
Методика візуального оцінювання впливу промислових підприємств на трав'янисті рослини

Олена Дмитрієва

Лабораторія екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП), м. Харків, Україна
ORCID 0000-0002-7494-0674

Наталья Цапко

Лабораторія еколого-токсикологічних досліджень антропогенного впливу на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП), м. Харків, Україна
ORCID 0000-0003-2480-3636

Ірина Друльова

Лабораторія екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП), м. Харків, Україна
ORCID 0000-0002-5885-4557

Ірина Колдоба

Лабораторія екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля, Український науково-дослідний інститут екологічних проблем (УкрНДІЕП), м. Харків, Україна
ORCID 0000-0001-9334-6219

Вячеслав Браткевич

Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця, м. Харків, Україна
ORCID 0000-0002-7217-7767

Для цитування цієї статті:

Дмитрієва Олена, Цапко Наталья, Друльова Ірина, Колдоба Ірина, Вячеслав Браткевич. Методика візуального оцінювання впливу промислових підприємств на трав'янисті рослини. International Science Journal of Engineering & Agriculture. Vol. 3, No.5, 2024, pp. 68-86. doi: 10.46299/j.isjea.20240305.07.

Надійшла до редакції: 07 серпня 2024 р.; **Схвалено:** 07 вересня 2024 р.;

Опубліковано: 01 жовтня 2024 р.

Анотація: Методи візуального біологічного моніторингу у поєднанні з методами математичної обробки даних дають найбільший ефект, якщо вони застосовуються на перших етапах спостережень, що дозволяє оптимізувати витрати праці та кількість отриманої інформації при польових спостереженнях. Похибка візуального оцінювання суттєво залежить від кваліфікації експерта, тому дослідження, присвячене розробці методики, що дозволяє зменшити суб'єктивність рішень експерта, є актуальною. Основу методики, що пропонується, становить метод аналізу ієрархій, який дозволяє здійснювати попарне порівняння трав'янистих рослин, яке на відміну від абсолютного порівняння, менш залежить від

кваліфікації експерта. Запропоновано покрокову процедуру побудови рангової моделі ступеня впливу промислового підприємства на трав'янисті рослини, що дозволяє обґрунтувати вибір модельних рослин для подальшого моніторингу. Розглянуто типові критерії оцінювання рівнів стану трав'янистих рослин та надано ієрархічну модель для визначення вагових коефіцієнтів трьох критеріїв: висота рослини; займана площа кількість рослин. Модель має 3 рівня і кластерну структуру: кластер мети; кластер критеріїв; кластер альтернатив. Кластер альтернатив містить 5 модельних рослин. Для вибору модельних рослин з загальної множини рослин на площі моніторингу пропонується процедура, яка дозволяє вихідну множину розділити на рівні, кожен з яких містить підмножину що характеризує ступень поточного впливу промислового підприємства. Наведено результати обчислення локальних пріоритетів стану модельних рослин відносно кожного з трьох критеріїв, а також відповідні глобальні пріоритети. Розглянуто формули та приклади їх використання для абсолютного та відносного оцінювання ступеня впливу промислового підприємства як на окремі модельні трав'янисті рослини, так і на всю територію, що обстежується.

Ключові слова: промайданчик, вплив промислового підприємства, трав'янисті рослини, модельні рослини, метод аналізу ієрархій, абсолютне оцінювання, відносне оцінювання.

1. Вступ

В даний час однією з екологічних проблем, обумовленої негативним впливом промислових підприємств, є скорочення біологічного розмаїття рослинного світу, внаслідок якого відбувається інтенсивне руйнування природних екосистем [1]. Центральне місце в подібних екосистемах займає трав'яниста рослинність, оскільки саме вона є основою, що підтримує біологічну різноманітність усієї лісостепової зони, характерної для околиць підприємства.

