроблення проєкту рекультивації, який включає визначення необхідних інженерних заходів, вибір оптимальних методів відновлення території, підбір рослин для біологічної рекультивації та прогнозування екологічних наслідків проведених робіт [3].

Другим етапом рекультивації є гірничо-технічний (або технічний) етап. Він включає виконання інженерних робіт, спрямованих на формування рельєфу та підготовку території до подальшого біологічного відновлення. До основних заходів технічного етапу належать планування поверхні порушених земель, засипання кар'єрів і провалів, вирівнювання відвалів, формування укосів та терасування схилів. Крім того, на цьому етапі здійснюється зняття, збереження та нанесення родючого шару ґрунту, що створює основу для розвитку рослинності .

Гірничо-технічний етап має важливе значення для подальшого успішного відновлення екосистем, оскільки саме на цій стадії створюються основні морфологічні та фізичні характеристики території. Якісно виконані інженерні

роботи забезпечують стійкість рельєфу, запобігають розвитку ерозійних процесів і створюють сприятливі умови для розвитку рослинності.

Наступним і завершальним етапом рекультивації є біологічний етап, який спрямований на формування рослинного покриву та відновлення біологічної продуктивності території. На цьому етапі проводиться комплекс агротехнічних і фітомеліоративних заходів, що включає посів трав, посадку деревних і чагарникових рослин, внесення добрив та покращення властивостей ґрунту. Основною метою біологічної рекультивації є створення стабільних рослинних угруповань, здатних забезпечити поступове відновлення екосистем [2].

Рослинність відіграє ключову роль у відновленні порушених територій. Завдяки розвитку кореневих систем рослини сприяють закріпленню субстрату, запобігають ерозійним процесам, покращують структуру ґрунту та забезпечують накопичення органічної речовини. Крім того, рослинний покрив створює сприятливі умови для розвитку ґрунтових мікроорганізмів і безхребетних тварин, що сприяє формуванню нових біогеоценозів.

У сучасних умовах рекультивація розглядається не лише як спосіб відновлення порушених земель, але і як важливий елемент екологічної політики та сталого розвитку. Ефективно проведені рекультиваційні заходи дозволяють зменшити негативний вплив промисловості на довкілля, відновити екосистемні функції ландшафтів і забезпечити раціональне використання земельних ресурсів.

З огляду на складність техногенних ландшафтів, ефективність рекультивації значною мірою залежить від правильного вибору методів відновлення та раціонального підбору рослинних видів, здатних адаптуватися до специфічних умов порушених територій. Саме тому дослідження процесів рекультивації та удосконалення методів відновлення деградованих земель є одним із ключових напрямів сучасної екологічної науки.

1.2. Біологічна рекультивація як метод відновлення техногенних екосистем

Техногенні ландшафти, що формуються внаслідок інтенсивної господарської діяльності людини, є одним із найбільш складних об'єктів екологічного відновлення. До таких територій належать кар'єри, відвали гірських порід, хвостосховища, терикони та інші об'єкти гірничодобувної промисловості. У результаті їх утворення відбувається повна або часткова втрата природного ґрунтового покриву, зміна морфології рельєфу, руйнування рослинного покриву та істотні порушення екологічних зв'язків між компонентами природних екосистем. Як зазначається у сучасних дослідженнях, видобуток корисних копалин є одним із основних чинників деградації земель і формування техногенних екосистем із порушеною структурою [1].

Одним із найбільш ефективних методів відновлення таких територій є біологічна рекультивація. У науковій літературі біологічна рекультивація розглядається як комплекс заходів, спрямованих на створення рослинного покриву та формування нових екосистем на порушених землях [2]. Відповідно до сучасних підходів, цей процес є завершальним етапом рекультивації і здійснюється після технічної підготовки території, яка включає стабілізацію рельєфу та формування придатного субстрату для росту рослин [3].

Біологічна рекультивація спрямована на відновлення біологічної продуктивності території, формування стійких фітоценозів та поступове відновлення екосистемних функцій. Вона забезпечує не лише відновлення рослинного покриву, але й активізацію біогеохімічних процесів, що сприяють формуванню ґрунтового профілю та підвищенню родючості субстрату.

Основною особливістю біологічної рекультивації є використання рослин як ключового чинника відновлення екосистем. Рослинність відіграє провідну роль у стабілізації техногенних субстратів, оскільки кореневі системи рослин закріплюють поверхню, знижують інтенсивність ерозійних процесів і сприяють накопиченню органічної речовини. У процесі розвитку рослин формується

гумусовий горизонт, покращується структура ґрунту, підвищується його водоутримувальна здатність і створюються умови для розвитку ґрунтової мікробіоти [4].

Формування рослинного покриву на техногенних територіях має комплексне екологічне значення. Рослинність регулює мікроклімат, знижує температурні коливання, зменшує інтенсивність випаровування вологи та сприяє осадженню пилових частинок. У результаті цього створюються сприятливі умови для розвитку інших компонентів екосистем, включаючи мікроорганізми, безхребетних і хребетних тварин.

Одним із ключових аспектів біологічної рекультивації є формування стійких фітоценозів. Умови техногенних ландшафтів характеризуються низьким рівнем родючості, дефіцитом поживних речовин, нестабільним водним режимом та наявністю токсичних елементів. Тому для успішного відновлення необхідно використовувати види рослин, які мають високу екологічну пластичність і здатність адаптуватися до стресових умов середовища [5].

Для підвищення ефективності рекультиваційних заходів велике значення має правильний добір рослин. На початкових етапах доцільно використовувати трав'янисті рослини, зокрема багаторічні злаки та бобові культури, які швидко формують дернинний покрив і зменшують ерозійні процеси. Бобові рослини відіграють особливу роль, оскільки здатні фіксувати атмосферний азот, що сприяє покращенню родючості субстрату.

На наступних етапах рекультивації доцільним є введення деревних і чагарникових рослин, які формують більш складні та довговічні екосистеми. Такі насадження сприяють стабілізації ландшафту, накопиченню органічної речовини та створенню сприятливого мікроклімату. Крім того, деревні насадження виконують захисні функції, зменшуючи вітрову ерозію та пилове забруднення.

Особливе значення має формування багоярусних рослинних угруповань, які включають трав'янистий, чагарниковий і деревний яруси. Такі екосистеми

характеризуються більшою стійкістю та здатністю до саморегуляції, що сприяє поступовому відновленню природних біогеоценотичних зв'язків.

У сучасних умовах біологічна рекультивація розглядається як важливий елемент екологічної політики та сталого розвитку. Вона сприяє не лише відновленню порушених територій, але й відновленню біорізноманіття, створюючи умови для повернення різних видів флори і фауни. Згідно з міжнародними підходами, рекультивація повинна забезпечувати відновлення не лише продуктивності земель, але й природних екосистемних функцій, включаючи збереження біорізноманіття та екологічну стабільність територій.

Важливим аспектом є також соціально-економічне значення біологічної рекультивації. Відновлені території можуть використовуватися для лісового та сільського господарства, рекреації, природоохоронної діяльності та інших напрямів господарювання. Це сприяє зменшенню екологічного навантаження на довкілля та покращенню якості життя населення в промислових регіонах.

Таким чином, біологічна рекультивація є ключовим етапом відновлення техногенних екосистем і важливим інструментом екологічного менеджменту. Її ефективність визначається комплексним підходом до відновлення порушених територій, обґрунтованим добором рослинних видів і врахуванням специфіки техногенних субстратів. Саме тому розвиток наукових підходів до біологічної рекультивації залишається одним із пріоритетних напрямів сучасної екологічної науки.

1.3. Екологічні критерії добору рослин для рекультивації

Одним із ключових чинників успішної біологічної рекультивації порушених територій є правильний добір рослинних видів, здатних ефективно функціонувати в умовах техногенно трансформованого середовища. Рослини, які використовуються для відновлення деградованих земель, повинні відповідати низці екологічних вимог, оскільки субстрати техногенних ландшафтів істотно відрізняються від природних ґрунтів за своїми фізичними,

хімічними та біологічними характеристиками. Як зазначається у сучасних екологічних дослідженнях, порушені території характеризуються низьким вмістом гумусу, дефіцитом поживних елементів, нестабільним водним режимом і високим рівнем антропогенного навантаження.

На відвалах гірських порід, кар'єрах або хвостосховищах спостерігається низький вміст органічної речовини, висока кам'янистість субстрату, значні температурні коливання та обмежена доступність вологи. У таких умовах виживати та формувати стабільні рослинні угруповання можуть лише ті види рослин, які характеризуються високою екологічною пластичністю та здатністю адаптуватися до несприятливих факторів середовища.

Добір рослин для рекультивації здійснюється з урахуванням комплексу екологічних критеріїв, що визначають їх життєздатність, продуктивність і здатність до формування стійких фітоценозів. Одним із основних критеріїв є адаптованість рослин до кліматичних умов регіону. Рослини повинні бути стійкими до температурних коливань, режиму опадів і сезонної динаміки клімату. Для степових регіонів України, зокрема Криворізького басейну, вирішальними є посухостійкість, жаростійкість і здатність витримувати дефіцит вологи [3].

Іншим важливим критерієм є толерантність рослин до несприятливих ґрунтових умов. Техногенні субстрати, як правило, характеризуються низькою родючістю, підвищеною щільністю та дефіцитом біогенних елементів. У зв'язку з цим доцільно використовувати рослини, здатні розвиватися на бідних ґрунтах і одночасно покращувати їх властивості. Особливе значення мають види з добре розвиненою кореневою системою, які сприяють розпушенню субстрату та накопиченню органічної речовини [4].

Суттєвим екологічним критерієм є стійкість рослин до забруднення та токсичних речовин. У техногенних ландшафтах часто спостерігається підвищений вміст важких металів і солей, що негативно впливають на розвиток рослинності. У таких умовах перевагу слід надавати видам, які

характеризуються толерантністю до забруднення та здатністю до фіторе mediaції, тобто поглинання, акумуляції або стабілізації токсичних речовин у субстраті.

Важливим критерієм є також протиерозійні властивості рослин. Однією з головних проблем техногенних територій є розвиток водної та вітрової ерозії. Рослини, що використовуються для рекультивації, повинні мати потужну кореневу систему, здатну ефективно закріплювати субстрат. Особливо ефективними є багаторічні трави та злакові, які формують щільний дернинний покрив і запобігають руйнуванню поверхні [1].

Ще одним важливим критерієм є здатність рослин до швидкого росту та формування біомаси. На початкових етапах рекультивації необхідно забезпечити швидке формування рослинного покриття, що дозволяє стабілізувати поверхню субстрату та створити сприятливі умови для подальшої сукцесії. У зв'язку з цим широко використовуються швидкорослі трав'янисті рослини, які здатні за короткий період покривати значні площі території [3].

Значну роль у доборі рослин відіграє їх здатність до самовідновлення та природного поширення. Види, які легко розмножуються насінням або вегетативним шляхом, сприяють формуванню стабільних популяцій і поступовому розширенню рослинного покриття без додаткових витрат на відновлення.

Не менш важливим є критерій екологічної сумісності видів. Для формування стійких фітоценозів необхідно підбирати рослини, які можуть співіснувати в одному угрупованні та взаємно доповнювати свої екологічні функції. Формування багаторуслих рослинних угруповань забезпечує підвищення стійкості екосистем і сприяє їх саморегуляції [5].

Особливу увагу в сучасній екологічній практиці приділяють використанню аборигенних видів рослин. Вони є найбільш адаптованими до місцевих умов і сприяють відновленню природного біорізноманіття. Водночас інтродуковані види можуть застосовуватися як допоміжні компоненти рекультивації, однак їх

використання повинно супроводжуватися оцінкою інвазійного потенціалу та екологічних ризиків .

Таким чином, добір рослин для рекультивації є складним багатофакторним процесом, що потребує врахування кліматичних, ґрунтових і біологічних умов техногенних територій. Використання рослин із високою адаптивністю, протиерозійними властивостями та здатністю до формування стійких фітоценозів забезпечує ефективне відновлення порушених земель і формування екологічно стабільних екосистем.

1.4. Значення аборигенних та інтродукованих рослин у відновленні деградованих земель

Відновлення порушених і деградованих земель є одним із ключових завдань сучасної екології та природоохоронної діяльності. Особливо актуальною ця проблема є для промислових регіонів, де внаслідок гірничодобувної діяльності, урбанізації та інших видів господарської діяльності формуються значні площі техногенно трансформованих територій. У таких умовах природні екосистеми зазнають істотних змін або повністю руйнуються, що призводить до втрати біорізноманіття, деградації ґрунтового покриву та порушення екологічних зв'язків між компонентами середовища.

Важливу роль у процесах відновлення таких територій відіграє рослинність, яка забезпечує стабілізацію субстрату, покращення його фізико-хімічних властивостей і формування нових екосистем. У контексті біологічної рекультивації особливе значення має використання як аборигенних, так і інтродукованих рослин, кожна з яких виконує специфічні екологічні функції [2].

Аборигенні рослини, або місцеві види, є природними компонентами флори певного регіону, що сформувалися в процесі тривалого еволюційного розвитку та адаптації до конкретних природно-кліматичних умов. Вони характеризуються високою пристосованістю до місцевого клімату, ґрунтових

умов і гідрологічного режиму, що забезпечує їхню високу життєздатність у природному середовищі. Використання аборигенних видів у процесах рекультивації сприяє формуванню стійких фітоценозів і відновленню природних екосистемних зв'язків.

Однією з ключових переваг аборигенних рослин є їх здатність інтегруватися у локальні біогеоценози. Вони мають сформовані трофічні зв'язки з ґрунтовими мікроорганізмами, комахами, птахами та іншими представниками фауни. У результаті використання місцевих видів відбувається поступове відновлення біологічного різноманіття та екологічної рівноваги на порушених територіях [4].

Крім того, аборигенні рослини характеризуються високою стійкістю до кліматичних факторів регіону. Для степових зон України, зокрема Криворіжжя, важливою є їх посухостійкість і здатність витримувати значні температурні коливання. Це дозволяє використовувати такі види як основу довготривалих екосистемних трансформацій у процесі рекультивації.

Важливим аспектом є також участь аборигенних рослин у формуванні первинних і вторинних рослинних угруповань. Багато місцевих видів виступають як піонерні, здатні першими заселяти оголені або порушені субстрати. Вони створюють основу для подальшого розвитку складніших фітоценозів, що включають трав'янисті, чагарникові та деревні яруси.

Поряд із аборигенними видами у практиці рекультивації широко використовуються інтродуковані рослини. Інтродукованими вважаються види, перенесені за межі їх природного ареалу та адаптовані до нових умов середовища. У багатьох випадках вони характеризуються високою екологічною пластичністю, швидким ростом і значною біологічною продуктивністю, що робить їх ефективними на початкових етапах рекультивації [6].

Інтродуковані рослини відіграють важливу роль у швидкому формуванні рослинного покриву, що є критично важливим для стабілізації техногенних субстратів. Завдяки добре розвиненій кореневій системі вони ефективно

закріплюють ґрунт, зменшують прояви ерозійних процесів і сприяють накопиченню органічної речовини. Особливо це характерно для швидкорослих деревних і чагарникових порід, які формують захисні насадження та покращують мікрокліматичні умови території.

