

О.К. Левицька, аспір.
В.Г. Левицький, к.т.н., доц.

Житомирський державний технологічний університет

ФОРМАЛІЗАЦІЯ ОПИСУ ДОСЛІДНИХ ДІЛЯНОК РЕКУЛЬТИВОВАНИХ ВІДВАЛІВ КОРОСТИШІВСЬКОГО БУРОВУГІЛЬНОГО РОЗРІЗУ

У роботі проведено формалізацію атрибутного складу дослідних ділянок Коростишівського буровугільного родовища. Визначено кількісні характеристики таких атрибутів дослідних ділянок, які впливають на прийняття рішення щодо звуження кола експериментальних ділянок для наступних етапів дослідження. Запропоновано підхід до обґрунтування ходу виконання експериментальних робіт щодо дослідження біологічної активності рекультивованих відвалів — на основі кількісних оцінок елементів і зв'язків формалізованого опису стану екосистеми.

Постановка проблеми. Розробка родовищ корисних копалин відкритим способом наносить велику шкоду довкіллю. Згідно з існуючим законодавством порушені землі підлягають рекультивації, мета якої — відновлення екологічної стійкості та продуктивності зруйнованої екосистеми. В умовах Українського Полісся найбільш економічно вигідною є лісова рекультивація, що підтверджує актуальність поглиблених досліджень такого виду відновлення екосистеми, які проводять в даний час співробітники ЖДТУ.

З огляду на роль формалізації як суттєвого та невід'ємного етапу моделювання, дослідження стану лісових фітоценозів на рекультивованих відвалах Коростишівського буровугільного родовища, не можуть бути кількісно обґрунтовані без формалізації атрибутного складу відповідних дослідних ділянок.

Формалізовані сутності виявляються на основі аналізу первинних таксаційних описів експериментальних ділянок та створюють необхідне підґрунтя для розробки подальших методів побудови та верифікації математичних моделей, задіяних на різних етапах дослідної роботи. Дана робота присвячена одному з можливих підходів до формалізації опису дослідних ділянок рекультивованих відвалів Коростишівського буровугільного розрізу — з точки зору необхідності їх подальшого оцінювання в ході використання методики кількісно обґрунтованого планування експериментальних робіт.

Мета і задачі роботи. Метою роботи є розв'язання задачі формалізації опису дослідних ділянок рекультивованих відвалів Коростишівського буровугільного розрізу для подальшого використання отриманих результатів у ході розробки методики кількісно обґрунтованого планування експериментальних робіт.

Наукова новизна роботи. Створено формальний опис дослідних ділянок рекультивованих відвалів Коростишівського буровугільного розрізу. Визначені кількісні характеристики таких атрибутів дослідних ділянок, які впливають на прийняття рішення щодо звуження кола експериментальних ділянок для наступних етапів дослідження. Запропоновано підхід до обґрунтування ходу виконання експериментальних робіт щодо дослідження біологічної активності рекультивованих відвалів — на основі кількісних оцінок елементів і зв'язків формалізованого опису стану екосистеми.

Аналіз досліджень і публікацій. У результаті відкритого способу добування бурого вугілля на території Коростишівського буровугільного родовища порушено близько 400 га родючих земель. В 1960–70-х роках після закінчення гірничо-видобувних робіт для лісової рекультивації було відведено близько 300 га порушених земель. Відвали Коростишівського буровугілерозрізу представлені сумішшю червоно-бурих морених суглинків, підморених супісєй з домішкою полтавських пісків і строкатих глин неогену [1].

На цій площі у 1965 р. співробітниками УкрНДЛГА були закладені дослідні ділянки з вивчення особливостей розвитку деревних порід на відвалах. Всього було використано 12 лісових порід, які висаджувалися у різних сумішах. На деяких ділянках досліджувався вплив таких меліорантів, як люпин багаторічний, вільха чорна, акації біла та жовта.

У 1973–1974 рр. були проведені дослідження щодо оцінки стану та розвитку лісових насаджень. Серед деревних порід, які висаджувалися безпосередньо на відвалах, лише 6 видів з 12 проявили добру приживлюваність (сосна звичайна, сосна Банкса, береза повисла, вільха чорна, акація біла, акація жовта).

Такі попередні дані дозволили виділити найбільш витривалі до складних умов середовища породи [2]. Але дослідження молодої екосистеми не відображає інтенсивність рекультивації, тому в 2000 році співробітники ЖДТУ продовжили дослідження стану лісових фітоценозів на рекультивованих відвалах Коростишівського буровугільного родовища.

Після проведення рекультивації постає питання оцінки якості новоутвореної екосистеми. Як параметр оцінки може виступати біологічна активність ґрунтів. Після проведення біологічного етапу рекультивації на Коростишівському родовищі було створено більше 100 виділів. Але з огляду на

трудомісткість дослідження біологічної активності всіх рекультивованих площ постає питання зменшення кола дослідних ділянок. Тому необхідним є використання методики, яка дозволить формалізовано обгрунтувати звуження кола ділянок для подальшого детального їх дослідження.