Для контролю якості довкілля аналізованих екосистем широкого поширення набули методи візуального біологічного моніторингу у поєднанні з методами математичної обробки даних. Їх використання дає найбільший ефект, якщо вони застосовуються на перших етапах спостережень, що дозволяє оптимізувати витрати праці та кількість отриманої інформації при польових спостереженнях. При цьому на перший план висувається проблема переходу від якісних візуальних оцінок пригніченого стану трав'янистих рослин до їх кількісних еквівалентів.

Похибка візуального оцінювання негативного впливу підприємств на трав'янисту рослинність суттєво залежить від кваліфікації експерта, це зумовлено:

кількісним різноманіттям трав'янистих рослин і неоднозначністю вибору поміж них обмеженого набору модельних рослин (МР) як тест-об'єктів для наступних спостережень;

неоднозначністю суб'єктивного вибору вагових коефіцієнтів важливості критеріїв оцінювання.

Зазначені фактори знижують об'єктивність прийнятих рішень, що надають суттєвий вплив як на відповідні технологічні процеси всередині підприємства, так і на підтримку задовільного стану навколишньої території. Тому дослідження, присвячене розробці методики, що дозволяють зменшити суб'єктивність рішень експерта, є актуальним.

Як приклад типового промислового підприємства у роботі розглянуто гірничо-збагачувальний комбінат (ГЗК) України.

2. Об'єкт і предмет дослідження

Об'єкт дослідження - вплив ГЗК на трав'янисту рослинність прилеглої до нього території.

Предмет дослідження – методика візуального оцінювання ступеня пригніченості трав'янистої рослинності.

3. Мета та задачі дослідження

Науковою метою є застосування методу аналізу систем (МАС) і методу аналізу ієрархій (МАІ) для розробки методики візуального оцінювання ступеня негативного впливу ГЗК на трав'янисті рослини.

Передбачуваний результат дозволить зменшити суб'єктивність експерта при візуальному оцінюванні поточного стану рослин, що спостерігаються.

Гіпотеза дослідження.

Візуальне оцінювання ступеня впливу ГЗК на трав'янисту рослинність на базі методів МАС та МАІ дозволить зменшити суб'єктивність експерта при прийнятті відповідних рішень

Прийняті у роботі твердження.

Твердження 1.

Негативний вплив ГЗК поширюється не на всі трав'янисті рослини території, що спостерігається.

Твердження 2.

Негативний вплив оцінюється загальною кількістю критеріїв, елементи яких можуть бути співвіднесені з кожним із спостережуваних рослин.

Твердження 3.

При візуальному оцінюванні рівня пригніченості модельних рослин рівень суб'єктивізму експерта при їх попарному порівнянні буде меншим, ніж при абсолютному оцінюванні.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

- формалізувати вибір обмеженого набору найбільш схильних до впливу ГЗК рослин для їх подальшого моніторингу як модельних;
- розробити ієрархічну модель візуального оцінювання пригніченості модельних рослин та формалізувати вибір вагових коефіцієнтів критеріїв пригніченості;
- розробити процедуру узгодження відносних оцінок пригніченості модельних рослин з їх абсолютними значеннями.

4. Аналіз літератури

Огляд останніх досягнень, присвячених даній темі, дозволяють зробити висновок, що істотну увагу автори приділяли аналізу стану трав'янистих рослин на газонних покриттях. Так, у роботі [2] зазначається, що візуальне оцінювання ступеня пригнічення газонних травосумішей футбольних полів здійснюється суб'єктивно за 9-бальною шкалою. Розглядалися п'ять показників різних груп травосумішей рослин. Статистична обробка проводилася за ознакою достовірно значущої різниці - критерію Тьюкі (HSD) [3]. Вихідними даними для обробки були абсолютні показники ступеня пригнічення спостережуваних рослин, причому важливість критеріїв оцінювання в явному вигляді не враховувалася.

У роботі [4] наводяться результати дослідження еволюції показників якості газонної трави. Показується, що візуальні оцінки трав'янистої рослинності, які базується на судженнях експерта-оцінювача [5] (MORRIS, 2008), є найбільш ефективним методом при вимірі різноманітного набору їх характеристик. Тут також для абсолютного оцінювання використовувалася 9-бальна шкала та набір із семи критеріїв, важливість яких вважалася однаковою.