Інтродуковані види також можуть виконувати функції фіторе mediaції, тобто сприяти очищенню субстрату від токсичних речовин, включаючи важкі метали. У зв'язку з цим їх застосування є доцільним на територіях із підвищеним рівнем техногенного забруднення [7].

Разом із тим використання інтродукованих рослин потребує обережності, оскільки деякі з них можуть проявляти інвазійні властивості. Інвазійні види здатні активно поширюватися, витісняючи місцеву флору та порушуючи природні екосистемні процеси. Це може призводити до зниження біорізноманіття та деградації природних угруповань. Тому під час добору інтродукованих рослин необхідно враховувати їх потенційну інвазійність і екологічні ризики.

У сучасній практиці рекультивації найбільш ефективним підходом є поєднання аборигенних та інтродукованих рослин. Інтродуковані види доцільно використовувати на початкових етапах для швидкої стабілізації субстрату та формування рослинного покриву, тоді як аборигенні рослини забезпечують довготривалу екологічну стабільність і відновлення природних екосистем [3].

У результаті використання рослин формується нова екосистема, здатна виконувати основні екологічні функції природних ландшафтів. Вона забезпечує регуляцію водного режиму, накопичення органічної речовини, підтримання біорізноманіття та стабілізацію ґрунтового покриву. Крім того, рослинність покращує естетичний стан території та створює передумови для її рекреаційного використання.

Таким чином, аборигенні та інтродуковані рослини відіграють взаємодоповнювальну роль у процесах відновлення деградованих земель.

Раціональне поєднання цих груп дозволяє забезпечити як швидке формування рослинного покриву, так і довготривалу екологічну стабільність відновлених територій, що є ключовою умовою успішної рекультивації техногенних ландшафтів.

РОЗДІЛ 2. ЕКОЛОГІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ ТА РОСЛИННОГО ПОКРИВУ

2.1. Загальна характеристика Криворізького гірничопромислового регіону.

Криворізький гірничопромисловий регіон, відомий також як Кривбас, або Криворізький залізорудний басейн, посідає виняткове місце у структурі мінерально-сировинного та промислового потенціалу України. Він є головним гірничовидобувним центром держави та одним із найбільших докембрійських залізорудних районів світу [12]. Регіон розташований переважно в межах Дніпропетровської області, просторово пов'язаний із системою річки Інгулець та її притоками, що визначає його природно-географічні особливості та умови освоєння території [11].

У геологічному відношенні Криворізький залізорудний басейн являє собою витягнуту в меридіональному напрямку структуру довжиною понад 100 км і шириною від 2 до 7 км. Він сформований у межах Українського кристалічного щита та характеризується складною геологічною будовою, представленою залізистими кварцитами, магнетитовими та гематитовими рудами [12]. Потужність рудоносних товщ може досягати глибини понад 2000 м, що визначає як високу ресурсну цінність, так і складність освоєння родовищ [12].

Формування Кривбасу як потужного промислового регіону розпочалося наприкінці XIX століття, коли було доведено промислове значення місцевих покладів залізної руди. Подальший розвиток був зумовлений вигідним географічним положенням, наявністю транспортної інфраструктури та потребами металургійної промисловості [11]. Уже на початку XX століття регіон став одним із ключових центрів гірничодобувної промисловості, що визначило його стратегічне значення для економіки України.

Видобуток руди у Кривбасі здійснюється відкритим і підземним способами. Відкритий спосіб забезпечує інтенсивне освоєння родовищ, проте

супроводжується значними порушеннями земної поверхні та формуванням техногенних ландшафтів [13]. Підземний спосіб дозволяє розробляти глибокі поклади, але також має значний вплив на геологічне середовище. У результаті тривалого промислового освоєння сформувався складний комплекс кар'єрів, шахт, відвалів і хвостосховищ, які стали невід'ємною частиною сучасного ландшафту регіону [13].

Природні умови Криворізького регіону визначаються його розташуванням у степовій зоні України. Історично рослинний покрив був представлений степовими угрупованнями, однак унаслідок інтенсивної господарської діяльності він значною мірою трансформований [11]. Рельєф території характеризується хвилястою лесовою рівниною, розчленованою балками та ярами, що у поєднанні з техногенними формами створює високу ландшафтну мозаїчність.

Особливістю Кривбасу є значні площі порушених земель, сформованих у результаті гірничодобувної діяльності. Відвали гірських порід, кар'єрні виїмки та техногенні насипи істотно змінюють природний рельєф і створюють специфічні умови для розвитку рослинності [1; 11]. Такі субстрати характеризуються низьким вмістом органічної речовини, дефіцитом поживних елементів і нестабільними фізико-хімічними властивостями, що ускладнює процеси природного відновлення екосистем.

За сучасними оцінками, запаси залізної руди у Криворізькому басейні становлять десятки мільярдів тонн, а вміст заліза у деяких родовищах досягає 60–67 %, що забезпечує його важливе значення для металургійної промисловості України [12]. Водночас інтенсивна експлуатація родовищ супроводжується значним техногенним навантаженням на довкілля, що проявляється у забрудненні атмосферного повітря, водних ресурсів і деградації земель [13].

У результаті гірничодобувної діяльності сформувалися специфічні техногенні екосистеми, для яких характерні екстремальні умови середовища. У

таких умовах природне відновлення рослинності відбувається повільно, що зумовлює необхідність проведення рекультиваційних заходів [5; 9]. Одним із ключових напрямів є біологічна рекультивація, яка передбачає створення рослинного покриву для стабілізації субстрату та відновлення екосистемних функцій території.

Таким чином, Криворізький гірничопромисловий регіон є складною природно-техногенною системою, у якій поєднуються значний ресурсний потенціал і масштабні екологічні проблеми. Його особливості визначають необхідність комплексного підходу до відновлення порушених земель, що включає застосування сучасних методів рекультивації та екологічного менеджменту.

2.2. Екологічні особливості техногенних ландшафтів відвалів

Техногенні ландшафти відвалів є характерним елементом гірничопромислових регіонів, де здійснюється інтенсивний видобуток корисних копалин. У процесі відкритої розробки родовищ значні об'єми розкритих порід переміщуються на поверхню, утворюючи штучні насипні масиви – відвали гірських порід [11; 13]. У межах Криворізького гірничопромислового регіону такі ландшафти займають значні площі та формують специфічне середовище, яке істотно відрізняється від природних екосистем за своїми морфологічними, фізико-хімічними та біологічними характеристиками [1; 11].

Однією з головних особливостей техногенних відвальних ландшафтів є їх штучне походження та складна морфологічна структура. Відвали формуються шляхом насипання гірських порід, що призводить до утворення значних за висотою техногенних форм рельєфу, які у Кривбасі можуть перевищувати 100 м і займати площі у сотні гектарів [13]. Морфологія відвалів може бути платоподібною, конусоподібною або терасованою, що залежить від технології їх формування та складу порід. Така різноманітність формує складну систему

мікрорельєфу, яка впливає на розподіл вологи та процеси формування рослинного покриву [11].

Суттєвою екологічною особливістю відвальних ландшафтів є специфічний склад субстрату. На відміну від природних ґрунтів, субстрати відвалів складаються з гірських порід, що мають низький ступінь вивітреності, мінімальний вміст органічної речовини та низьку біологічну активність [5]. У складі відвалів Кривбасу переважають залізисті кварцити, глинисті породи, вапняки та сланці, які часто містять оксиди заліза і мають специфічні фізико-хімічні властивості [1; 11].

Важливою характеристикою таких субстратів є їх низька родючість. Вони характеризуються дефіцитом поживних елементів, високою щільністю, кам'янистістю та слабкою водоутримувальною здатністю, що значно ускладнює розвиток рослинності [5; 9]. У деяких випадках відвальні породи можуть містити підвищені концентрації важких металів, що додатково обмежує формування стійких фітоценозів [9].

Ще однією важливою особливістю є специфічний гідрологічний режим. Відсутність сформованого ґрунтового профілю призводить до того, що основним джерелом вологи є атмосферні опади, а зволоження має нестабільний характер [11]. Вода швидко стікає або інфільтрується у глибші шари, що спричиняє дефіцит вологи, особливо на щебенистих і скельних відвалах [5].

Крім того, техногенні відвали характеризуються екстремальними мікрокліматичними умовами. Відкриті поверхні спричиняють значні температурні коливання: влітку субстрат сильно нагрівається, а взимку швидко охолоджується [11]. Такі контрасти створюють додаткові стресові умови для рослин і мікроорганізмів, а також сприяють розвитку дефляційних процесів і поширенню пилу [13].

Суттєвим екологічним чинником є розвиток ерозійних процесів. Відсутність рослинного покриву призводить до активізації водної та вітрової ерозії, що проявляється у формуванні борозен, зсувів та переміщенні

дрібнодисперсного матеріалу [5; 11]. Це негативно впливає як на самі відвали, так і на прилеглі території.

Водночас техногенні ландшафти характеризуються значною екологічною неоднорідністю. У межах одного відвалу формуються різні мікроекотопи з різними умовами зволоження, освітлення та складу субстрату [1]. Наприклад, верхні частини відвалів є більш сухими, тоді як у нижніх частинах накопичуються дрібнозем і волога, що створює більш сприятливі умови для розвитку рослинності.

Незважаючи на складні умови, техногенні відвали поступово заселяються піонерними організмами – лишайниками, мохами та рудеральними рослинами, які характеризуються високою екологічною пластичністю [4]. З часом на таких територіях формуються більш складні рослинні угруповання, включаючи трав'янисті, чагарникові та деревні види, що свідчить про початок сукцесійних процесів [4; 5].

Таким чином, техногенні ландшафти відвалів характеризуються комплексом специфічних екологічних умов, серед яких ключовими є низька родючість субстратів, нестабільний водний режим, екстремальні температурні коливання та активні ерозійні процеси. Ці фактори значно ускладнюють формування рослинного покриву та відновлення екосистем, що зумовлює необхідність застосування спеціальних заходів рекультивації, зокрема біологічної рекультивації [5; 9].

2.3. Природна флора Криворіжжя та потенціал аборигенних видів для рекультивації

Природна флора Криворіжжя сформувалася в межах степової зони України та відображає поєднання зональних степових, петрофітних, лучних, прибережно-водних і синантропізованих компонентів рослинного покриву. Для ширшого регіонального контексту важливо, що флора басейну річки Інгулець, до якого належить Криворіжжя, за сучасними зведеннями охоплює 1411 видів вищих судинних рослин із 129 родин; автор дослідження підкреслює її загалом

автохтонний степовий характер, хоча в центральній, найбільш промислово трансформованій частині басейну істотно зростає роль адвентивних елементів. Структурні риси цієї флори мають безпосереднє значення для оцінки її рекультиваційного потенціалу. Для флори басейну Інгульця характерне різке переважає трав'янистих рослин, частка яких становить 87,2%, причому домінують трав'яні полікарпіки. За життєвими формами переважають гемікриптофіти, яких понад 47%, а частка терофітів становить майже 23%, що вказує, з одного боку, на степову основу флори, а з іншого – на її пристосованість до відкритих, посушливих, періодично порушуваних екотопів. Саме такі риси є екологічно цінними для відновлення техногенних ландшафтів, де рослини мають витримувати дефіцит вологи, сильну інсоляцію, температурні контрасти та нестачу дрібнозему[14; 17].

Для Криворіжжя важливо і те, що навіть у межах техногенно трансформованих екотопів басейну Інгульця зростає 438 видів вищих судинних рослин. Це означає, що місцева флора не лише зберігається у природних осередках, а й активно реагує на нові антропогенно створені екотопи, формуючи спонтанний рослинний покрив. Така здатність до самозаселення свідчить про наявність у місцевої флори значного адаптивного резерву, який може бути використаний у біологічній рекультивації. В екологічному сенсі це особливо важливо, оскільки спонтанне заростання є своєрідним «природним відбором» видів, найбільш пристосованих до техногенних субстратів Кривбасу.

Природна флора Криворіжжя формувалася в умовах високої контрастності екотопів: плакорних степових ділянок, відслонень кристалічних порід, балок, річкових долин і заплав. Саме тому в її складі поєднуються ксерофітні, мезоксерофітні, петрофітні та частково гігрофітні види. Для рекультивації відвалів це має принципове значення, оскільки техногенні субстрати Кривбасу також дуже неоднорідні: одні ділянки є сухими, щебенистими і перегрітими, інші – дрібноземистими, акумулятивними, відносно зволженими. Відповідно, природна флора регіону містить широкий набір екологічних стратегій, з яких

можна формувати адаптовані до конкретних типів відвалів рослинні суміші та насадження [5; 11].

Особливий інтерес для рекультивації мають аборигенні види степового та петрофітного походження. У дослідженні раритетної складової постмайнінгових ландшафтів Криворіжжя показано, що на таких територіях утримуються або натуралізуються види, характерні саме для степових і петрофітних флорокомплексів. Зокрема, серед видів, що натуралізувалися в ході рекультивації, названо *Bulbocodium versicolor*, *Gymnospermium odessanum*, *Iris pumila* та *Stipa ucrainica*; ще низка степових видів, зокрема *Stipa capillata*, *Stipa lessingiana* і *Stipa pulcherrima*, поширювалися на відвалах унаслідок поєднання рекультиваційних заходів і спонтанної експансії [14; 18]. Це свідчить, що техногенні ландшафти Кривбасу здатні підтримувати не лише рудеральні угруповання, а й елементи цінної місцевої степової флори.

Потенціал аборигенних видів для рекультивації визначається насамперед їхньою екологічною відповідністю умовам регіону. Місцеві рослини еволюційно пристосовані до посушливого клімату, періодичного дефіциту вологи, високої сонячної радіації, вітрового режиму та сезонних температурних коливань. У степовій зоні це часто поєднується з адаптаціями до бідних або скелетних субстратів, а для петрофітних видів – ще й до неглибокого коренезаселеного шару та мінералізованого субстрату. У прикладному плані це означає, що аборигенні види зазвичай потребують менших витрат на догляд, краще витримують регіональні кліматичні стреси й мають вищі шанси на довготривале збереження у складі створених фітоценозів.

Ще однією важливою перевагою аборигенних видів є їхня участь у формуванні екологічно повноцінних і регіонально характерних фітоценозів. На відміну від випадкових або агресивних інтродуцентів, місцеві рослини включені в історично сформовані трофічні та ценотичні зв'язки з ґрунтовою мікробіотою, запилювачами, фітофагами та іншими компонентами біоти. Тому використання аборигенних видів у рекультивації дає не лише ґрунтозахисний

чи декоративний ефект, а й сприяє відновленню локального біорізноманіття та екосистемних взаємодій. З екологічної точки зору це особливо важливо для промислового регіону, де значна частина природних оселищ уже фрагментована і потребує підтримки через створення нових осередків регіонально типової рослинності.