Дана робота присвячена розробці саме такої методики попереднього відбору дослідних ділянок. При цьому головними критеріями відбору буде наступний перелік, що сформований задачами дослідження:

1. З огляду на специфіку дослідження ефективності лісової рекультивації Коростишівського буровугільного розрізу особливий інтерес мають виділи з деякими конкретними комбінаціями лісових порід і застосованих меліоративних заходів [3].

2. Розкриті породи в даному регіоні мають певний потенціал родючості для маловимогливих рослин, таких як сосна, береза, акація та ін [1, 4]. В конкретних регіональних умовах центрального (києво-житомирського) Полісся для обліснення порушених земель особливий інтерес мають виділи, на яких в різних пропорціях представлена сосна звичайна [5].

3. Загальноприйняті завдання біологічного етапу рекультивації формують власні вимоги щодо відбору дослідних ділянок в рамках даного дослідження. Одними з важливих критеріїв, які впливають на відбір дослідних ділянок, є оцінки ефективності лісової рекультивації в розуміння задоволення таких кінцевих задач (різної ваги), як:

- створення стійкої повноцінної екосистеми;
- формування комерційної цінності лісових насаджень;
- виконання лісовими насадженнями протиерозійної функції;
- надання лісовим насадженням естетичної вартості для можливого використання їх у рекреаційних цілях.

Формування підходу до прорідження множини експериментальних ділянок. Методично вірним підходом до попереднього відбору експериментальних ділянок для подальшого проведення дослідження активності ферментів рекультивованих ґрунтів автори даної роботи вважають шлях застосування методології системного аналізу [6]. Такий підхід передбачає проходження ряду загальноприйнятих для технології застосування системного аналізу до вирішення складних задач основних етапів процедури прийняття рішення щодо прорідження множини експериментальних ділянок. Це, в свою чергу, створює основу для логічного та послідовного наближення до вирішення проблеми прийняття рішення. Ефективність вирішення поставленої проблеми в цьому випадку залежить від структури розв'язуваних задач, що вимагає від нас насамперед сформулювати загальні характеристики поставленої проблеми.

Згідно з прийнятою в системному аналізі класифікацією в ході попереднього відбору ділянок для проведення дослідження активності ферментів рекультивованих ґрунтів Коростишівського буровугільного розрізу ми стикаємося з двома класами проблем: добре структурованими та слабо структурованими. Перший клас проблем є кількісно сформульованою задачею оцінювання кожної експериментальної ділянки з точки зору таксаційних характеристик лісових насаджень і відомих з літературних джерел математичних моделей (або, щонайменш, підходів до математичного моделювання) лісових екосистем. Другий клас проблем торкається зв'язків між кількісними оцінками експериментальних ділянок і загальними цілями методично обгрунтованого дослідження якості лісової рекультивації на Коростишівському буровугільному розрізі. Це завдання є більш складним для вирішення, оскільки вміщує не тільки якісно виражені питання, але й маловідомі на момент початку дослідження аспекти — причому останні мають тенденцію до домінування.

Отже застосування методології системного аналізу до визначених проблем дослідження передбачає такі основні етапи, як:

- формулювання проблемної ситуації та визначення цілей;
- визначення критеріїв досягнення цілей та побудову моделей обгрунтування розв'язку задачі;
- пошук оптимального варіанта розв'язку.

При цьому другий етап вимагає:

✓ проведення формалізації проблеми, яка зазвичай описується з самого початку в термінах предметної області, за допомогою природних мов (на відміну від штучних, математично обгрунтованих) та термінологічної бази відносно вузького спрямування;

✓ побудови адекватної математичної моделі, яка власне і визначає допустиму множину формальних методів, яка буде застосовуватися для пошуку оптимального розв'язку проблеми.

На останок зазначимо, що дана робота не вкладається повністю в рамки такого планування експерименту, коли дослідник повністю володіє ситуацією, тобто здатен оперативно організувати необхідні впливи та здійснити виміри, які гарантують статистичну ефективність експерименту. Натомість складність процедури прийняття рішення, яка обговорюється в даній роботі, є наслідком відсутності можливостей повного контролю за експериментом, який був закладений понад три десятиріччя тому. Така специфічність початкового матеріалу дослідження формує багатоетапну формалізовану процедуру розв'язку поставленої задачі, яка докладно викладається в наступних розділах даної роботи.

Первинний опис досліджуваних лісових екосистем. Вихідними даними для визначення кількісних характеристик атрибутів дослідних ділянок Коростишівського буровугільного розрізу є таксаційний опис земельних ділянок лісового фонду Коростишівського лісництва. Після аналізу наданих таксаційних описів був проведений попередній відсів дослідних ділянок у випадках очевидної невідповідності їх цілям роботи (зокрема нелісогосподарських ділянок та виділів, для яких не виконуються вимоги спадкоємності умов проведення експерименту). Решта дослідних виділів вважаються претендентами на подальший аналіз ефективності біологічного етапу рекультивації та формують базу для визначення кількісних оцінок атрибутного складу експериментальних ділянок. Таким чином, серед доступних ділянок для подальшої роботи було обрано виділи різного вікового складу та ділянки із розподіленням співвідношень основної породи (сосни звичайної) з іншими деревними породами від 0 % до 100 %.