Автори роботи [6] оцінювали трав'янисту рослинність у лісових галявинах з використанням двох індексів біорізноманіття: індексу біорізноманіття Шеннона (H) та індексу домінування Сімпсона (D). На основі індексу Шеннона були отримані оцінки видового складу, що характеризують кількість конкретних видів рослин на територіях, що вивчаються, а індекс Сімпсона характеризував ступінь їх домінування. Оцінювання, по суті, виконувалося за одним критерієм, що характеризує динаміку зміни кількості таксонів по кожному виду, що явно недостатньо для інтегрального оцінювання всього співтовариства трав'янистих рослин.

У роботі [7] розглянуто динаміку поширення трав'янистих рослин на фоні кліматичних змін. Стан рослин визначались візуально методом «польового маршруту». Як основну характеристику спостереження використовувався підрахунок їх кількості на обстежуваних майданчиках. Статистична обробка велася шляхом підрахунку середнього арифметичного значення.

Таким чином, в даний час візуальний контроль поточного стану трав'янистої рослинності визначається або за абсолютною шкалою оцінювання, а найчастіше шляхом підрахунку кількості спостережуваних рослин, обраних як модельні. Важливість критеріїв оцінювання визначається, як правило, на інтуїтивному рівні, або вважається однаковою, що суперечить реальній ситуації на майданчику обстеження. Недоліком такого підходу є істотна залежність результату оцінювання на базі абсолютних шкал від кваліфікації експерта, крім цього, при великому обсязі біорізноманіття, що спостерігається, вибір з їх числа модельних рослин для подальшого візуального спостереження також багато в чому залежить від інтуїції експерта.

5. Методи досліджень

Методичною основою для отримання кінцевого результату в моделі візуального контролю поточного стану трав'янистої рослинності застосовувався метод аналізу систем (МАС) [8] і метод аналізу ієрархій (МАІ) [9]

В якості інструментального середовища реалізації моделі було обрано середовище Super Decision [10], що дозволяє в повній мірі враховувати особливості методів МАІ і МАС.

6. Результати досліджень

На рис. 1 наведено структурну модель галузі дослідження.

Пропонується два варіанта методики, які використовують два види візуального оцінювання: абсолютне (варіант1) та попарне (варіант2).

Абсолютне порівняння здійснюється в термінах критеріїв за шкалою Сааті, особливість якої (на відміну від інших багатовимірних шкал) – орієнтація на когнітивні особливості людини.

У разі відносного оцінювання парні порівняння здійснюється також на базі «фундаментальної шкали абсолютних значень» - шкали Сааті, при цьому альтернативи попарно порівнюються за загальними для них ознаками (критеріями) і як результат – суб'єктивність суджень експерта істотно зменшується.

В процесі попарного порівняння слід враховувати, що різні види рослин можуть мати різну чутливість до забруднюючих речовин [11]. Це може залежати від особливостей їхньої фізіології, метаболізму та генетичної стійкості. Також види можуть займати різні екологічні ніші і різні вимоги до умов середовища, що може змінювати їхню реакцію на забруднення.

Для коректного порівняння важливо вибрати показники пригнічення, які застосовуються до всіх модельних видів рослин. Попарне порівняння буде точнішим, якщо рослини ростуть у максимально схожих умовах [12] (наприклад, однакові типи ґрунту тощо). Все це необхідно враховувати при виборі контрольної ділянки.