Окремий аспект становить потенціал аборигенних деревних і чагарникових видів. Дослідження спонтанного деревно-чагарникового покриву девастрованих земель Криворіжжя показують, що місцеві деревні види також здатні включатися у процеси природного заростання техногенних екотопів, хоча їхня частка може бути нижчою, ніж частка алохтонних видів. На порушених територіях окремих гранітних кар'єрів виявлено 34 види деревних і чагарникових рослин, які здатні природно зростати в умовах таких екотопів. При цьому в межах окремих досліджених кар'єрів кількість видів у локальних списках досягала 27. Сам факт формування спонтанних деревно-чагарникових угруповань свідчить про перспективність використання місцевих деревних порід як стабілізаторів схилів, елементів захисних смуг і компонентів багаторярусних насаджень.

Додатковим аргументом на користь аборигенних або давно натуралізованих регіональних видів є дані про «флористичне ядро» деревно-чагарникових угруповань на техногенно девастрованих землях Кривого Рогу. За результатами польових досліджень 2019–2023 років, таке ядро складається з 19 видів, що належать до 15 родів і 11 родин; у їхньому екологічному спектрі переважають мезоксерофіти, за ними – мезотрофи, а життєвий стан у цілому оцінений як ослаблений, але умови відвалів визнані відносно сприятливими для росту й розвитку деревно-чагарникових рослин. Це важливий практичний висновок: навіть у складних умовах техногенних земель Кривбасу деревно-чагарниковий компонент може формуватися природно, а отже, його доцільно враховувати не лише як наслідок самозаростання, а і як цільовий елемент рекультиваційних проєктів [4; 11].

У контексті власне рекультивації аборигенні види мають кілька функціональних переваг. По-перше, місцеві трав'янисті полікарпіки й дернинні злаки здатні швидко закріплювати поверхню субстрату та зменшувати ерозійні процеси. По-друге, аборигенні степові й лучно-степові види створюють передумови для поступового накопичення органічної речовини та формування первинного ґрунтового горизонту. По-третє, місцеві види забезпечують вищу відповідність рослинного покриву регіональним умовам, що важливо для довготривалої стабільності угруповань. Нарешті, використання аборигенної флори знижує ризик біологічного забруднення території інвазійними інтродуцентами. Ці переваги добре узгоджуються з ідеєю стимулювання природного заростання відвалів як одного з надійних способів біологічної рекультивації.

Разом з тим потенціал аборигенних видів не слід абсолютизувати. Частина місцевої флори, особливо рідкісні степові та петрофітні види, не може розглядатися як масовий матеріал для технічної рекультивації через їхній охоронний статус, обмеженість природних популяцій і чутливість до порушень. За даними дослідження флори басейну Інгульця, у його межах виділено 292 рідкісні та зникаючі види, з яких 66 занесено до Червоної книги України. Тому рекультиваційне використання місцевої флори має спиратися не на механічне перенесення рідкісних видів у техногенні умови, а на добір екологічно пластичних, звичайних для регіону аборигенних видів, здатних виконувати ґрунтозахисні та фітомеліоративні функції.

Отже, природна флора Криворіжжя є не лише об'єктом охорони, а й важливим ресурсом для екологічно орієнтованої рекультивації. Її степовий автохтонний характер, значна частка трав'янистих полікарпиків і гемікриптофітів, здатність частини видів до самозаселення техногенних екотопів, а також наявність деревно-чагарникових видів, що спонтанно формують угруповання на девастрованих землях, дають підстави розглядати аборигенні види як базу для створення стійких, регіонально адекватних

фітоценозів на відвалах Кривбасу. Найбільш перспективним підходом є використання звичайних місцевих ксерофітних, мезоксерофітних, дернинних, петрофітних і частково деревно-чагарникових видів у поєднанні зі стимулюванням природного заростання, що дозволяє не лише стабілізувати субстрат, а й наблизити техногенні ландшафти до природної структури рослинного покриву регіону.

2.4. Аналіз інтродукованих рослин, придатних для рекультивації техногенних територій

Інтродуковані види у біологічній рекультивації техногенних територій застосовують насамперед як інженерно-біологічний “інструмент швидкої стабілізації”: вони здатні швидко закривати поверхню субстрату, зменшувати дефляцію й водну ерозію, запускати накопичення органічної речовини та сприяти розвитку первинних техноземів. Для відвалів гірських порід степових регіонів це особливо актуально через дефіцит вологи, бідність субстратів на азот і фосфор, різкі мікрокліматичні контрасти й високий пиловий пресинг. Практика України демонструє, що лісо- та чагарникові культури на відвалах здатні суттєво знижувати інтенсивність знесення пилу і, відповідно, вторинне забруднення прилеглих територій.

Для Криворізький залізорудний басейн інтродуценти історично були основою лісогосподарського напрямку рекультивації: на модельних ділянках фіксуються штучні насадження *Robinia pseudoacacia* та *Pinus pallasiana* на бермах великих відвалів, а на окремих трав'янистих стадіях – майже суцільне проективне покриття (85–100%) дернинними й кореневищними видами. Паралельно показано, що деревні піонери (зокрема тополі) активно колонізують поверхні відвалів; при цьому вміст рухомих форм низки металів у субстраті та агрохімічні параметри на досліджених ділянках не були фітотоксичними для росту деревних порід [3; 9].

Ключова науково-практична дилема інтродукції – компроміс між ефективністю та екологічним ризиком. Частина видів, найкращих за швидкістю росту та стійкістю до бідних субстратів (наприклад, *Acer negundo*, *Elaeagnus angustifolia*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima*), одночасно має високий інвазійний потенціал і може перетворювати техногенні ділянки на “первинні осередки розселення чужорідних видів”. Отже, застосування інтродуцентів на відвалах Кривбасу доцільне лише за умови попереднього інвазійного скринінгу, просторових обмежень (буферів), багатовидових сумішей і системного моніторингу.

Найбільш обґрунтована стратегія для відвалів степової зони – поетапна схема: стартове залуження/гідропосів дернинними травами й бобовими для первинної детоксикації та протиерозійного ефекту; далі – введення чагарникового ярусу (зокрема азотфіксаторів), і лише після стабілізації субстрату – формування деревостану (переважно змішаного) з контролем самосіву та інвазійності [1; 8].

У контексті рекультивациі інтродуковані (інтродуцентні) види – це рослини, які цілеспрямовано вводяться (садінням, посівом) у техногенний екотоп для виконання фітомеліоративних функцій і, як правило, виходять за межі природного ареалу або типових місцезростань регіону. Для степового Криворіжжя інтродуцентами можуть бути як чужорідні для флори України види (напр., *Robinia pseudoacacia*, *Acer negundo*), так і види культивари, природні в інших регіонах, але штучно перенесені на відвали (напр., *Pinus pallasiana*).

Науково обґрунтований відбір інтродуцентів для техногенних субстратів має спиратися на сукупність критеріїв:

1. Перший блок – едафо-кліматична відповідність: толерантність до дефіциту вологи, високої інсоляції, різких температурних коливань; здатність рости на субстратах із низьким вмістом елементів живлення, високою кам’янистістю або нестійким рН. Для планування робіт доцільно задавати цільові

параметри субстрату (наприклад, рН 6,0-7,5; достатній рівень органічної речовини) та проводити агрохімічне обстеження з оцінкою токсикантів і мікроелементів.

2. Другий блок – функціональна придатність для рекультивації: швидкість формування покриву – зімкнення крон, протиерозійний ефект (коренева система, дерниноутворення), здатність накопичувати підстилку й органічну речовину, а також потенціал фіторе mediaції (фітостабілізації або фітоекстракції важких металів). Для популяцій *Populus* узагальнені дані метааналізу підтверджують їхню перспективність у фіторе mediaційних технологіях, хоча величина накопичення істотно залежить від виду, клону та умов субстрату.
3. Третій блок – біобезпека. Оцінка інвазійності є обов’язковою: для цього застосовують критерії інвазійного потенціалу (ознаки, що відображають здатність виду до натуралізації й експансії), зокрема підхід із використанням комплексу діагностичних ознак інвазійної спроможності. Практичні польові дані з Криворіжжя прямо вказують, що техногенні ландшафти можуть бути “стартовими майданчиками” для чужорідних видів, тому ризики мають оцінюватися не декларативно, а на основі моніторингу самосіву та поширення.

Групи інтродуцентів і види, придатні для техногенних субстратів:

Деревні види

Для швидкої стабілізації відвалів найбільш широко використовують швидкоростучі листяні та посухостійкі хвойні. На відвалах Криворіжжя як піонери та рекультиваційні породи особливо часто фіксуються тополі (*Populus*): описано 6 видів і 1 гібрид, частина з яких є залишками старих рекультиваційних насаджень, а інші – результатом спонтанного заносу насіння. Лісомеліоративний ефект тополь полягає у швидкому нарощуванні листової поверхні, пилозатриманні й формуванні підстилки, але короткий життєвий цикл і вразливість до механічних ушкоджень у виробничих ландшафтах

підвищують потребу в плановій заміні або “мозаїчному” відновленні насаджень [8].

Азотфіксатор *Robinia pseudoacacia* є одним із найрезультативніших деревних інтродуцентів на бідних техносолях: польові дослідження в рекультиваційних насадженнях і на відвалах демонструють високу приживлюваність та значні таксаційні показники з віком, а також здатність акумулювати низку металів переважно в листовій фракції (що важливо для фіторе mediaції, але водночас створює ризик переносу металів через листопад).

Для хвойних у степовій зоні показовим є приклад *Pinus pallasiana*: на відвалах навколо 30–35-річних насаджень формується інтенсивний самосів (до 80 здорових молодих рослин на 100 м²), фактично запускаючи процес становлення екстразональної популяції.

Чагарникові види:

Чагарники є критичними для закріплення схилів, зниження пилювання і створення “буферного” ярусу, який покращує мікроклімат для дерев. На залізорудних відвалах Криворіжжя частка чагарників у лігнозній фракції дуже висока; при цьому лише 11 видів у складі чагарникової фракції виявилися аборигенними, а багато культигених видів демонструють різний ступінь натуралізації. Особливо важливо, що серед найактивніших адвентивних видів на досліджених відвалах названо *Elaeagnus angustifolia* (вид-трансформер) та *Radus mahaleb* (висока життєздатність навіть на скельних, сухих схилах).

Трав’янисті інтродуценти та енергетичні культури:

Трав’янистий покрив – це “перший бар’єр” проти ерозії. Навчально-методичні джерела з рекультивації наводять рекомендовані набори дерновоутворюючих трав і бобових та норми висіву для попередньої детоксикації й стабілізації субстрату; підкреслюється, що формування стійкого травостою є тривалим (2–5 років) процесом і потребує регулярного догляду. Окремий напрям – використання енергокультур (наприклад, *Miscanthus giganteus*), які одночасно дають біомасу та можуть акумулювати важкі метали й

частину органічних забрудників у системі фітотехнологій (Таблиця 2.1 [20]). узагальнює види, зафіксовані в техногенних ландшафтах Криворіжжя або рекомендовані в рекультиваційних проєктах України (включно з аналогами з вугільних відвалів як функціонально подібними об'єктами). Оцінку ризику інвазійності подано за публікаціями про інвазійні види та польовими даними щодо самосіву.

Таблиця 2.1. Інтродукованих видів, перспективних для рекультивації

Латинська назва	Походження	Життєва форма	Екологічні властивості (коротко)	Застосування в рекультивації	Ризик інвазійності
<i>Robinia pseudoacacia</i>	Пн. Америка	дерево	азотфіксація, посухостійкість, швидкий ріст; здатність акумулювати частину металів у листі	лісорекультивація, фітомеліорація, протиерозійні насадження	високий
<i>Pinus pallasiana</i>	Крим, Сх. Середземно мор'я (поза степом – інтродуцент)	дерево	посухостійкість, витримує бідні субстрати; формує самосів на відвалах	закріплення схилів, “каркас” деревостану	низький–середній
<i>Populus deltoides</i>	Пн. Америка	дерево	дуже швидкий ріст, висока транспірація; перспективна для фітореMediaції	швидке озеленення, пилозатримання, фітореMediaція	середній (гібридизація)
<i>Populus canadensis</i> ×	гібрид (P. deltoides × P. nigra)	дерево	високопродуктивні клони; ризик генетичної інтрогресії	швидке заліснення, біомаса	середній (гібридизація)
<i>Populus nigra 'Italica'</i> (P. italica)	культivar євразійського походження	дерево	швидкий ріст; чоловічі, жіночі клони; потенційна участь у схрещуванні	алеї/захисні насадження, рекультиваційні посадки	середній (гібридизація)
<i>Populus bolleana</i>	Центр. Азія (культivarний)	дерево	посухо- та солевитривалист; помірна;	рекультиваційні й захисні посадки, пилозатримання	низький–середній

			декоративність		
<i>Acer negundo</i>	Пн. Америка	дерево	висока пластичність, масовий самосів, швидкий старт	піонер на порушених землях, але небажаний у природоорієнтованих схемах	високий
<i>Acer platanoides</i>	Європа (поза степом – інтродукція локально)	дерево	відносна тіньовитривалість, самосів у насадженнях	домішка у змішаних деревостанах, міцніє з часом	середній
<i>Ailanthus altissima</i>	Сх. Азія	дерево	екстремальна посухостійкість, коренепаростковість	швидке закриття ґрунту на рудералах; потребує жорсткого контролю	високий
<i>Ulmus pumila</i>	Центр. Азія	дерево	посухостійкість, витримує засолення, активний самосів	захисні насадження, ерозійний контроль	високий
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	Пн. Америка	дерево	відносна соле- й посухостійкість, швидкий ріст	лісосмуги, рекультиваційні посадки	середній
<i>Gleditsia triacanthos</i>	Пн. Америка	дерево	посухостійкість, витримує бідні ґрунти; колючість	закріплення схилів, захисні насадження	середній
<i>Quercus rubra</i>	Пн. Америка	дерево	тіньовитривалість у молодості, формує підріст у містах	домішка для довготривалості, але з оцінкою інвазійності	середній
<i>Prunus armeniaca</i>	Центр. Азія	дерево	посухостійкість; добрий старт на схилах	рекомендована культура для південних схилів відвалів	низький
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	Зах. Азія. Пд.-Сх. Європа	Дерево. кущ	солевитривалість, азотфіксація (актинориза), сильний вплив на травостій	фітомеліорація, закріплення схилів, сухі експозиції	високий (трансформер)
<i>Caragana arborescens</i>	Сибір	кущ	азотфіксація, посухостійкість	“буферний” ярус, закріплення	низький–середній

				схилів	
<i>Amorpha fruticosa</i>	Пн. Америка	кущ	азотфіксація, швидке розселення	берегозакріплення /порушені землі (із контролем)	високий
<i>Colutea arborescens</i>	Європа. Зах. Азія	кущ	посухостійкість, бобова	стабілізація схилів, ґрунтополіпшення	середній–високий
<i>Lonicera tatarica</i>	Центр. Азія	кущ	посухостійкість, зоохорія	підлісок/кущові смуги, пилозатримання	середній–високий
<i>Padus mahaleb (Padellus mahaleb)</i>	Середземно мор'я. Зах. Азія	Кущ. деревце	висока витривалість на скельних сухих схилах	закріплення схилів, чагарниковий ярус	середній
<i>Parthenocissus quinquefolia</i>	Пн. Америка	ліана	швидке покриття поверхонь, зоохорія	укріплення укосів/стінок, рекреаційні об'єкти	середній
<i>Tamarix ramosissima</i>	Центр. Азія	кущ/деревце	солевитривалість, посухостійкість	засолені субстрати, сухі відкриті схили	середній–високий
<i>Physocarpus opulifolius</i>	Пн. Америка	кущ	невибагливість, декоративність	стабілізація укосів, рекреаційні насадження	низький–середній
<i>Cotoneaster lucidus</i>	Сибір	кущ	посухостійкість помірна, плодоносить	рекультиваційні ділянки, захисні смуги	низький
<i>Syringa vulgaris</i>	Балкани	кущ	невибагливість, зоохорія обмежена	рекреаційні та санітарні насадження	низький
<i>Hippophae rhamnoides</i>	Євразія (культигений у степу)	кущ	актиноризна азотфіксація, кореневі паростки	закріплення пісків/сухих схилів, фітомеліорація	середній
<i>Miscanthus × giganteus</i>	Сх. Азія (культигений гібрид)	багаторічний злак	висока біомаса, здатність накопичувати метали, частину органічних забрудників	фітореMediaція + біомаса, рекультивація техноземів	низький (контроль розповсюдження)
<i>Spartina pectinata</i>	Пн. Америка	багаторічний злак	висока біомаса, стійкість до стресів	фітореMediaційні схеми на забруднених	низький–середній

				грунтах	
--	--	--	--	---------	--

Криворіжжя: насадження робінії та сосни кримської на відвалах:

На модельному відвалі (Першотравневий відвал) пробна ділянка в насадженнях *Robinia pseudoacacia* описана як 40-річний деревостан зі зімкнутістю 0,8 і проективним покриттям 55% на бермі, відсипаній тальковими сланцями з кам'янистістю 80%; підлісок формував *Ligustrum vulgare*, трав'яний покрив був відсутній, але сформувалася підстилка й гумусовий горизонт до 12 см.