Формалізація опису досліджуваних лісових екосистем. Під формалізованим описом екосистеми розуміємо перехід від конкретних властивостей об'єкта до абстрактних понять та змінних [7–9]. При цьому особливий інтерес має побудова формалізованого опису стану екосистеми (природної ситуації, що виникла внаслідок дії біологічних, хімічних та фізичних факторів); екологічних процесів (зміни стану екосистеми в часі) і функціональних відношень між складовими екосистеми.

Для цілей даної роботи далі будемо вважати, що екологічна система є множиною M об'єктів $E = \{E_1, E_2, \dots, E_n\}$, що взаємопов'язані між собою відношеннями R . Такий підхід є загальним при формалізованому описі систем взагалі та повністю відповідає визначенню екологічної системи як сукупності живих організмів з їх природним оточенням, що взаємопов'язані між собою кругообігом речовин, потоком енергії, умовами існування тощо [10]. Використаний запис $M = \{E, R\}$ не має на меті точно сформулювати конкретні властивості системи і є абстрактним формалізованим записом екосистеми.

Введення математичного опису відношень R між елементами системи має особливе значення у формалізації опису системи, оскільки така дія визначає ступінь деталізації опису системи та формує конкретну математичну структуру [11, 12], яка в подальшому обмежує можливий вид математичних моделей даної екосистеми та допустимі способи формального аналізу системи.

Переходячи до формалізації описів розглянутих в роботі лісових екосистем, використаємо далі поняття лісотипологічної сітки Алексеєва-Погребняка [13], яка набула в Україні широкого розповсюдження та активно застосовується протягом останніх десятиліть. Лісотипологічна сітка Алексеєва-Погребняка описує лісову екосистему гігrogenною характеристикою (зволоженням) та трофогенною характеристикою (агрофізичними та агрохімічними характеристиками ґрунту).

Розглянуті в даній роботі лісові екосистеми, утворені на рекультивованих виділах Коростишівського буровугільного розрізу, характеризуються наявністю основної деревної породи та ряду допоміжних порід, деякі з яких — природного походження. Особливий інтерес в рамках даної роботи являють такі характеристики кожної лісової екосистеми, які дозволили б формально виділити підмножину розглядуваних систем для подальшого більш детального дослідження із застосуванням методик аналізу ферментативного складу ґрунтів. Це передбачає необхідність детального опису певних аспектів системи (визначених метою лісової рекультивації з одного боку та порівняно вузькими цілями конкретного дослідження з іншого) — при умові абстрагування від неважливих на даному етапі роботи деталей.

Тому, маючи на меті створення адаптованого до цілей дослідження опису лісових екосистем, ми приходимо до необхідності створення такої модифікації лісотипологічної сітки Алексеєва-Погребняка, яка вводить специфікацію видової різноманітності основних і допоміжних деревних порід екосистеми та додаткову множину інтегральних характеристик складових екосистеми (біологічну продуктивність, специфічні зв'язки між компонентами — наприклад, належність до алелопатичних груп тощо). Такий підхід є, зокрема, подібним до класифікації, запропонованої Д.В. Воробйовим [14], яка дозволяє детальніше описати перехідні зони лісових екосистем, та до роботи [15, 16].

Отже опис розглядуваної лісової екосистеми F можна подати як множину підмножин характеристик і записати у вигляді:

$$F_{i,j} = (Tp, S, R). \quad (1)$$

Тут множина Tp обумовлює місце екосистеми в лісотипологічній сітці Алексеєва-Погребняка, $Tp = G \times T$, де G – підмножина гігротопів ($GT = \{GT_l | l=1, 5\}$, види гігротопів: сухий, свіжий, вологий, сирий, мокрий); T – підмножина трофотопів ($TT = \{TT_l | l=1, 4\}$, різновиди трофотопів: бір, суббір, сугрудок, груд).

S – множина видової різноманітності лісової екосистеми; R – множина інтегральних характеристик екосистеми, до яких віднесемо біологічну продуктивність компонент системи, зв'язки між окремими компартментами екосистеми та деякі інші атрибути екосистеми, що будуть розглянуті далі.

Індекси i та j унікально ідентифікують екосистему в рамках виділів Коростишівського буровугільного розрізу (i – номер кварталу $i=1, I, j$ – номер виділу, $j=1, J$).

При переході до формалізації описів видових характеристик лісової екосистеми зазначимо, що множину рослинності системи $F_{i,j}$ доцільно умовно поділити по ярусах L :

$$L = \{T, U, Grb, AM\}, \quad (2)$$

де T – множина видів дерев; U – множина видів підліску та підросту; Grb – множина видів трав'яно-чагарничкового ярусу; AM – види нижчих грибів. Такий розподіл акцентів при описі лісової екосистеми пов'язаний з тим, що саме значення важливих атрибутів ярусу деревостою має визначальний вплив на відбір ділянок для подальшої роботи на початкових етапах дослідження. При цьому множини підліску, підросту та трав'яно-чагарничкового ярусу мають допоміжне значення з огляду на можливість швидкого виведення більш точної оцінки екологічних процесів, які протікають на дослідній ділянці. Виділення в окрему множину видів нижчих грибів має скоріше перспективне значення і є більш важливим для наступних етапів дослідження, пов'язаних із аналізом гумусових горизонтів лісових екосистем. Мотиви зацікавленості в діяльності нижчих грибів лежать у тому факті, що в соснових лісах органічна речовина, яка поступає в ґрунт та на його поверхню, вміщує мало протеїну та багато клітковини, а це призводить до важливої ролі нижчих грибів у розкладенні опаду [17].