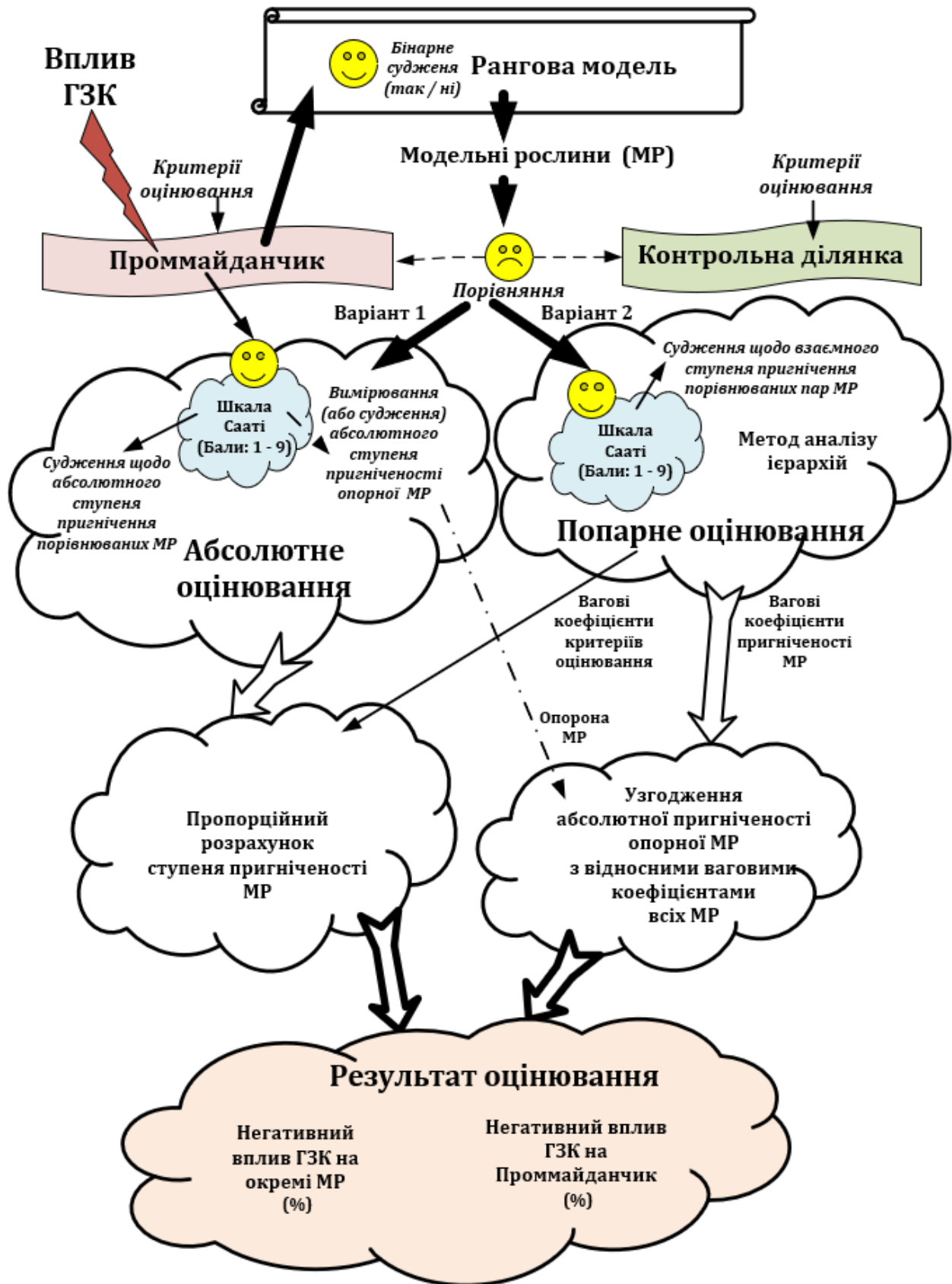


Рис. 1. Структурна модель галузі дослідження та взаємозв'язок основних її компонентів.

6. Методика оцінювання впливу ГЗК на трав'янисті рослини

Методика оцінювання негативного впливу ГЗК на трав'янисті рослини складається з наступних етапів.

Етап 1. Аналіз множини трав'янистих рослин $R = \{r_1, r_2, \dots\}$ на околицях ГЗК (промайданчика) та формування вихідної підмножини модельних рослин $MR = \{mr_1, mr_2, \dots\}$, загальний рівень порушень яких далі розглядатиметься як інтегральний рівень пригнічення всієї території, що обстежується.