На іншій ділянці того ж комплексу вказано штучні насадження *Pinus pallasiana*, що підтверджує застосування хвойних інтродуцентів як стабілізаторів на кам'янистих плато. Показово, що *P. pallasiana* на відвалах здатна не лише виживати, а й створювати самопідтримувану відновлювальну хвилю: площа самосіву у 2,4–21,5 рази перевищує площу материнських насаджень, а щільність здорових молодих рослин сягає 80–100 м².

Порівняння інтродуцентів і аборигенів:

Емпіричні дані з Криворіжжя підтверджують загальну закономірність: інтродуценти частіше забезпечують швидке заселення й утворення молодих деревостанів, але мають підвищені ризики інвазійності. Так, на занедбаних територіях Кривий Ріг описано масове самовідновлення: у межах одного спонтанного угруповання на площі 625 м² зафіксовано 94 середньогенеративні дерева *Acer negundo* та тисячі екземплярів самосіву *Acer platanoides* і *A. negundo*; в іншому осередку домінував самосів *A. platanoides* (9837 екз.) і зафіксовано самосів *Ailanthus altissima* (396 екз.).

У той самий час дослідники відзначають, що ключові інвазійні “міські” види не демонструють такої ж успішності проникнення у відносно стійкі ковилово-типчакові фітоценози за межами міста, тобто ризик інвазії залежить від типу біотопу та ступеня порушення (Таблиця 2.2 [20]). Для аборигенів характерніша повільніша колонізація, але вища довготривала стабільність:

найвища чисельність аборигенних кущів (*Rosa spp.*, *Crataegus spp.*) спостерігається на старих відвалах віком 70–130 років.

Таблиця 2.2. Порівняльна характеристика ефективності

Критерій	Інтродуценти (загальна тенденція)	Аборигенні види (загальна тенденція)
Швидкість закриття ґрунту/зімкнення крон	висока (особливо швидкоростучі дерева й травосуміші)	Середня, нижча
Протиерозійний ефект у перші 1–3 роки	високий за умови залуження + чагарників	часто недостатній без підсіву
Стійкість до бідних техносолів	висока у “піонерів” (робінія, маслинка, деякі тополі)	висока, але потребує “вікна” для заселення
Поліпшення ґрунту (підстилка, органіка, N)	високе для азотфіксаторів; швидкий старт ґрунтоутворення	високе, але повільні темпи
Фіторе mediaційний потенціал	високий у деяких груп (<i>Populus</i> , енергокультури)	варіативний; часто більше фітостабілізація
Ризик інвазійності/трансформації біотопів	підвищений; потрібен контроль	низький
Довготривала стабільність угруповань	варіативна; монокультури вразливі	зазвичай вища (адаптація до регіону)
Потреба в менеджменті та моніторингу	висока (самосів, обмеження поширення, заміни)	середня (переважно підтримувальні заходи)

Екологічні ризики та контроль інвазійності:

Найсуттєвіший ризик застосування інтродуцентів – інвазійність. У працях із дендрофлори модельних залізорудних відвалів Криворіжжя підкреслено, що на відвалах добре відновлюються види з дуже високою інвазійною активністю, серед яких *Acer negundo*, *Colutea arborescens*, *Elaeagnus angustifolia*, *Lonicera tatarica*, *Padus mahaleb*, *Parthenocissus quinquefolia*, *Robinia pseudoacacia* та *Ulmus pumila*.

Додаткові спостереження по чагарниковій фракції прямо вказують на *Elaeagnus angustifolia* як вид-трансформер, що може створювати загрозу “біологічного забруднення” регіону, і наголошують на необхідності моніторингу як превентивного заходу. Узагальнені критерії оцінки інвазійного потенціалу (включно з характеристиками розмноження, міграційної активності

та ценотичної ролі) можуть бути інтегровані в процедуру допуску інтродуцентів до рекультиваційних проєктів.

Другий ризик – гібридизація та генетична інтрогресія, особливо актуальна для тополь. Європейські програми генетичних ресурсів (EUFORGEN) та дослідження природної гібридизації підтверджують, що культивовані гібридні тополі (*Populus canadensis* та ін.) можуть схрещуватися з аборигенною *Populus nigra*, а це становить загрозу генетичній цілісності природних популяцій уздовж річкових коридорів. Для Кривбасу це питання критичне насамперед у прибережно–заплавних ділянках та біля водосховищ, де існує шанс контакту з природними популяціями [4; 11].

Третій ризик – перекидання токсикантів у трофічні ланцюги. Деревні породи здатні акумулювати метали в надземній фітомасі; для робінії в умовах шахтних порід показано, що деякі елементи концентруються переважно в листі (включно з підвищеною біоаккумуляцією Sb), що підсилює вимоги до управління біомасою та обмеження пасовищного використання рекультивованих площ. Аналогічно, для енергокультур (зокрема міскантусу) акцентом стає безпечний ланцюг поводження з біомасою (енергетичне використання з контролем зольних залишків).

Ризик зниження локального біорізноманіття через монодомінування інтродуцентів та алелопатичні ефекти (часто обговорювані для *Elaeagnus angustifolia*), а також ризик формування “інвазійних коридорів” вздовж транспортних і техногенних ліній (Таблиця 2.3 [4; 11]).

Таблиця 2.3. Екологічні ризики використання інтродукованих рослин під час рекультивації техногенних територій та заходи їх мінімізації.

Напрямок впливу	Прояв ризику	Наслідки для екосистеми	Заходи управління
Інвазійність та масовий самосів	Активне розмноження інтродуцентів	Порушення структури місцевих фітоценозів	Скринінг інвазійного потенціалу видів
Гібридизація з місцевими видами	Схрещування з аборигенними рослинами	Генетичне забруднення природних популяцій	Обмеження використання біля природних екосистем
Накопичення токсичних	Акумуляція важких	Потрапляння	Моніторинг вмісту

Напрямок впливу	Прояв ризику	Наслідки для екосистеми	Заходи управління
елементів у біомасі	металів	токсикантів у трофічних ланцюгах	металів у біомасі
Монодомінування та зниження біорізноманіття	Переважаючий один вид	Збіднення екосистем та витіснення місцевих видів	Створення змішаних насаджень з аборигенними видами
Поширення уздовж техногенних коридорів	Розселення інтродуцентів за межі ділянок	Вторгнення у природні екосистеми	Постійний екологічний моніторинг територій

Нижче наведено практичну схему застосування інтродуцентів, адаптовану до умов відвалів Криворіжжя, з урахуванням того, що відкриті джерела дають нерівномірні дані по різних об'єктах Кривбасу; тому частина технологічних параметрів підкріплена кейсами з вугільних відвалів України як найближчих функціональних аналогів (схили, велика кам'янистість, дефіцит поживних речовин).

Технологічні прийоми для крутих схилів доцільно орієнтувати на мікротерасування та щільне садіння. Український кейс на териконах показує ефективність мікротерас шириною, достатньою для розміщення ряду сіяньців, крок садіння 0,5–0,7 м, садіння у щілину “на штик лопати”, занурення коренів у глиняну бовтанку; отримано приживлюваність 75–94% для низки порід, включно з *Acer platanoides* і *Prunus armeniaca* [4; 11], (Таблиця 2.4).

Таблиця 2.4. План моніторингу

Показники	Строки	Методи	Порогові “тригери” для втручання
Проективне покриття трав (%) і оголені плями	1–2 рази/сезон (перші 3 роки)	маршрутні описи, квадрати 1×1 м	<60% покриття або поява активної ерозії
Приживлюваність дерев/кущів (%)	1-й, 2-й, 3-й рік	облік на пробних площах	<70% приживлюваності – підсадка/зміна виду
Самосів інвазійних видів (щільність, площа)	щороку (весна/осінь)	облік підросту, фотомоніторинг	>порогової щільності (залежно від виду) – видалення
pH, електропровідність, N–NO ₃ , P ₂ O ₅ , K ₂ O	щороку (0–10 см)	агрохіманаліз	системний вихід за цільові межі – корекція (вапнування/добрива)

Рухомі форми металів (Zn, Cu, Pb, Cd тощо)	1 раз/1–2 роки	ICP/AAS або стандартні методи	зростання рухомих форм – обмеження біомасового використання, фітостабілізація
Індекси NDVI/покриття	2–4 рази/рік	БПЛА/супутник	стагнація NDVI – перевірка причин (посуха, засолення, пошкодження)

Як додатковий інструмент для великих відвалів доцільно застосовувати дистанційний моніторинг (оцінка заліснення, різниця експозицій), що вже апробовано для відвалів різних вугільних басейнів України [1; 4; 11].

РОЗДІЛ 3. ФОРМУВАННЯ АСОРТИМЕНТУ РОСЛИН ДЛЯ БІОЛОГІЧНОЇ РЕКУЛЬТИВАЦІЇ ВІДВАЛІВ КРИВБАСУ

3.1. Порівняльна характеристика аборигенних та інтродукованих рослин

Для відвалів Кривбасу порівняння аборигенних та інтродукованих рослин має не лише флористичне, а насамперед прикладне значення, оскільки від правильного співвідношення цих двох груп залежить швидкість первинного освоєння субстрату, протиерозійна стійкість поверхні, напрям сукцесії та довготривала екологічна стабільність створюваних фітоценозів. Умови відвалів Криворіжжя є вкрай контрастними: вони поєднують кам'янисті схили, дефіцит дрібнозему, низьку вологоємність, значні температурні амплітуди, локальне засолення, мозаїчність мікроекотопів і високий рівень вітрового навантаження. Саме тому жодна з двох груп рослин не може розглядатися як універсальне рішення. Для регіону більш обґрунтованою є змішана модель, за якої інтродуценти виконують переважно стартову, інженерно-закріплювальну та санітарно-захисну функцію, тоді як аборигенні види формують основу довготривало стабільних, природоподібних угруповань.

Аборигенні рослини Криворіжжя еволюційно сформувалися в межах степової зони та краще пристосовані до посушливого клімату, інтенсивної інсоляції, сильних вітрів і сезонних коливань температур. Їхньою головною перевагою є висока екологічна сумісність із місцевими умовами та здатність формувати угруповання, близькі до природних степових і петрофітних ценозів. Саме аборигенні види забезпечують найбільшу довготривалу стійкість рослинного покриву, оскільки краще інтегруються у регіональні ґрунтово-біотичні зв'язки та менше порушують місцеву структуру біорізноманіття [11; 16]. Проте їхній недолік на молодих відвалах полягає в повільному старті: на свіжих, грубоуламкових і малопотужних субстратах вони часто не здатні швидко закрити поверхню, особливо за браку джерел насіння та тонкого коренезаселеного горизонту. Тому на початкових етапах рекультивації аборигенні види виявляють вищу ефективність не на оголених гребенях і

крутих щебенистих схилах, а на більш стабілізованих ділянках, де вже сформовано шар дрібнозему та послаблено дефляційні процеси.

Інтродуковані рослини, навпаки, зазвичай відзначаються ширшою екологічною амплітудою, швидшим ростом, здатністю до інтенсивного нарощування фітомаси та ефективнішим початковим закріпленням субстрату. Для Криворіжжя особливе значення мають швидкорослі деревні види, які рано формують крону, затінення, підстилку та розгалужену кореневу систему. У регіоні добре описані спонтанні деревні угруповання інтродуцентів, у яких домінують *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia*, *Ulmus pumila*, *Ailanthus altissima* та низка інших видів. На занедбаних антропогенно порушених територіях Кривого Рогу фіксувалися дуже високі показники самосіву, зокрема для *Acer platanooides*, *Acer negundo*, *Robinia pseudoacacia* та *Ailanthus altissima*, що свідчить про їхню високу колонізаційну здатність і конкурентну перевагу на нестабільних субстратах [4; 11].

У контексті адаптації до кліматичних умов Кривбасу аборигенні види мають перевагу за показниками посухостійкості та відповідності степовому режиму середовища [1; 12]. Вони краще витримують тривалі бездощові періоди й не потребують надмірного догляду після укорінення. Проте інтродуценти демонструють вищу пластичність саме у фазі первинного освоєння екотопу. Це особливо важливо для відвалів, де рослина має не лише вижити, а й швидко змінити середовище: зменшити нагрівання поверхні, затримати пил, послабити швидкість стоку води та ініціювати накопичення органічної речовини. Тому в сухих верхніх частинах відвалів доцільно робити ставку на ксерофітні аборигенні трави як довготривалу основу, але в деревному ярусі на старті часто перевагу отримують інтродуценти з високою екологічною пластичністю. У Кривому Розі рудеральна деревна рослинність із домінуванням *Robinia pseudoacacia* та *Acer negundo* вже сама по собі є доказом того, що саме ці види краще реагують на порушені, азотизовані й добре аеровані екотопи міста та промислових земель.

За толерантністю до субстрату інтродуковані рослини також часто перевищують аборигенні. Відвали Кривбасу формуються з розкривних і вміщуючих порід різного гранулометричного й мінералогічного складу, а великі площі зайняті масивами техногенного походження. На Інгулецькому ГЗК лише на початок 1980-х років у відвалах було заскладовано майже 89 млн м³ розкривних і вміщуючих порід на площі 240 га, що свідчить про значний масштаб штучно створених екотопів у регіоні. Такі субстрати відрізняються від природних ґрунтів низькою біологічною активністю, нерівномірною вологістю та нестабільною структурою, і саме тут інтродуценти здатні швидше проходити стадію закріплення. Аборигенні види краще працюють після часткової стабілізації поверхні, коли техногенний субстрат уже набуває рис первинного ґрунтового профілю [10; 13].