Розгляд ярусу деревостою T потребує більш детального опису з огляду на різні вимоги до вихідних даних у сфері прийняття рішень щодо перспективності прибутків від реалізації деревини, цінності лісу як місця масового відпочинку, ступеня відновлення порушеної екосистеми. Тому деревну породу T_i ($T_i \in T$) можна задати наступними характеристиками:

$$T_i = \{AG, Ab, Wd, Brk, Spr, Ned, Lf, Brch, Rt\}, \quad (3)$$

де AG – вік, Ab – надземна біомаса, Wd – стовбур, Brk – кора, Spr – пагони, Ned – шпильки, Lf – листя, $Brch$ – гілки, Rt – коріння. З компартментом Wd пов'язані такі змінні, як об'єм V , висота H , діаметр на рівні грудей D .

Детальний поділ на компартменти дає можливість у подальшому оцінювати динаміку зміни біомаси та ступінь важливості даної складової з огляду на різні цілі рекультивациі.

Підсумовуючи вищевикладений опис множини видової різноманітності лісової екосистеми, множину S для цілей даної роботи можна формально характеризувати наступним чином:

$$S = \{L, T_m, T_a, T_n, \Delta\}, \quad (4)$$

де $T_m \in T$ – основна деревна порода, $T_a \subset T$ – допоміжні деревні породи, $T_n \subset T$ – допоміжні деревні породи природного походження ($T = T_m \cup T_a \cup T_n$); Δ – вектор коефіцієнтів формули утворення складу деревостану ($\Delta_i \in N$, де N – множина натуральних чисел, $i=1, M$; M – кількість найменувань деревних порід T_i даної лісової екосистеми $T = \bigcup_{i=1}^M T_i$).

Встановлення атрибутів та формальних відношень для елементів екосистеми. Множина R інтегральних характеристик екосистеми $F_{i,j}$ визначає такі відношення між компартментами системи [18] та атрибутами компартментів, які впливають на подальший аналіз системи з огляду на критерії ефективності процесу біологічної рекультивациі, а саме: продуктивність основних деревних порід екосистеми R_P ; відношення алелопатії R_A між деревними породами; незімкнутість лісових культур R_Z ; біоекологічні характеристики деревних порід R_B екосистеми [19]. Таким чином, $R = \{R_P, R_A, R_Z, R_B\}$.

Для побудови формалізованої процедури попереднього оцінювання експериментальних ділянок Коростишівського буровугільного розрізу важливим є не лише сформулювати важливі для даної роботи відношення в системі, а й визначити відповідні кількісні оцінки. (Для зручності оперування формальними записами позначаємо далі оцінку за допомогою префікса μ , за яким слідує позначення відповідного відношення).

Так, на основі виділеної множини R інтегральних характеристик лісової екосистеми $F_{i,j}$ визначимо такі кількісні критерії кожного відношення, як: множину оцінок продуктивності основних деревних порід екосистеми μR_P ; вектор оцінок відношень алелопатії μR_A між основною деревною породою та додатковими деревними компартментами системи (компонентами μR_A є оцінки r_{al} , $l = 1, 6$); оцінка незімкнутості лісових культур μR_Z ; вектор оцінок μR_B біоекологічних характеристик деревних порід екосистеми (компонентами μR_B є оцінки r_{bl} , $l = 1, 6$, відповідні до таких видів характеристик, як: морозостійкість, посухостійкість, вимоги до родючості, швидкість росту, меліоративні властивості, придатність до даної місцевості). Таким чином, множину оцінок відношень між елементами системи $F_{i,j}$ запишемо як $\mu R = \{\mu R_P, \mu R_A, \mu R_Z, \mu R_B\}$.

Найбільш простим чином знаходиться оцінка незімкнутості лісових культур μR_Z , яка може бути визначена за таксаційними даними (вимірюється у відносних одиницях від 0 до 1, де 1 відповідає повністю зімкнуті лісові насадження, а 0 – поодинокі дерева). Отримання решти оцінок вимагає моделювання складних процесів, які протікають у системі (біологічних, хімічних тощо), та залучення додаткової довідникової інформації. Далі розглянемо більш детально процедуру побудови решти необхідних кількісних оцінок для відношень системи $F_{i,j}$.

Множину оцінок продуктивності основних деревних порід екосистеми μR_P формують характеристики, які дозволяють формалізувати ступінь успіху лісової рекультивациі на конкретній ділянці з огляду на такі початкові цілі, як відновлення порушеної екосистеми, поновлення санітарно-гігієнічних функцій лісових насаджень, прибутки від реалізації деревини. Запишемо множину оцінок продуктивності μR_P , як:

$$\mu R_P = \{\mu R_{PV}, \mu R_{PAB}, \mu R_{PFL}\}, \quad (5)$$

μR_{PV} — оцінка об'єму (m^3) стовбура дерева основної деревної породи, μR_{PAB} — оцінка загальної сухої надземної біомаси (кг), μR_{PFL} — оцінка зеленої частини біомаси (кг).