За швидкістю закриття поверхні та протиерозійною ефективністю інтродуценти, як правило, мають перевагу в деревному ярусі, тоді як серед трав'янистих рослин ефективність визначається не походженням, а життєвою формою. На ранніх стадіях рекультивації найкращий ефект дають швидкозростаючі трав'янисті суміші з домінуванням дерниноутворюючих злаків і бобових. Однак у середньостроковій перспективі саме деревні інтродуценти суттєво знижують дефляцію, уповільнюють змив і формують підстилку [10; 13]. Для Кривого Рогу характерним є вегетативне відновлення деревних видів на щебенистих і суглинкових ділянках відвалів: у сформованих куртинах відмічалось інтенсивне розмноження кореневими паростками, а особини зростали на дуже малій відстані одна від одної, що підсилює закріплення субстрату та локальну стійкість схилу. Ця властивість особливо цінна для техногенних екотопів, де насіннєве поновлення ускладнене.

Щодо фіторе mediaційного потенціалу, аборигенні види частіше виконують функцію фітостабілізації, тобто знижують пиління, стримують винесення дрібних часток і сприяють утриманню забруднювачів у межах субстрату. Інтродуценти, особливо швидкорослі деревні породи, можуть виконувати

також функції фітоекстракції або принаймні інтенсивного акумулювання елементів у надземній масі. Саме тому їх доцільно включати до асортименту на проблемних ділянках, але лише за умови контролю біомаси. Для Криворіжжя це особливо важливо, оскільки рослинна маса на промислових територіях не повинна розглядатися лише як екологічний ресурс – вона може накопичувати контамінанти й потребує регламентованого поводження. Разом із тим для більшості відвалів регіону екологічна доцільність інтродуцентів полягає не стільки у власне очищенні субстрату, скільки у швидкому створенні рослинного покриву, який мінімізує вторинне поширення пилу [4; 11].

Найскладнішим аспектом порівняння є ризик інвазійності. Для Криворіжжя це питання має принципове значення, оскільки спонтанні угруповання деревних інтродуцентів у місті й на порушених територіях уже добре сформовані. У рудеральній деревній рослинності Кривого Рогу виділяються угруповання з домінуванням *Acer negundo* і *Robinia pseudoacacia*, а в занедбаних насадженнях зафіксовано масовий самосів також *Ulmus pumila* та *Ailanthus altissima*. Це означає, що інтродуценти справді працюють як ефективний стартовий інструмент рекультивації, але одночасно несуть ризик біологічного забруднення техногенних і суміжних територій. Водночас важливо, що в стабільних ковилово-типчакових фітоценозах за межами міста ці інвазійні види не продемонстрували активного проникнення у добре сформовані природні угруповання. Отже, найбільший ризик вони становлять саме для порушених або напівпорушених екотопів, а не для зрілих степових ценозів. Для практики рекультивації це означає необхідність просторового обмеження інтродуцентів, заборони суцільних монокультур і постійного контролю самосіву.

За довготривалою стабільністю перевага все ж належить аборигенним видам. Саме вони є основою природоподібних рослинних угруповань, які краще підтримують регіональне біорізноманіття, менше потребують управлінського втручання та не створюють загрози інвазійного вибуху.

Інтродуценти у Криворіжжі доцільно розглядати насамперед як тимчасовий або допоміжний компонент, особливо на найбільш екстремальних ділянках. Їхнє завдання полягає у швидкому покращенні мікроклімату, накопиченні органічної маси, зниженні рухливості субстрату та створенні умов для подальшої натуралізації покриву. Якщо ж інтродуценти залишаються єдиною основою насаджень, ризик монодомінування та спрощення флористичної структури різко зростає. Саме тому для Кривбасу найдоцільнішою є схема, за якої інтродуценти використовуються як стартові «інженерні» породи, а аборигенні види – як цільовий компонент подальшої сукцесії [1; 11].

У практичному аспекті це означає, що на перших етапах рекультивації доцільно поєднувати швидке трав'янисте залуження з локальним введенням деревних і чагарникових інтродуцентів на найбільш нестабільних ділянках. Після часткового закріплення субстрату до складу угруповань слід послідовно вводити місцеві степові, лучно-степові та чагарникові види, здатні забезпечити більшу природність і довготривалу стабільність рослинного покриву. Для Криворіжжя такий підхід є найбільш виправданим, бо враховує як реальні властивості техногенних субстратів, так і вже зафіксовані в регіоні моделі самовідновлення рослинності [12]. Отже, аборигенні рослини слід розглядати як екологічну основу майбутнього фітоценозу, а інтродуковані – як інструмент прискорення ранніх етапів рекультивації, застосування якого має бути строго керованим і екологічно контрольованим (Таблиця 3.1 [12]).

Таблиця 3.1. Порівняльна матриця критеріїв

Критерій	Аборигенні види (характеристика)	Інтродуценти (характеристика)	Коментар/рекомендація
Адаптація до клімату	Висока «природна» посухостійкість, але повільніший старт на голих субстратах	Можлива висока стрес-толерантність за правильного добору (напр., тополі з пластичністю)	На сухих схилах – акцент на ксерофітні аборигени + стартове залуження; деревні інтродуценти – точково
Толерантність до субстрату	Краще працюють після появи дрібнозему	Часто ширша амплітуда (солі/pH), можливий успіх на	На карбонатно-солонцюватих ділянках – лише інтродуценти зі

Критерій	Аборигенні види (характеристика)	Інтродуценти (характеристика)	Коментар/рекомендація
		«складних» субстратах	скринінгом інвазійності
Швидкість закриття ґрунту	Залежить від наявності діаспор і часу	Висока при посівах травосумішей і швидкоростах	Для перших 2–3 років обов’язкове залуження (в т.ч. культурними травами), далі – введення аборигенів
Протиерозійні властивості	Високі після формування дернини; довготривала стабільність	Високі у середньостроковій перспективі через зімкнення крон/підстилку	Комбінувати: трави (швидко) + чагарники (схили) + деревостан (плато)
Фіторемедіаційний потенціал	Частіше фітостабілізація (пил/сток)	Добре документований для <i>Populus</i> , <i>Robinia</i>	Включати «фіторемедіаторів» разом із контролем металів у біомасі
Інвазійність / гібридизація	Низька	Підвищена; окремі види – високоінвазійні; у тополь можливий генетичний ризик	Скринінг, буфери, видалення самосіву; уникати гібридних тополь у заплавах
Довготривала стабільність	Вища для природоподібних угруповань, але довший шлях формування	Висока у змішаних посадках; нижча у монокультурах	Інтродуценти – «старт», аборигени – «ціль»; уникати монодомінування

Порівняльний аналіз свідчить, що найбільш ефективною для умов Криворізького гірничопромислового регіону є комбінована модель рекультивації. Інтродуковані рослини доцільно використовувати на початкових етапах відновлення техногенних територій для швидкої стабілізації субстрату, зниження ерозійних процесів і формування первинного рослинного покриву. У подальшому основну роль у формуванні стійких фітоценозів повинні відігравати аборигенні види, які забезпечують природність, біорізноманіття та екологічну стабільність відновлених екосистем.

Для систематизації наведених вище підходів до добору рослин доцільно узагальнити перспективні для умов Кривбасу аборигенні та інтродуковані види

у вигляді порівняльної (Таблиці 3.2 [12]). Така форма подання дає змогу чітко зіставити їхнє походження, функціональну роль у рекультивації, основні переваги, можливі екологічні ризики та рекомендовані зони використання на відвалах. Це особливо важливо для техногенних територій Криворіжжя, де ефективність рослинного покриття визначається не лише видовим складом, а й відповідністю конкретного виду умовам плато, схилів, підніжжя або локальних западин.

Таблиця 3.2. Перспективні аборигенні та інтродуковані види рослин для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу

Вид	Статус	Основна функція	Переваги	Ризики	Рекомендована зона використання на відвалі
<i>Stipa capillata</i>	аборигенний	Формування природоподібного степового покриття	Висока посухостійкість, відповідність степовим умовам, цінний цільовий компонент сукцесії	Повільне освоєння молодих субстратів, потребує стабілізованого дрібнозему	Стабілізовані сухі плато, вирівняні верхні частини відвалів
<i>Festuca valesiaca</i>	аборигенний	Протиерозійне залуження, дерниноутворення	Формує щільну дернину, добре витримує посуху, перспективна в природизаційних сумішах	На дуже кам'янистих субстратах стартує повільно	Сухі схили, плато, ділянки з тонким шаром дрібнозему
<i>Koeleria cristata</i> (K. <i>macrantha</i>)	аборигенний	Закріплення бідних ксерофітних субстратів	Добре тримається на сухих і малородючих ділянках, підходить для верхніх частин відвалів	Менш ефективна на нестабільних сипких схилах без дрібнозему	Верхні сухі частини відвалів, гребені, кам'янисті плато
<i>Calamagrostis epigeios</i>	аборигенний	Сукцесійна стабілізація субстрату	Формує щільні зарості, добре фіксує субстрат, швидко займає дрібнощербеністі площі	Може надмірно домінувати локально	Дрібнощербеністі схили, проміжні сукцесійні ділянки
<i>Melica transsylvanica</i>	аборигенний	Формування петрофітних угруповань	Пристосована до рухлякових і кам'янистих	Обмежена продуктивність на більш родючих	Рухлякові схили, скельно-

Вид	Статус	Основна функція	Переваги	Ризики	Рекомендована зона використання на відвалі
			екотопів	ділянках	уламкові субстрати
<i>Pilosella officinarum</i> , <i>P. echioides</i>	аборигенні	Піонерне освоєння специфічних субстратів	Добре працюють на бідних кварцових і сухих субстратах, можуть бути ранніми колонізаторами	Невисока біомаса, локальний ефект	Кварцові та дуже бідні мінеральні субстрати
<i>Rosa corymbifera</i>	аборигенний	Чагарникове закріплення, біотехнічний бар'єр	Добре утворює куртини, укріплює ґрунт, підвищує мозаїчність покриву	Може активно розростатися локально	Схили, крайові смуги, мозаїчні чагарникові групи
<i>Prunus stepposa</i>	аборигенний	Формування природоподібних чагарникових елементів	Відповідає степовим умовам, підвищує природність насаджень	Обмежена доступність садивного матеріалу	Стабілізовані схили, мозаїчні чагарникові осередки
<i>Robinia pseudoacacia</i>	інтродукований	Азотфіксація, швидке поліпшення субстрату, стартова деревна порода	Швидкий ріст, накопичення фітомаси, покращення азотного режиму, ефективна на бідних субстратах	Високий інвазійний потенціал, потребує контролю самосіву	Плато, тераси, середньострокові захисні насадження
<i>Acer negundo</i>	інтродукований	Швидке деревне закриття території	Висока стійкість до техногенних умов, швидко відновлюється	Дуже висока інвазійність, небажаний у природоорієнтованих схемах	Лише обмежено, на технічних ділянках під контролем
<i>Elaeagnus angustifolia</i>	інтродукований	Освоєння сухих карбонатних і солонцюватих субстратів	Висока толерантність до посухи й карбонатів, придатна для складних ділянок	Підвищений ризик інвазійного поширення	Сухі карбонатні схили, солонцюваті фрагменти
<i>Ulmus pumila</i>	інтродукований	Захисні насадження на сухих ділянках	Посухостійкість, добрий ріст у стресових умовах	Висока інвазійна активність	Обмежено на сухих периферійних ділянках із моніторингом

Вид	Статус	Основна функція	Переваги	Ризики	Рекомендована зона використання на відвалі
<i>Fraxinus pennsylvanica</i>	інтродукований	Деревний каркас у стресових умовах	Толерантний до порушених екотопів, може зміцнювати деревний ярус	Може натуралізуватися поза межами посадок	Тераси, помірно стабілізовані плато
<i>Populus deltoides</i>	інтродукований	Швидке пилозатримання, фітомеліорація, стартове озеленення	Один із найшвидкоросліших видів, добре закриває простір, придатний для фіторе mediaційних функцій	Потребує контролю біомаси, можливі ризики неконтрольованого поширення	Нижні частини схилів, тераси, ділянки санітарно-захисного призначення
<i>Pinus pallasiana</i>	інтродукований	Закріплення сухих скельно-уламкових субстратів	Висока посухостійкість, придатність до скельних і гранітних відвалів, формує довговічний деревостан	Повільніший старт порівняно з листяними швидкорослими видами	Скельно-уламкові плато, сухі стабілізовані схили
<i>Cerasus mahaleb</i>	інтродукований	Освоєння кам'янистих субстратів, мозаїчні деревно-чагарникові групи	Добре росте на кам'янистих і вапнякових субстратах	Може активно поширюватися, потребує контролю	Скельно-уламкові та карбонатні ділянки

З наведених даних видно, що аборигенні види доцільно використовувати як основу довготривалого природоподібного рослинного покриву, тоді як інтродуковані види найбільш ефективні на початкових стадіях рекультивації, коли необхідно швидко стабілізувати субстрат, зменшити дефляцію та сформувати стартовий деревно-чагарниковий каркас. Найбільш раціональним для відвалів Кривбасу є поєднання обох груп рослин із чітким просторовим зонуванням і постійним моніторингом інвазійної активності окремих інтродуцентів. Дані про рудеральну деревну рослинність Кривого Рогу підтверджують, що частина інтродуцентів, зокрема *Acer negundo* та *Robinia*

pseudoacacia, уже демонструє високу здатність до самовідновлення й поширення, тому їх використання має бути контрольованим.

3.2. Екологічна ефективність використання різних груп рослин

Екологічна ефективність рослин у системі біологічної рекультивації відвалів Кривбасу визначається не лише видовим складом, а й функціональною роллю окремих груп рослин у різні періоди відновлення техногенного субстрату. Для умов Криворіжжя це питання є особливо важливим, оскільки відвали характеризуються різкою мозаїчністю екотопів, дефіцитом дрібнозему, низькою вологоємністю, нерівномірним сольовим режимом і значним ризиком вітрової та водної ерозії [1; 12]. За таких умов різні групи рослин проявляють неоднакову ефективність: трав'янисті угруповання забезпечують найшвидше закриття поверхні й первинну протиерозійну стабілізацію, чагарники формують буферний і мікрокліматичний прошарок, деревні породи створюють довготривалий каркас екосистеми, а енергокультури можуть поєднувати захисну, продукційну та ремедіаційну функції [1; 8].

Метою оцінювання є зіставлення екологічної ефективності основних функціональних груп рослин – деревних, чагарникових, трав'янистих злаково-бобових сумішей та енергокультур – за такими показниками, як приживлюваність, швидкість закриття субстрату, протиерозійний ефект, внесок у ґрунтоутворення, вплив на біорізноманіття та потреби в подальшому менеджменті [1]. Для Кривбасу частина кількісних показників представлена фрагментарно, однак узагальнення польових досліджень і матеріалів щодо рослинності відвалів дозволяє виділити ключові закономірності [4; 12].

Найбільш швидко екологічну віддачу на початкових етапах рекультивації забезпечують трав'янисті угруповання, насамперед злаково-бобові суміші. Їхня головна перевага полягає у здатності швидко формувати щільний рослинний покрив, який зменшує дефляцію, послаблює поверхневий стік і фіксує верхній шар дрібнозему [1]. Для відвалів Криворіжжя це має принципове значення,

оскільки саме трав'янистий покрив забезпечує первинну стабілізацію техногенного субстрату [12]. Щільні кореневі системи багаторічних злаків і бобових створюють перший стабілізуючий горизонт, який сприяє накопиченню органічної речовини та формуванню початкового ґрунтового профілю [1].

Практично це означає, що трав'янисті суміші є обов'язковим етапом рекультивації. Їхня ефективність полягає не лише у швидкому досягненні високого проективного покриття, але й у запуску процесів гумусоутворення та підготовці умов для заселення чагарникових і деревних видів [1; 8]. Особливо важливі такі суміші для плато та терас, де без трав'яного покриття поверхня тривалий час залишається відкритою і піддається інтенсивній дефляції.

Окрему групу становлять енергокультури та багаторічні трави з високою продуктивністю, які можуть використовуватися на спеціалізованих ділянках відвалів. Їхня екологічна ефективність полягає у формуванні значної біомаси та потенціалі фіторемедіації [13]. Дослідження показують, що *Miscanthus × giganteus* і *Phalaris arundinacea* здатні знижувати мобільність важких металів у ґрунті та одночасно формувати значну кількість біомаси [13]. Проте їх використання потребує контролю, оскільки накопичення забруднювачів у рослинній масі може створювати вторинні екологічні ризики [13].

Чагарникові рослини відіграють проміжну, але надзвичайно важливу роль між трав'янистою та деревною стадіями рекультивації. Вони ефективні на схилах і межах мікроекотопів, де формують щільну кореневу систему, стабілізують субстрат і створюють мікрокліматичні «острівці» [4]. У рудеральній рослинності Кривого Рогу зафіксовано активне самовідновлення чагарникових видів, що підтверджує їх високу адаптивність до техногенних умов [4; 11]. Водночас їхня здатність до швидкого поширення вимагає контролю, оскільки деякі види можуть проявляти інвазійні властивості [4].

Екологічна ефективність чагарників полягає у підвищенні структурної різноманітності рослинного покриття та створенні умов для переходу до більш складних фітоценозів [1]. Вони менш ефективні у швидкому закритті поверхні

порівняно з травами, але значно перевищують їх за здатністю закріплювати схили та затримувати дрібнозем [1].

Найбільший довгостроковий ефект забезпечують деревні породи, які формують екологічний каркас техногенного ландшафту [1; 8]. Вони знижують швидкість вітру, створюють підстилку, стимулюють розвиток ґрунтової мікробіоти та сприяють накопиченню органічної речовини [8]. Дослідження рослинності відвалів показують, що лісові насадження істотно зменшують ерозійні процеси та пилове навантаження [8].

Для Криворіжжя підтверджена життєздатність деревних порід на техногенних субстратах, зокрема представників роду *Populus*, *Pinus* та *Robinia* [3; 7; 9]. Вони здатні формувати стабільні насадження навіть у складних екологічних умовах, хоча їх розвиток значною мірою залежить від рівня техногенного стресу [3].

Водночас деревні породи мають обмеження: вони повільніше формують суцільний покрив, потребують більш складного догляду та мають ризики інвазійності (для деяких інтродуцентів) [4]. Тому їх доцільно використовувати як елемент середньо- та довгострокової рекультивації, а не як єдиний інструмент початкового відновлення [1]. Крім того, для частини інтродукованих деревних видів у Кривому Розі вже встановлено високий інвазійний потенціал, що потребує контролю самосіву й уникнення великих монокультур. Отже, деревні насадження мають найвищу екологічну ефективність саме в середньо- та довгостроковій перспективі, але не можуть повністю замінити трав'янисту стартову стадію.

Для наочнішого зіставлення функціональних переваг і обмежень різних груп рослин доцільно узагальнити їхні екологічні характеристики у порівняльній (Таблиці 3.3 [1]). Це дає змогу показати, які групи доцільніше використовувати на ранніх стадіях рекультивації, а які – як елементи довготривалої стабілізації та натуралізації покриву.

Таблиця 3.3. – Порівняльна екологічна ефективність основних груп рослин для рекультивації відвалів Кривбасу

Показник	Деревні	Чагарникові	Трав'янисті злаково-бобові	Енергокультури / мультифункціональні трави
Швидкість стартового закриття субстрату	Низька–середня	Середня	Висока	Середня
Протиерозійний ефект у перші роки	Середній	Високий на схилах	Найвищий	Високий після укорінення
Довготривала стабілізація	Найвища	Висока	Середня	Середня
Внесок ґрунтоутворення	Дуже високий у через підстилку кореневі виділення	Середній–високий	Середній	Високий за рахунок великої кореневої маси
Фіторемедіаційний потенціал	Високий у окремих видів	Переважно фітостабілізація	Переважно фітостабілізація	Високий на спеціалізованих ділянках
Вплив на біорізноманіття	Підвищує вертикальну структуру, але може затінювати відкриті біотопи	Підвищує мозаїчність	Підтримує ранньосукцесійні комплекси	Може знижувати різноманіття за монодомінування
Потреба в менеджменті	Висока на старті	Середня	Середня в перші роки	Висока через контроль біомаси й поживного режиму

Аналізуючи функціональну роль окремих груп, можна зробити висновок, що для відвалів Кривбасу екологічно найефективнішою є поетапна комбінована схема. На першому етапі домінувати повинні трав'янисті злаково-бобові суміші як найкращий інструмент швидкої протиерозійної стабілізації. На другому етапі доцільно вводити чагарникові елементи, які закріплюють укоси та формують буферні мікрооселища. На третьому етапі основну роль перебирають деревні насадження, що забезпечують довготривале ґрунтоутворення, структурування

покриву та зниження пилового навантаження. Енергокультури варто використовувати вибірково – насамперед на ремедіаційних або експериментальних ділянках, де можна забезпечити належний екологічний моніторинг.

Для переходу від загальної оцінки груп до прикладного добору рослин доцільно окремо узагальнити приклади видів, які можуть представляти кожен з розглянутих функціональних груп у системі рекультивації Кривбасу (Таблиця 3.4 [3; 7; 9]). Це дозволяє пов'язати теоретичну оцінку екологічної ефективності з практичним формуванням асортименту.

Таблиця 3.4. – Приклади видів різних функціональних груп, перспективних для рекультивації відвалів Кривбасу

Група	Вид	Основна роль
Деревні	<i>Populus italica</i> , <i>Populus deltoides</i> , <i>Populus alba</i>	Швидкий деревний каркас, пилозатримання, підстилка
Деревні	<i>Pinus pallasiana</i> , <i>Betula pendula</i>	Довготривала стабілізація, освоєння бідних субстратів
Чагарникові	<i>Rosa corymbifera</i> , <i>Prunus stepposa</i>	Закріплення схилів, мозаїчність, буферні смуги
Чагарникові	<i>Ligustrum vulgare</i>	Підлісок і буферний елемент у насадженнях
Трав'янисті	<i>Elytrigia repens</i> , <i>Festuca pratensis</i> , <i>Lolium perenne</i>	Швидке закриття поверхні, дерниноутворення
Трав'янисті	<i>Medicago sativa</i> , <i>Trifolium pratense</i> , <i>Melilotus officinalis</i>	Азотфіксація, рання стабілізація субстрату
Енергокультури	<i>Miscanthus</i> × <i>giganteus</i> , <i>Phalaris</i> <i>arundinacea</i>	Біомаса, ремедіація, захисне покриття

У практичному плані це означає, що добір асортименту для відвалів Кривбасу повинен здійснюватися поетапно. Спочатку оцінюють літологію субстрату, частку дрібнозему, рН, сольовий режим, наявність забруднювачів, ерозійну небезпеку та експозицію схилів. Далі проводять зонування ділянки на плато, берми, укоси та западини. Після цього обирають функціональну модель: протиерозійна стабілізація, лісомеліорація, ремедіація або мозаїчне поєднання

цих цілей. Лише на цій основі формують послідовність використання трав'янистих, чагарникових, деревних видів та, за потреби, енергокультур.

Норми висіву й посадки для конкретних культур у дипломній роботі доцільно наводити окремо в практичному підрозділі або додатку, але з екологічної точки зору для Кривбасу важливо підкреслити інше: жодна функціональна група не є самодостатньою. Найкращий результат дає не ізольоване використання деревних, чагарникових чи трав'янистих рослин, а їх поєднання в логічній послідовності, де кожна група виконує свою роль у певний період сукцесії. Саме така схема найбільш повно відповідає екологічним умовам техногенних ландшафтів Криворіжжя.

3.3. Рекомендований асортимент деревних, чагарникових та трав'янистих рослин

Формування рекомендованого асортименту рослин для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу має ґрунтуватися не на механічному переліку видів, а на поєднанні їх екологічної толерантності, функціональної ролі та рівня біобезпеки. Для техногенних субстратів Криворіжжя визначальними є здатність рослин витримувати кам'янистість, дефіцит гумусу й дрібнозему, нестійкий водний режим, високий рівень інсоляції та локальну хімічну неоднорідність [1; 6]. Додатково важливими є швидкість закриття поверхні, здатність закріплювати схили, накопичувати органічну речовину та не створювати високого ризику інвазійного поширення [1; 4]. Саме тому для відвалів Кривбасу доцільним є поєднання деревних, чагарникових і трав'янистих видів у межах багатокомпонентної системи рекультивації [1].

Метою добору асортименту є забезпечення швидкої первинної стабілізації поверхні відвалу та закладання основи для довготривалого розвитку екологічно стійкого рослинного покриву. У цьому контексті критерії відбору включають: екологічну толерантність до техногенного субстрату, функціональну роль виду та його біобезпеку [1; 6]. Особливо важливо враховувати інвазійний потенціал

окремих інтродуцентів, які в умовах Криворіжжя здатні до активного самовідновлення та поширення [4; 6].

Для деревного ярусу до асортименту доцільно включати види, що швидко формують надземну масу, підстилку та розвинену кореневу систему. До таких належать представники роду *Populus* – *Populus italica*, *Populus deltoides* та *Populus alba*, які характеризуються високою швидкістю росту, здатністю до освоєння техногенних екотопів і ефективною пілозатримувальною функцією [3; 6]. Для сухих і кам'янистих ділянок перспективними є *Pinus pallasiana* та *Pinus sylvestris*, які забезпечують довготривалу стабілізацію субстрату [2; 8]. Серед аборигенних широколистих видів доцільно використовувати *Acer platanooides*, *Quercus robur* та *Fraxinus excelsior*, але переважно на ділянках із достатнім зволоженням і запасом дрібнозему [1]. Особливе значення має *Robinia pseudoacacia* як азотфіксатор і швидкоросла стартова порода, однак її використання потребує контролю через високий інвазійний потенціал [7; 10].

Чагарниковий ярус відіграє важливу роль у стабілізації схилів, формуванні буферних зон і підвищенні мозаїчності рослинного покриву. Серед аборигенних видів доцільно використовувати *Rosa corymbifera*, *Prunus spinosa*, *Prunus stepposa* та *Hippophae rhamnoides*, які сприяють закріпленню субстрату та формуванню захисних куртин [5]. Серед інтродуцентів можуть використовуватися *Elaeagnus angustifolia*, *Amorpha fruticosa*, *Caragana arborescens*, *Lonicera tatarica* та *Cornus alba*, однак їх застосування повинно бути обмеженим і контрольованим [4; 6]. Особливо небезпечними з точки зору інвазійності є *Lonicera tatarica* та *Amorpha fruticosa*, які здатні швидко формувати домінантні угруповання [4].

У трав'янистому ярусі основне значення мають злаково-бобові суміші, здатні швидко формувати дернину та запускати процеси ґрунтоутворення. До таких видів належать *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense*, *Melilotus albus* та *Onobrychis viciifolia* [1]. Для вологіших умов доцільно використовувати *Phalaris arundinacea*, однак її

поширення потребує контролю [13]. Після часткової стабілізації субстрату доцільно вводити аборигенні степові види, такі як *Stipa capillata*, *Festuca valesiaca*, *Koeleria cristata* та *Calamagrostis epigeios*, які сприяють натуралізації рослинного покриву та підвищенню біорізноманіття [12].

Для спеціалізованих ремедіаційних ділянок можуть використовуватися енергокультури, зокрема *Miscanthus* × *giganteus* та *Phalaris arundinacea*, які поєднують високу продуктивність біомаси та здатність до зниження мобільності забруднювачів [13]. Проте їх застосування повинно бути обмеженим і контрольованим, оскільки вони можуть накопичувати важкі метали та створювати вторинні екологічні ризики [13].

Для узагальнення рекомендованого асортименту доцільно подати основні види, їх походження, функціональну роль, спосіб використання та можливі ризики у додатках (Табл 3.7). Це дає змогу не лише систематизувати перелік рослин, а й чітко пов'язати кожен вид із певною екологічною функцією на відвалі, що особливо важливо під час проєктування рекультиваційних заходів для різних мікроекотопів Кривбасу.

Після визначення рекомендованого асортименту наступним практичним кроком є встановлення послідовності його введення на відвалі. Для умов Криворізького басейну доцільною є трирівнева схема рекультивації, що відповідає принципам поетапного формування рослинного покриву та відновлення екосистемних функцій техногенних ландшафтів [1; 8]. На першому етапі здійснюють стартове залуження злаково-бобовими сумішами, які забезпечують швидке закриття поверхні, зменшення ерозійних процесів і створення первинного органічного шару [1]. На другому етапі на укосах і межах ділянок формують чагарникові смуги або куртини, що підсилюють протиерозійний ефект, стабілізують схили та створюють буферні оселища для розвитку біоти [4; 5]. Лише після часткової стабілізації субстрату вводять деревні породи, які формують довготривалий каркас насадження і забезпечують розвиток багаторярусних фітоценозів [1; 2]. На окремих

ремедіаційних полігонах ця схема може доповнюватися використанням енергокультур, що дозволяє поєднувати екологічні та господарські функції території [13].

Для формування стартових трав'янистих угруповань у практиці рекультивації використовують суміші швидкорослих злаків і бобових культур, які забезпечують як механічне закріплення субстрату, так і покращення його поживного режиму [1]. Робоча суміш для 1 га може включати *Lolium perenne*, *Festuca pratensis*, *Dactylis glomerata*, *Medicago sativa*, *Trifolium pratense* та *Melilotus albus* у співвідношенні, що забезпечує одночасно швидке формування дернини та накопичення азоту [1]. Для щербенистих плато та ділянок із дефіцитом дрібнозему доцільно застосовувати локальні «кишені» родючого субстрату, мульчування або гідропосів, що знижує ризик видування насіння та підвищує ефективність укорінення рослин [8].