Знаходження оцінки μR_{PV} проводиться за допомогою введення додаткової функції ρ_V :

$$\mu R_{PV} = \rho_V(D, H); R_{PV} \in F_{i,j} \tag{6}$$

де $D, H \in Wd, Wd \in T_m, F_{i,j} = (Tp, \{L, T_m, T_a, T_n, \Delta\}, A)$.

Спосіб обчислення функції ρ_V наведений в табл. 1. Рівняння та коефіцієнти визначені за допомогою матеріалів роботи [20].

В табл. 1 та далі в тексті використані такі позначення:

СЗ	сосна звичайна;	АКЖ	акація жовта;	ВРБ	верба біла;
ВЛЧ	вільха чорна;	ЧРЗ	черемха звичайна;	ЯЛЕ	ялина європейська;
БП	береза повисла;	СБ	сосна Банкса;	КЛГ	клен гостролистий;
ДЗ	дуб звичайний;	ЯЗ	ясен звичайний;	ОС	осика;
ГШЗ	груша звичайна;	ВРВШ	верба вушката;	БЗР	бузина червона;
ГРЗ	граб звичайний;	ВШЗ	вишня звичайна;	БЗЧ	бузина чорна;
АКБ	акація біла;	КЛЯ	клен ясенolistий;	ТВС	таволга середня;
				КУЛ	крушина ламка.

Таблиця 1

Рівняння для обчислення оцінки об'єму (m^3) стовбура дерева

Головна деревна порода	Рівняння ρ_V та коефіцієнти a, b, c, d : D — діаметр (см), H — висота (м)
АКБ	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 0,00046903$, $b = 1,807$, $c = 0,0292$, $d = -0,4155$, $e = 0,5455$
БП	$\frac{D^a \times H^b \times e^c}{10^3}$, $a = 1,89060$, $b = 0,26595$, $c = -1,07055$
ВЛЧ	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 8,666 \times 10^{-5}$, $b = 1,7148$, $c = 0,1014$, $d = 0,801$, $e = 0,0530$
ВРБ	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 7,325 \times 10^{-5}$, $b = 1,5598$, $c = 0,0302$, $d = 0,8572$, $e = 0,1791$
ВРВШ	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 4,81 \times 10^{-5}$, $b = 2,0766$, $c = -0,1296$, $d = 0,6843$, $e = 0,2745$
КЛЯ	$\frac{D^a \times H^b \times e^c}{10^3}$, $a = 1,89756$, $b = 0,97716$, $c = -2,94253$
ОС	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 0,00007604$, $b = 1,7812$, $c = 0,0528$, $d = 0,8533$, $e = 0,0654$
СБ	$a \times \frac{(10 \cdot D)^{b+c} \times H^d \times e^c}{10^3}$, $a = 0,00042613$, $b = 2,066225947$, $c = 0,00369501$, $d = 0,80636901$
СЗ	$a \times 10^{b \log_{10} D + c \log_{10}^2 D + d \log_{10} H + e \log_{10}^2 H}$, $a = 0,00014808$, $b = 1,8341$, $c = -0,0448$, $d = 0,3115$, $e = 0,3525$
ЯЛЕ	$a \times (H \cdot D^2)^b$, $a = 0,00011261$, $b = 0,87852$

Знаходження оцінки μR_{PAB} проводиться за допомогою введення додаткової функції ρ_{AB} :

$$\mu R_{PAB} = \rho_{AB}(D); R_{AB} \in F_{i,j} \tag{7}$$

де $D \in Wd, Wd \in T_m, F_{i,j} = (Tp, \{L, T_m, T_a, T_n, \Delta\}, A)$.

Спосіб обчислення функції ρ_{AB} наведений у табл. 2. Рівняння та коефіцієнти визначені за допомогою матеріалів роботи [20, 21].

Таблиця 2

Рівняння для обчислення оцінки загальної сухої надземної біомаси (кг)

Головна деревна порода	Рівняння ρ_{AB} та коефіцієнти a, b :
------------------------	--

	D — діаметр (см)
АКБ	$a \times D^b, a = 0,067881, b = 2,60$
БП	$a \times D^b, a = 0,2511, b = 2,29$
ВЛЧ	$a \times D^b, a = 0,0146, b = 2,5191$
ВРБ	$a \times D^b, a = 0,067881, b = 2,60$
ВРВШ	$a \times D^b, a = 0,067881, b = 2,60$
КЛЯ	$a + b \times \ln D, a = -2,7606, b = 2,5189$
ОС	$a \times D^b, a = 0,0519, b = 2,545$
СБ	$a \times D^b, a = 0,05595, b = 2,1002$
СЗ	$a \times D^b, a = 0,05595, b = 2,1002$
ЯЛЕ	$a \times D^b, a = 0,57669, b = 1,964$

Знаходження оцінки μR_{PFL} проводиться за допомогою введення додаткової функції ρ_{PFL} :

$$\mu R_{PFL} = \rho_{PFL}(D); R_{PFL} \in F_{i,j} \tag{8}$$

де $D \in Wd, Wd \in T_m, F_{i,j} = (Tp, \{L, T_m, T_a, T_n, \Delta\}, A)$.

Спосіб обчислення функції $\rho_{PFL} = a \times D^b, D$ — діаметр (см), наведений в табл. 3. Рівняння та коефіцієнти визначені на основі матеріалів роботи [22].

Таблиця 3

Коефіцієнти рівняння ρ_{PFL} для обчислення оцінки зеленої частини біомаси (кг)

Головна деревна порода	Коефіцієнти a, b
АКБ	$a = 0,0177, b = 1,6093$
БП	$a = 0,0180, b = 1,7139$
ВЛЧ	$a = 0,0100, b = 1,9398$
ВРБ	$a = 0,0091, b = 2,0645$
ВРВШ	$a = 0,0299, b = 1,6921$
КЛЯ	$a = 0,0261, b = 1,5914$
ОС	$a = 0,0159, b = 1,7369$
СБ	$a = 0,0138, b = 2,0512$
СЗ	$a = 0,0489, b = 1,7140$
ЯЛЕ	$a = 0,0075, b = 2,1683$

Відношення алелопатії R_A між компартментами системи $F_{i,j}$ обумовлене біохімічною взаємодією деревних порід через продукування фітонцидів та інших виділень. Оцінка відношення $R_A \in F_{i,j}$ вводиться як вектор μR_A :

$$\mu R_{Aq}: T_l, T_q \rightarrow AL(T_l, T_q) \times \delta(i, j, T_q), \tag{9}$$

де $\delta: i, j, t \rightarrow k$ — функція уточнення складу деревостану (i — номер кварталу, j — номер виділу, t — деревна порода, k — частка деревної породи t в ярусі деревостану відповідної екосистеми $F_{i,j}$):

$$k = \frac{\Delta_x}{\sum_{y \in L, M, y \neq x} \Delta_y}, \tag{10}$$

де $t = T_x, x \in [1, M]; M$ — кількість найменувань деревних порід лісової екосистеми $F_{i,j} = (Tp, S, A), S = \{L, T_m, T_a, T_n, \Delta\}, T_x \in T, T \in L, M = |T|$;

$T_l \in T$ — основна деревна порода, $T_q \in T$ — допоміжна деревна порода; $q \in [1, M], q \neq l$.

AL: $T_l, T_q \rightarrow \{-1, 0, 1\}$ — довідникова функція алелопатичних груп деревних порід, яка обчислюється за допомогою табл. 4 [23–25]. Значення -1 функції AL відповідає відношенню активатора (стимуляція життєвих процесів головної породи T_l), 1 відповідає відношенню інгібітора (пригнічення життєвих процесів головної породи T_l), 0 відповідає нейтральним алелопатичним відношенням (порожні комірки табл. 4).

Для визначеності вектора μR_A припустимо додатково

$$\mu R_{Al} = 0, \tag{11}$$

де $T_l \in T$ — основна деревна порода системи $F_{i,j}$.

Таблиця 4

Довідникова функція AL алелопатичних груп деревних порід

Деревні породи	АКБ	БП	ВШЗ	ДЗ	КЛГ	КЛЯ	ОС	СЗ	ЯЗ
БП					-1	-1			
ВЛЧ							-1		
ДЗ	-1	-1				-1	-1	-1	-1
КЛГ			-1						
КЛЯ			-1						
СЗ		-1		-1					

Біоекологічні атрибути R_B деревних порід екосистеми $F_{i,j}$ формуються за початковими даними, запропонованими Л.П. Баранником та наведеними в роботі [19]. Для досягнення сформульованих цілей даного дослідження введемо незначну модифікацію вищезгаданого підходу з метою отримання нормованих кількісних оцінок — на відміну від 3- та 4-бальних шкал, які використовувалися в рамках оригінального методу. Перехід до нормованих значень оцінок дозволить в подальшому перейти до інтегральних узагальнюючих величин без введення додаткових вагових коефіцієнтів, які б узгоджували різні використані шкали.

Таким чином, характеристики біологічної стійкості лісових порід μR_B згідно з модифікованим підходом будемо оцінювати за дискретною шкалою від 0 до 1 ($\{0, 1/3, 2/3, 1\}$ або $\{0, 1/2, 1\}$ в залежності від фактора впливу на компартмент); 0 відповідає узагальненому твердженню “низька біологічна стійкість”, а 1 — “дуже висока біологічна стійкість”. Конкретні семантичні зв’язки шкали кількісних оцінок біоекологічних атрибутів вектора R_B та предметної області лісової рекультиваци [19] уточнені в табл. 5.