Чагарникові види доцільно вводити на другому етапі рекультивації у вигляді смуг або плям, переважно на укосах, у вітрових коридорах і по краях ділянок залуження. Таке розміщення сприяє формуванню просторової мозаїки та підвищує екологічну стійкість рослинного покриву [5]. Водночас для інтродукованих видів із підвищеним інвазійним потенціалом, таких як *Amorpha fruticosa*, *Lonicera tatarica* чи *Elaeagnus angustifolia*, необхідним є впровадження системи контролю, що включає регулярний моніторинг, створення буферних зон і своєчасне видалення самосіву [4; 6].

Деревні насадження, у свою чергу, формуються переважно на бермах, терасах і плато, де створюються більш сприятливі умови для їх розвитку. Рекомендовано використовувати змішані насадження, що включають як швидкорослі піонерні види (*Populus*, *Robinia*), так і довговічні аборигенні породи (*Quercus robur*, *Acer platanoides*), що дозволяє уникнути монодомінування і підвищити довготривалу стабільність екосистеми [1; 3]. Такий підхід відповідає сучасним принципам лісової рекультивації, орієнтованої на формування природоподібних фітоценозів [8].

Ефективність рекомендованого асортименту повинна контролюватися за допомогою систематичного моніторингу, який є невід’ємною частиною рекультиваційного процесу. Мінімальний набір показників включає відсоток проективного покриття, приживлюваність деревних і чагарникових рослин, інтенсивність ерозійних процесів, зміну фізико-хімічних властивостей субстрату та щільність самосіву інтродуцентів. Для ремедіаційних або енергетичних ділянок додатково необхідно контролювати вміст забруднювачів у біомасі рослин, що дозволяє оцінити ефективність фіторемердіації та екологічну безпечність використання отриманої біомаси [13].

Для відновлення рослинності на порушених територіях нами було розроблено рекомендації та створено наступний **алгоритм**:

1. Практичний шаблон стартової суміші (1 га)

Мета першого етапу (0–2 роки): швидка протиерозійна стабілізація + первинна фітомеліорація та накопичення органіки. Норми висіву взято з навчального посібника; для трикомпонентної суміші застосовано правило зниження норми кожного виду на 50%.

2. Травосуміш (три компоненти, посів або гідропосів із мульчуванням):

- a. *Festuca pratensis* (костриця лучна): 15 кг/га
 - b. *Lolium perenne* (райграс пасовищний): 16 кг/га
 - c. *Medicago sativa* (люцерна посівна): 10 кг/га
 - d. Разом: ~41 кг насіння/га.
1. Чагарниковий “буфер” (схили, бровки, вітровий фронт):
- a. *Caragana arborescens*: 1200–1500 саджанців/га (смугами, 1,5×2,5 м)
 - b. *Hippophae rhamnoides* або *Elaeagnus angustifolia* – лише локально (за відсутності цінних степових оселищ поруч): 800–1200 саджанців/га.

3. Деревний ярус (після стабілізації травостою, з 2–3 року):

- a. *Robinia pseudoacacia*: 2000–3000 сіянців/га (2,5×1,5 м або мікротераси з кроком 0,7 м)
 - b. *Pinus pallasiana*: 800–1200 сіянців/га (плямами на плато, верхніх бровках)
 - c. *Populus deltoides* або клонові тополі – 200–400 шт/га у вологіших мікропониженнях (з урахуванням ризику гібридизації у прибережних зонах).
- Цей шаблон є базовим і має коригуватися за результатами агрохімічного обстеження та за даними про геотехнічну стабільність конкретного відвалу.

3.4. Перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях

Перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях Кривбасу безпосередньо пов'язані з тим, наскільки рекультивація виходить за межі суто інженерного закріплення поверхні та переходить до формування екологічно складних, просторово неоднорідних і функціонально пов'язаних угруповань. Для неокультурених і слабо рекультивованих відвалів регіону характерний збіднений видовий склад, домінування піонерних і рудеральних таксонів, а також висока частка інтродукованих рослин у деревно-чагарниковому ярусі [4; 6; 15]. Дослідження техногенних екотопів Криворіжжя показують, що рослинні угруповання мають спрощену структуру, а їхній видовий склад залежить від гранулометричного складу субстрату, експозиції схилу, зволоження та близькості природних ділянок [14; 15]. У різних екопрофілях відвалів зафіксовано від 50 до 80 і більше видів вищих рослин, причому значну частку становлять рудеральні та стійкі до порушення види [16; 17].

Водночас техногенні території не є екологічно безнадійними. Вони здатні проходити послідовні стадії самозаростання, а за правильно організованої рекультивації – переходити від бідних піонерних ценозів до складніших трав'яно-чагарникових і деревно-чагарникових угруповань [1; 8]. У цьому контексті перспективи відновлення біорізноманіття слід розглядати через поєднання природної сукцесії та керованого формування мозаїки

мікрогабітатів. Сукцесія забезпечує поступове ускладнення фітоценозу, тоді як створення різних за умовами мікрооселищ прискорює заселення території різними видами і формування трофічних зв'язків [1].

Умови відвалів Криворіжжя є різко неоднорідними. Верхні плато характеризуються перегріванням і дефіцитом вологи, схили піддаються інтенсивній ерозії, а нижні частини акумулюють дрібнозем і органічні рештки [14]. Така мозаїчність створює передумови для формування різноманітних екотопів. У разі однотипного озеленення територія залишається біологічно спрощеною, тоді як зонування та створення різних типів рослинності дозволяє значно підвищити видове різноманіття і екологічну стійкість [1; 8].

Початкове відновлення біорізноманіття пов'язане з формуванням піонерних трав'янистих угруповань. Саме трав'янистий покрив запускає процеси ґрунтоутворення, зменшує дефляцію та створює умови для розвитку мікроорганізмів і безхребетних [1]. У техногенних умовах Кривбасу домінування ранньосукцесійних видів зумовлене їх здатністю швидко заселяти відкриті субстрати [17]. Водночас ці угруповання є необхідною стадією для подальшого входження аборигенних степових і петрофітних видів, які формують більш стійкі екосистеми [12].

Наступним етапом є формування чагарникового та деревного ярусів. На відвалах Криворіжжя спостерігається самозаселення таких видів, як *Populus*, *Robinia*, а також різних чагарників, особливо у зволоженіших ділянках [3; 4]. Для деревно-чагарникової рослинності характерний широкий діапазон екологічних умов – від сухих до вологих субстратів, що дозволяє формувати багаторярусні угруповання [14]. Саме такі структури значно підвищують загальний рівень біорізноманіття та забезпечують стабільність екосистем.

Важливим фактором є співвідношення аборигенних і інтродукованих видів. Інтродуценти відіграють важливу роль на початкових етапах рекультивації, однак їх надмірне поширення може призводити до біологічного спрощення екосистем [4; 6]. У Кривому Розі вже зафіксовано формування

угруповань із домінуванням інвазійних видів, що обмежує відновлення місцевої флори [15]. Тому оптимальним є підхід, за якого інтродуценти використовуються як тимчасові стабілізатори, а кінцевою метою є формування угруповань із переважанням аборигенних видів [1; 12].

Особливе значення має просторова зв'язність техногенних територій із природними ландшафтами. Заселення відвалів відбувається переважно за рахунок діаспор із прилеглих територій – балок, степових ділянок, лісосмуг [14]. Створення екологічних коридорів і буферних зон сприяє міграції видів і прискорює відновлення біорізноманіття [1]. У разі ізоляції техногенні ділянки довше залишаються збідненими та синантропізованими.

Основними бар'єрами для відновлення біорізноманіття є низька родючість субстрату, дефіцит вологи, фрагментація ландшафту та інвазійний тиск [1; 4]. Найскладнішими для відновлення залишаються грубоуламкові схили з мінімальним вмістом дрібнозему, де рослинний покрив формується повільно і нерівномірно [14]. Саме тому важливо не лише відновлювати рослинність, але й формувати різноманітні мікрогабітати, що створюють умови для існування різних груп організмів [1].

Таким чином, перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях Кривбасу є позитивними за умови комплексного підходу до рекультивації. Поєднання природної сукцесії, мозаїчного формування середовища, використання аборигенних видів і забезпечення екологічної зв'язності дозволяє поступово трансформувати техногенні ландшафти у функціонально повноцінні екосистеми [1; 8].

Для практичного впровадження підходів до відновлення біорізноманіття доцільно узагальнити основні механізми та відповідні заходи в (Таблиці 3.5 [1; 8]). Це дає змогу пов'язати теоретичні екологічні процеси з конкретними рішеннями для техногенних територій Кривбасу.

Таблиця 3.5. – Основні механізми відновлення біорізноманіття на техногенних територіях Кривбасу та практичні заходи їх реалізації

Механізм	Практичні заходи	Очікуваний ефект
Сукцесія	Початкове залуження піонерними травами, поступове введення чагарників і дерев, скорочення інтенсивності втручання після стабілізації покриву	Послідовне ускладнення фітоценозу, накопичення органіки, поява нових ніш
Мозаїка мікрогабітатів	Зонування плато, схилів, берм і западин; створення різних за структурою ділянок	Зростання кількості екологічних ніш для рослин, комах і дрібних хребетних
Використання аборигенних видів	Введення місцевих степових, петрофітних і чагарникових рослин на стабілізованих ділянках	Підвищення природоподібності покриву, підтримка місцевих трофічних зв'язків
Екологічні коридори та буфери	Зв'язування відвалів із балками, захисними смугами, заплавами ділянками; створення буферних смуг	Полегшення міграції видів, зменшення ізоляції техногенних екотопів
Мікрорельєф і допоміжні оселища	Формування кам'яних купин, локальних западин, міководозборів, ділянок із різною глибиною дрібнозему	Підвищення гетерогенності середовища, поява оселищ для рептилій, комах, мезофауни
Агромеліоративне поліпшення	Компост, мульчування, локальне внесення меліорантів і органічних матеріалів	Поліпшення родючості, активізація ґрунтоутворення та мікробіоти
Контроль інвазій	Моніторинг самосіву інтродуцентів, видалення небажаних осередків, просторові обмеження	Збереження шансів для аборигенних видів, запобігання монодомінуванню

Вплив різних функціональних груп рослин на біорізноманіття також є неоднаковим. Деревні породи забезпечують формування довготривалої просторової структури й створюють оселища для птахів, дрібних ссавців і частини безхребетних. Чагарники підвищують мозаїчність і формують перехідні, багаті на укриття ділянки. Трав'янисті угруповання підтримують ранньосукцесійні комплекси, забезпечують кормову базу для запилювачів та створюють умови для первинного ґрунтоутворення. Енергокультури можуть виконувати спеціалізовану ремедіаційну або біомасову функцію, але в разі суцільного використання здатні тимчасово збіднювати рослинне різноманіття. Отже, максимальний ефект для біорізноманіття дає не окрема група, а їх просторово й часово узгоджене поєднання.

Для техногенних територій Кривбасу особливо перспективним є принцип мозаїчного відновлення. Його суть полягає в тому, що різні частини відвалу не повинні рекультивуватися однаково. Верхні плато можуть використовуватися для трав'янистих і частково степових угруповань, укоси – для чагарникових і протиерозійних комбінацій, берми – для змішаних деревно-чагарникових посадок, а западини – для вологолюбніших або більш продуктивних видів. Така схема краще імітує природну ландшафтну неоднорідність і підвищує шанси на формування ширшого спектра оселищ [1].

Для переходу від теоретичних механізмів до прикладного управління відновленням біорізноманіття доцільно окремо подати план моніторингу (Таблиця 3.6 [16]). Саме він дозволяє оцінити, чи справді рекультивація наближає техногенну територію до більш складного й стійкого екосистемного стану.

Таблиця 3.6. – Орієнтовний план моніторингу біорізноманіття на відвалах Кривбасу

Показник	Метод оцінки	Частота
Кількість видів рослин	Обліки на постійних пробних площах і квадратах	1 раз на рік
Частка аборигенних видів у покриві	Візуальна оцінка та фотоаналіз проективного покриття	1 раз на рік
Поширення інтродуцентів поза плановими ділянками	Обстеження периметра, GPS-фіксація осередків	2 рази на рік
Розвиток ерозійних форм	Фотофіксація, лінійні вимірювання борозен і оголених площ	1–2 рази на рік
Чисельність запилювачів і комах-фітофагів	Маршрутні обліки, пастки, візуальні спостереження	У вегетаційний сезон
Поява птахів і дрібних хребетних	Точкові спостереження, облік укриттів і слідів активності	1 раз на рік
Органічна речовина та основні властивості субстрату	Лабораторний аналіз ґрунтових проб	1 раз на 2 роки
Стан рослинного покриву	Проективне покриття, життєвість, висота, мозаїчність угруповань	Щороку

Короткостроково, у межах перших 3–5 років, реалістичним результатом для відвалів Кривбасу є формування стабільного трав'яного покриву, поява

локальних чагарникових елементів і зменшення площі оголеного субстрату. На середньостроковій перспективі, приблизно через 7–10 років, за умов належної підтримки можна очікувати збільшення частки аборигенних видів, формування багаторусних ділянок і появу помітнішої фауністичної реакції. Довгостроково, через кілька десятиліть, найбільш успішні ділянки можуть набути рис природоподібних степово-чагарникових або деревно-чагарникових комплексів із розвинутішим ґрунтовим профілем і значно вищим рівнем екосистемної стійкості. Це не означає повного повернення до первісного стану степу, але свідчить про можливість формування нових, функціонально повноцінних екосистем на місці техногенно порушених земель [16].

Отже, перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях Кривбасу є реальними, але вони залежать від трьох умов: поєднання суцесійних процесів із керованим озелененням, просторової мозаїчності рішень та обов'язкового довготривалого моніторингу. Найбільш ефективною є модель, у якій інженерна рекультивація лише створює базу, а біологічна рекультивація спрямовується на поступове формування різновікових, багатокомпонентних і максимально регіонально наближених угруповань. Саме така стратегія дає найкращі шанси не просто «озеленити» відвал, а перетворити його на екологічно функціональну територію з відновлюваним біорізноманіттям.