Таблиця 5

Опис шкали оцінок характеристик біологічної стійкості

Поділка шкали оцінок	Опис характеристики біологічної стійкості
<i>Морозостійкість</i>	
1	обмерзання не спостерігається
1/2	часткове обмерзання в перші роки зростання на некритих снігом поверхнях
0	спостерігається обмерзання молодих паростків
<i>Посухостійкість</i>	
1	ксерофіти
2/3	мезоксерофіти
1/3	мезофіти
0	мезогігрофіти
<i>Вимоги до родючості</i>	
1	оліготрофи
1/2	мезотрофи
0	мезомегатрофи
<i>Швидкість росту</i>	
1	швидке зростання
2/3	швидке зростання кущів
1/3	помірне зростання дерев та кущів
0	повільне зростання дерев та кущів
<i>Меліоративні властивості</i>	
1	швидко зростаючі види, азотонакопичувачі
1/2	збагачують ґрунти листовим опадом, мають розгалужену кореневу систему
0	повільно зростаючі види або види з листовим опадом, який створює грубий гумус
<i>Придатність до даної місцевості</i>	
1	цілком придатна порода
1/2	відносно придатна порода
0	мало придатна порода

На основі запропонованої шкали вектор оцінок біологічної стійкості лісових порід μR_B формується на основі табл. 6, в якій кожному стовпчику оцінки характеристики відповідає l -та координата вектора μR_B , $l = 1, 6$, а рядок визначається за основною породою лісової екосистеми $F_{i,j}$, $R_B \in F_{i,j}$.

Таблиця 6

Оцінки характеристик біологічної стійкості основних і допоміжних деревних порід

Деревна порода	Морозостійкість	Посухо- стійкість	Вимоги до родючості	Швидкість росту	Меліоративні властивості	Придатність до місцевості
<i>Основні породи</i>						
АКБ	0	1	1	1	1	1
БП	1	1	1	1/3	1/2	1
ВЛЧ	1/2	1/3–2/3	0–1/2	2/3	1	1
ВРБ	0	2/3	1	1	1	1/2
ВРВШ	1	1/3–2/3	1/2–1	2/3	1	1
КЛЯ	1/2	2/3	1/2	2/3	0	1
ОС	1	1/3–2/3	1/2	1	1/2	1
СБ	0	1	1	0	0	1/2
СЗ	1/2	1	1	1/3	0	1
ЯЛЕ	1/2	1/3	1/2	1/3	0	1
<i>Допоміжні породи</i>						
АКЖ	0	1	1	1	1	1/2
БЗР	1	2/3	1/2	1/3	1/2	1
БЗЧ	1	2/3	1/2	1/3	1/2	1
ВШЗ	0	2/3	0	1/3	0	1/2
ГРЗ	0	1	1/2	2/3	1/2	1/2
ГШЗ	0	2/3	0	1/3	0	1/2
ДЗ	0	1	1/2	0	0	1/2
КЛГ	1/2	2/3	0	1/3	1/2	1/2
ЧРЗ	1/2	2/3	1/2	1/3	1/2	1
ЯЗ	1/2	2/3	1/2	1/3	0	1/2

Висновки. Таким чином, проведена в даній роботі формалізація опису дослідних ділянок рекультивованих відвалів дозволяє чітко сформулювати наступні кроки розробленої методики кількісно обґрунтованого планування експериментальних робіт з дослідження ефективності біологічного етапу рекультивації Коростишівського буровугільного розрізу.

Результати визначення множини R інтегральних характеристик екосистеми F_{ij} та встановлення відповідних кількісних оцінок дозволяють відобразити характеристики експериментальних ділянок у множині точок n -мірного простору, які в свою стають вихідними даними до фінальної процедури обґрунтування ходу виконання експериментальних робіт щодо дослідження біологічної активності рекультивованих відвалів. З метою приведення отриманих даних до вигляду, зручного для застосування формальних методів подальшого відбору виділів, у ході запланованих досліджень у n -мірному просторі атрибутного складу дослідних ділянок слід ввести вагові коефіцієнти та метрики, які враховували б специфічні критерії відбору, сформульовані на початку даної роботи.

Введення метрики в n -мірному просторі атрибутного складу дослідних ділянок надає механізм кількісного оцінювання відстаней експериментальної площі від певних “еталонних” випадків та від інших виділів. Це, в свою чергу, дозволить використати існуючі методи обчислювальної математики, чисельного аналізу та програмування шляхом їх модифікації з метою пристосування до потреб дослідження.

Головна роль вагових коефіцієнтів полягає в такому нормуванні координат n -мірного простору атрибутного складу дослідних ділянок, яке дозволяє контролювати задоволення специфічних критеріїв відбору на кожному кроці використання методики кількісно обґрунтованого планування експериментальних робіт з дослідження ефективності біологічного етапу рекультивації Коростишівського буровугільного розрізу. Іншою важливою метою введення посередництва вагових

коефіцієнтів у процес оцінювання взаємних відстаней між дослідними ділянками є забезпечення декількох поглядів на проблему відбору експериментальних площ завдяки варіаціям вагових коефіцієнтів у бік зменшення чи збільшення уваги до різних критеріїв відбору, зазначених на початку даної роботи.