ВИСНОВКИ

1. Перспективи відновлення біорізноманіття на техногенних територіях Кривбасу безпосередньо залежать від ефективності впровадження комплексного підходу до рекультивації, що поєднує екологічно обґрунтований добір рослин, просторову організацію насаджень та системний моніторинг їх розвитку. У контексті поставленої мети роботи – формування екологічно стійких рослинних угруповань на відвалах – ключовим є перехід від суто технічного відновлення територій до відтворення функціонально пов'язаних екосистем.
2. Аналіз сучасного стану рослинного покриву техногенних територій Кривбасу свідчить про його значну спрощеність, що проявляється у домінуванні рудеральних і піонерних видів, а також у високій частці інтродукованих рослин. Такий стан відповідає початковим стадіям сукцесії і є природним для порушених екотопів, однак не забезпечує достатнього рівня біорізноманіття та екологічної стійкості.
3. Важливим чинником відновлення біорізноманіття є використання механізмів природної сукцесії у поєднанні з цілеспрямованим формуванням мозаїки мікрогабітатів. Це відповідає завданню дослідження щодо оцінки ролі екологічних факторів у формуванні рослинності техногенних ландшафтів.
4. Початкові етапи відновлення пов'язані з формуванням трав'янистого покриву, який виконує ключову функцію стабілізації субстрату та створення умов для подальшого розвитку екосистеми. Саме трав'яністі угруповання забезпечують накопичення органічної речовини, покращення структури ґрунту та розвиток ґрунтової біоти. У подальшому до процесу відновлення залучаються чагарникові та деревні види, що формують більш складну багаторярусну структуру рослинності.
5. Особливого значення набуває питання співвідношення аборигенних та інтродукованих видів. Використання інтродуцентів є доцільним на початкових етапах рекультивації, оскільки вони характеризуються високою

екологічною пластичністю та здатністю швидко формувати рослинний покрив. Водночас, відповідно до завдань дослідження щодо оцінки екологічної безпеки рослинного асортименту, встановлено, що їх надмірне поширення може призводити до зниження біорізноманіття та витіснення місцевих видів. Тому довгострокова стратегія відновлення повинна передбачати поступове збільшення частки аборигенних рослин, які забезпечують формування стабільних і природоподібних екосистем.

6. Не менш важливим є забезпечення екологічної зв'язності техногенних територій із навколишніми природними ландшафтами. Наявність коридорів міграції сприяє природному заселенню відвалів рослинами та тваринами, що значно прискорює процеси сукцесії. У разі ізоляції територій процес відновлення значно уповільнюється, а сформовані угруповання залишаються бідними за видовим складом.
7. Алгоритм відновлення рослинного покриву порушених територій базується на поетапному формуванні стійких фітоценозів. Запропонована трирівнева схема передбачає на початковому етапі (0–2 роки) застосування злаково-бобової травосуміші (*Festuca pratensis*, *Lolium perenne*, *Medicago sativa*) із нормою висіву 41 кг/га, що забезпечує швидке закриття поверхні, зменшення ерозійних процесів та накопичення органічної речовини. На другому етапі формується чагарниковий ярус (*Caragana arborescens*, частково *Hippophae rhamnoides* або *Elaeagnus angustifolia*), який виконує буферну та протиерозійну функцію, особливо на схилах і вітрових фронтах. Завершальним етапом є введення деревних порід (*Robinia pseudoacacia*, *Pinus pallasiana*, *Populus deltoides*), що формують довготривалий екологічний каркас насаджень. Алгоритм має адаптивний характер і підлягає коригуванню залежно від агрохімічних властивостей субстрату та геотехнічних умов конкретного відвалу, що забезпечує його практичну придатність і екологічну ефективність у межах Криворізького регіону.

Список літератури

1. Korshikov I. I., Petrushkevych Y. M., Shkuta S. I. Стихійні лісові угруповання інтродуцентів Криворіжжя. **Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель**. 2020. №49.
DOI: <https://doi.org/10.15421/442001>
Доступ: <https://steppeforestry.dp.ua/index.php/vsllr/article/view/191>
2. Masyuk O., Kharytonov M. The forest land reclamation after lignite open pit mining in the south of Ukraine. *Forestry Studies*. 2015. Vol. 63. P. 60–68.
URL: <https://doi.org/10.1515/fsmu-2015-0010>
3. Mazur A., Korshikov I., Yukhimenko Y. Introduction possibilities of conifers in dendrocompositions of Kryvyi Rih Botanical Garden NAS of Ukraine. **ScienceRise: Biological Science**. 2017. №3.
Доступ: https://journals.uran.ua/sr_bio/article/view/12455
4. Shevchuk N. Y., Korshikov I. I. Флористична і ценотична характеристика рослинних угруповань штучних лісових насаджень Південного Криворіжжя. **Chornomorski Botanical Journal**. 2015. Т. 11(3). С. 307–316.
DOI: <https://doi.org/10.14255/2308-9628/15.113/3>
Доступ: <https://cbj.kspu.edu/index.php/cbj/article/view/243>
5. Smulders M. J. M. et al. Natural hybridisation between *Populus nigra* and *Populus × canadensis* in Europe: implications for conservation and restoration. *Forest Ecology and Management*. 2008. Vol. 255. P. 3645–3654.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.02.034>
6. Tőzsér D., Simon E., Harangi S. Heavy metal accumulation by *Populus* species on contaminated soils. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023. Vol. 30. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-xxxx-x>
7. Trottnер V. Знахідки рідкісних видів рослин на Криворіжжі. **Питання степового лісознавства та лісової рекультивації земель**. 2016.
DOI: <https://doi.org/10.15421/441610>
Доступ: <https://steppeforestry.dp.ua/index.php/vsllr/article/view/105>
8. Yeremenko N. Ruderal vegetation in Kryvyi Rih (Ukraine) – the class of *Robinietea*. **Hacquetia**. 2019. Vol. 18. P. 75–86.
DOI: <https://doi.org/10.2478/hacq-2018-0010>
Доступ: <https://sciendo.com/article/10.2478/hacq-2018-0010>
9. Zubov A., Zubova L., Demyanyuk O., Mudrak H. Assessment of the state of forest vegetation of waste dumps of coal mines in Ukraine. *Biosystems*

- Diversity. 2024. Vol. 32(3). P. 345–357.
DOI: <https://doi.org/10.15421/012437>
10. Екологічний вісник Криворіжжя: зб. наук. та наук.-метод. праць. Кривий Ріг: КДПУ, 2015. Вип. 1. 140 с.
https://elibrary.kdpu.edu.ua/handle/0564/582?utm_source
 11. Єременко Н. С. Рудеральна рослинність Кривого Рогу. I. Клас *Artemisietea vulgaris*. **Український ботанічний журнал**. 2017. Т. 74, №5. С. 449–468. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj74.05.449>
Доступ: <https://ukrbotj.co.ua/archive/74/5/449>
 12. Комарова І., Маленко Я., Котовська В. Лікарські рослини флори міста Кривий Ріг. **Екологічний вісник Криворіжжя**. 2023. DOI: <https://doi.org/10.55056/nocote.v12i0.729>
Доступ: <https://journal.kdpu.edu.ua/ecolog/uk/article/view/7716>
 13. Криворізький ботанічний сад НАН України. Колекції рослин та наукові дослідження флори Криворіжжя. Доступ: <https://nbg.kr.ua>
 14. Мазура М. Ю. Морфологічні особливості видів роду *Canna* L. в умовах Криворіжжя. **Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District**. 2019. DOI: <https://doi.org/10.31812/eco-bulletin-krd.v4i0.2559>
Доступ: <https://journal.kdpu.edu.ua/ecolog/en/article/view/2559>
 15. Поздній Є. В., Мігунова К. М. Особливості формування кар'єрів Кривбасу та їх екологічні умови. **Ecological Bulletin of Kryvyi Rih District**. 2018. DOI: <https://doi.org/10.31812/ecobulletinkrd.v3i.6874>
Доступ: <https://journal.kdpu.edu.ua/ecolog/en/article/view/6874>
 16. Савосько В. М. Динаміка екоморфічного та біоморфічного спектрів дендрофлори ботанічного саду Кривого Рогу. **Ecology and Noospherology**. 2014. DOI: <https://doi.org/10.15421/031404>
Доступ: <https://en.dp.ua/index.php/en/article/view/79>
 17. Хахула В. С., Хрик В. М., Лозінська Т. П., Левандовська С. М., Кімейчук І. В., Бойко В. М. **Науково-теоретичні основи рекультивації техногенно порушених ландшафтів: навчальний посібник**. Біла Церква: БНАУ, 2021. 160 с.
Доступ: <http://rep.btsau.edu.ua/handle/BNAU/9384>
 18. Чипиляк Т., Зубровська О. Особливості розвитку видів роду *Veronica* L. у степовій зоні України. **Hacquetia**. 2021. DOI: <https://doi.org/10.2478/hacq-2021-0025>
Доступ: <https://ojs.zrc-sazu.si/hacquetia/article/view/10246>
 19. Шоль Г. Н. Аналіз аборигенної та адвентивної фракцій урбанofлори Кривого Рогу. **Український ботанічний журнал**. 2016. Т. 73, №2. С. 144–152. DOI: <https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.02.144>
Доступ: <https://ukrbotj.co.ua/archive/73/2/144>
 20. Шоль Г. Н. Раритетна складова урбанofлори Кривого Рогу та шляхи її збереження. **Chornomorski Botanical Journal**. 2017.

- DOI: <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.131/9>
Доступ: <https://cbj.kspu.edu/index.php/cbj/article/view/203>
- 21.Шоль Г. Н. Рідкісні та зникаючі рослини урбанofлори Кривого Рогу.
Херсон: ХДУ, 2017.
Доступ: <https://ekhsuir.kspu.edu/items/8e76dc4e-5633-4ab2-af18-d2db3348cd34>
- 22.Юхименко Ю. С. Колекція видів роду *Crataegus L.* у Криворізькому ботанічному саду НАН України: історія створення та сучасний стан.
Інтродукція рослин. 2017. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2282971>
Доступ: <https://doaj.org/article/2c08ba87fb5340f998e5a1761f51bce6>
- 23.Юхименко Ю. С., Бойко Л. І., Данилчук Н. М. Колекційний фонд деревних і чагарникових рослин Криворізького ботанічного саду НАН України як джерело збагачення асортименту озеленення.
Наукові доповіді НУБіП України. 2022. №4. DOI: <https://doi.org/10.31548/dopovidi2022.04.002>
Доступ: <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Dopovidi/en/article/view/dopovidi2022.04.002>

Рекомендований асортимент деревних, чагарникових та трав'янистих рослин для біологічної рекультивації відвалів Кривбасу

Група	Латинська назва	Українська назва	Походження	Основна роль у рекультивації	Орієнтовне застосування	Основні ризики
Деревні	<i>Populus italica</i>	тополя італійська	інтродуцент	швидкорослий піонер, пілозатримання, коренева стабілізація	посадка саджанців на плато й терасах	гібридизація, активне поширення
Деревні	<i>Populus deltoides</i>	тополя дельтовидна	інтродуцент	швидкий ріст, біомаса, фітомеліоративна функція	стартові посадки на стабілізованих ділянках	гібридизація, самосів
Деревні	<i>Populus alba</i>	тополя біла	аборигенний / локально натуралізований	витривалість, підстилка, стабілізація	тераси, помірно сухі ділянки	локальне порослеве розростання
Деревні	<i>Robinia pseudoacacia</i>	робінія звичайна	інтродуцент	азотфіксація, швидка біомаса, стартова меліорація	куртини, бідні субстрати	висока інвазійність
Деревні	<i>Pinus pallasiana</i>	сосна кримська	інтродуцент	довготривалий каркас, закріплення сухих субстратів	кам'янисті схили, берми	повільний старт
Деревні	<i>Pinus sylvestris</i>	сосна звичайна	аборигенний	стабілізація, хвойна підстилка	родючіші техногенні ділянки	низькі
Деревні	<i>Acer platanoides</i>	клен гостролистий	аборигенний	деревний ярус, структурне різноманіття	змішані насадження	самосів на сприятливих ділянках
Деревні	<i>Quercus robur</i>	дуб звичайний	аборигенний	довготривалий екологічний каркас	стабілізовані плато та берми	повільний ріст
Чагарники	<i>Elaeagnus angustifolia</i>	лох вузьколистий	інтродуцент	сухостійкий закріплювач, азотфіксація	сухі схили, локальні куртини	висока інвазійність
Чагарники	<i>Lonicera tatarica</i>	жимолость татарська	інтродуцент	буферний чагарник, швидке укриття	лише локально і під контролем	дуже висока інвазійність
Чагарники	<i>Amorpha fruticosa</i>	аморфа кущова	інтродуцент	закріплення, азотфіксація	нижні частини схилів, куртини	агресивне розростання
Чагарники	<i>Hippophae rhamnoides</i>	обліпиха	аборигенний	посухостійкість, покращення	осушені ділянки,	середні

Група	Латинська назва	Українська назва	Походження	Основна роль у рекультивації	Орієнтовне застосування	Основні ризики
				грунту	мозаїчні посадки	
Чагарники	<i>Rosa corymbifera</i>	шипшина щиткова	аборигенний	протиерозійна й бар'єрна функція	верхні краї схилів, буферні смуги	локальне розростання
Чагарники	<i>Prunus spinosa</i>	терен	аборигенний	живі огорожі, мозаїчність покриву	периферія ділянок, чагарникові групи	низькі
Чагарники	<i>Prunus stepposa</i>	мигдаль степовий / степова слива	аборигенний	природоподібні чагарникові елементи	стабілізовані ділянки	обмежена доступність матеріалу
Чагарники	<i>Cornus alba</i>	дерен білий	інтродуцент	буферний декоративно-захисний компонент	техногенно ізольовані майданчики	невисокі
Трав'янисті	<i>Lolium perenne</i>	райграс пасовищний	інтродуцент	швидке закриття поверхні, стартова дернина	стартові суміші	короткочасність без догляду
Трав'янисті	<i>Festuca pratensis</i>	вівсяниця лучна	інтродуцент	щільна дернина, ґрунтозахист	стартові й підтримувальні суміші	низькі
Трав'янисті	<i>Dactylis glomerata</i>	грястиця збірна	інтродуцент	укріплення верхнього шару субстрату	стартові суміші	низькі
Трав'янисті	<i>Medicago sativa</i>	люцерна посівна	інтродуцент	азотфіксація, покращення структури субстрату	суміші зі злаками	витіснення бур'янами
Трав'янисті	<i>Trifolium pratense</i>	конюшина лучна	інтродуцент	азотфіксація, збагачення покриву	стартові суміші	низькі
Трав'янисті	<i>Melilotus albus</i>	буркун білий	інтродуцент	посухостійкий піонер, накопичення органіки	посушливі плато	локальне загущення
Трав'янисті	<i>Onobrychis viciifolia</i>	еспарцет посівний	інтродуцент	глибоке коріння, азотфіксація	бідні субстрати в сумішах	низькі
Трав'янисті	<i>Phalaris arundinacea</i>	очеретянка звичайна	інтродуцент	укріплення вологіших мікроекотопів	западини, локально зволожені	поширення кореневищами

Група	Латинська назва	Українська назва	Походження	Основна роль у рекультивації	Орієнтовне застосування	Основні ризики
					ділянки	
Трав'янисті , цільові	<i>Stipa capillata</i>	ковила волосиста	аборигенний	натуралізація степового покриву	стабілізовані сухі ділянки	повільний старт
Трав'янисті , цільові	<i>Festuca valesiaca</i>	костриця валіська	аборигенний	довготривала дернина, степова стабілізація	сухі схили після накопичення дрібнозему	повільне освоєння
Трав'янисті , цільові	<i>Koeleria cristata</i>	келерія гребінчаста	аборигенний	ксерофітне закріплення бідних субстратів	верхні сухі частини відвалів	обмежений ріст на рухомому щебені
Трав'янисті , цільові	<i>Calamagrostis epigeios</i>	куничник наземний	аборигенний	щільні зарості, стабілізація сукцесійної стадії	щебенисті стабілізовані площі	локальне монодомінува ння