Запропонований підхід дозволить уникнути однобічних оцінок у попередньому відборі експериментальних ділянок, забезпечити пошук оптимального варіанта побудови адекватної математичної моделі та в результаті цього сформувати методично обгрунтовану, багатоетапну, формалізовану процедуру розв'язку поставленої задачі.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Левицька О.К.* Ретроспективний огляд технічної рекультивациі і попередній аналіз результатів біологічної рекультивациі Стрижівського буровугільного розрізу // Вісник ЖІТІ. – 2006. – № 36 (1). – С. 147–150.
2. *Келеберда Т.Н., Данько В.Н.* Биологическая активность мелиорированных грунтов промышленных разработок. – В кн.: Рекультивация земель, нарушенных при добыче полезных ископаемых. – Тарту, 1975. – С. 93–100.
3. *Шелест З.М., Левицька О.К., Тарнопільський П.Б.* Особливості розвитку сосни звичайної на відвалах розкритих порід Стрижівського вуглерозрізу // Проблеми екології та охорони природи техногенного регіону: Міжвідомчий збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНУ. – 2004. – Вип. 4. – С. 189–195.
4. *Баранник Л.П., Шмонов А.М.* Рекультивация земель. — Кемерово: Кн. изд-во, 1988. – 65 с.
5. *Вакулюк П.Г., Самоплавський В.І.* Лісовідновлення та лісорозведення в рівнинних районах України. – Фастів: Поліфаст, 1998. – 508 с.
6. *Моисеев Н.Н.* Математические задачи системного анализа. – М: Наука, 1981.
7. Каталог биосферы: Пер. с англ. Н.Я. Лебедевой, Р.Л. Кришунаса. – М.: Мысль, 1991. – 255 с.
8. *Дажо Р.* Основы экологии. – М.: Прогресс, 1975.
9. *Anna Hillbricht-Ilkowska.* Managing ecotones for nutrients and water // Ecology International. – № 22. – 1995. – Pp. 73–93.
10. *Одум Ю.* Основы экологии. – М.: Мир, 1975. – 740 с.; Каталог биосферы: Пер. с англ. Н.Я. Лебедевой, Р.Л. Кришунаса. – М.: Мысль, 1991. – 255 с.
11. *Кузнецов О.П., Адельсон-Вельский Г.М.* Дискретная математика для инженера: 2-е изд., перераб. и доп. – М., Энергоатомиздат, 1988. – 480 с.
12. *Бурбаки Н.* Очерки по истории математики. – М.: Изд. иностранной литературы, 1963. – 291 с.
13. *Погребняк П.С.* Основы лесной типологии. – К.: Изд-во АН УССР, 1955. – 456 с.
14. *Воробьев Д.В.* Типы лесов Европейской части СССР. – К.: Изд-во АН УССР, 1953. – 540 с.
15. *Янчук В.М., Колодницький М.М., Ковальчук А.М., Левицький В.Г., Орлов О.О.* Методи та засоби математичного моделювання міграції радіонуклідів у природних екосистемах. Від аналізу до математичної моделі. – Том 1. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 142 с.
16. *Янчук В.М., Колодницький М.М., Ковальчук А.М., Левицький В.Г., Орлов О.О.* Методи та засоби математичного моделювання міграції радіонуклідів у природних екосистемах. Міждисциплінарний аналіз проблеми. – Том 2. – Житомир: ЖІТІ, 2002. – 224 с.
17. *Мякушко В.К., Вольвач Ф.В., Плюта П.Г.* Экология сосновых лесов. – К.: Урожай, 1989. – 248 с.
18. *Bischi G.I.* “Compartmental analysis of economic systems with heterogeneous agents: an introduction” in Beyond the Representative Agent (A. Kirman and M. Gallegati Eds.) Elgar Pub. Co, 1998. – Pp. 181–214.
19. *Зайцев Г.А., Моторина Л.В., Данько В.Н.* Лесная рекультивация. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 128 с.
20. *Dimitris Zianis, Petteri Muukkonen, Raisa Makipaa, Maurizio Mencuccini.* Biomass and Stem Volume Equations for Tree Species in Europe. Silva Fennica Monographs, Tammer-Paino Oy, 2005.
21. *Jason C. Fuhs.* Evaluation of Allometric Equations for Estimating Above-ground Tree Biomass and Stand-Level C Accumulation. U.S. Department of Energy's Office of Biological and Environmental Research, Global Change Research Program, 2001.
22. *Michael T. Ter-Mikaelian and Michael D. Korzukhin.* Biomass equations for sixty-five North American tree species. Forest Ecology and Management, Volume 97, Issue 1, 30 September 1997. – Pp. 1–24.
23. *Швиденко А.Й., Остапенко Б.Ф.* Лісознавство. – Чернівці: Зелена Буковина, 2001. – 352 с.
24. *Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala,* tech. coords. 1990. Silvics of North America: Vol. 1. Conifers. Agriculture Handbook 654, Washington, D.C.
25. *Burns, Russell M., and Barbara H. Honkala,* tech. coords. 1990. Silvics of North America: Vol. 2. Hardwoods. Agriculture Handbook 654, Washington, D.C.

ЛЕВИЦЬКА Олена Костянтинівна – аспірант кафедри природничих наук Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- рекультивация земель;
- ґрунтовідновлення;
- екологічна безпека.

ЛЕВИЦЬКИЙ В'ячеслав Георгійович – кандидат технічних наук, доцент кафедри програмного забезпечення та обчислювальної техніки Житомирського державного технологічного університету.

Наукові інтереси:

- програмне забезпечення математичного моделювання технічних та екологічних систем;
- розробка мов програмування та предметно-орієнтованих мов, методи побудови компіляторів;
- використання обчислювальної техніки в навчальному процесі.

Подано 25.09.2006