Для отримання підмножини модельних рослин $\{mr_i\}$, ($i = 1, 2, \dots$) застосовується метод аналізу систем [8], при цьому результат формується у вигляді "мережі з рівнями", кожен рівень (ранг) якої відповідає ступеню пригніченості рослини. Особливість даного підходу полягає у граничній простоті бінарного оцінювання. Процедура побудови рангової моделі складається з наступних кроків [13].

Крок 1. Побудова графа взаємозв'язку ступеня пригнічення рослин, що спостерігаються.

Повний орієнтований граф взаємозв'язку містить безліч вихідних вершин - рослин $\{r_1, r_2, \dots\}$, у якому кожна пара вершин з'єднана ребрами. Орієнтація ребр визначається результатом відповіді експерта на наступне питання: яка з порівнюваних пар рослин r_i або r_j має більшу пригніченість? Наприклад, якщо експерт свідчить про r_i , то сполучне ребро вказує про протилежну вершину r_j (рис.2), інакше – на r_i .

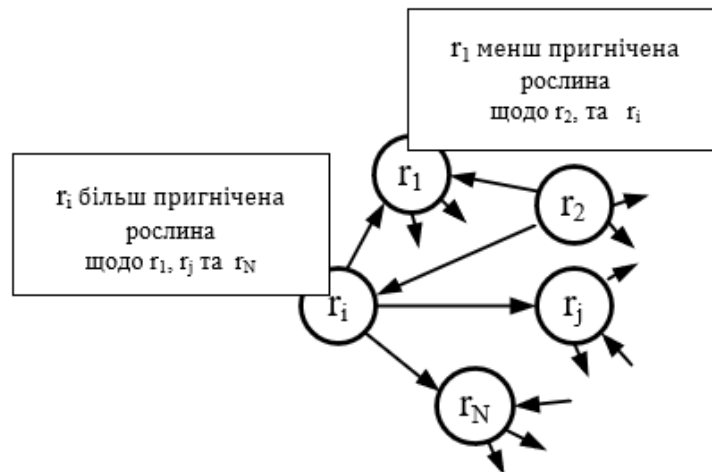


Рис. 2. Взаємозв'язок ступеня пригнічення суміжних пар рослин.

Якщо пригніченість рослин однакова, одна з порівнюваних пар рослин видаляється з подальшого розгляду.

В результаті послідовного оцінювання всіх суміжних пар формується орієнтований граф, в якому відсутні однакові за рівнем пригніченості рослини-вершини.

Крок 2. Перетворення графа взаємозв'язку ступеня пригнічення спостережуваних рослин до матричного вигляду – матриці суміжності.

Квадратна матриця складається з N рядків та N колонок, де N – кількість вершин-рослин вихідного графа.

Матриця заповнюється так:

на графі послідовно проглядаються вершини, з яких виходять стрілки, наприклад, з вершини r_i (див. рис.2), в результаті виділяється r_i рядок матриці.

у вибраному рядку проставляються одиниці в колонках-вершинах, на які вказують напрямком стрілки. У цьому прикладі – це вершина r_j (табл.2). Порожні осередки заповнюються нулями.

Таблиця 1. Фрагмент перетворення вихідного графа (див. рис.2) на матрицю суміжності

	r_1	r_2	... r_j ...	r_N
r_1				
r_2	1	0	1	0
...				
r_i	1	0	1	1
...				
r_N				

Крок 3. Побудова матриці досяжності.

Розмірність бінарної матриці досяжності аналогічна розмірності матриці суміжності. Формування матриці може бути виконано шляхом послідовного візуального аналізу досяжних вершин з кожної аналізованої вершини (див. рис.2). Більш зручний варіант формування матриці досяжності — з матриці суміжності (див. табл.1). Наприклад, з вершини r_2 досяжними вершинами є вершини r_i та r_1 .

У загальному вигляді формальна процедура створення матриці досяжності має такий вигляд [8]:

$$(I + V)^{k-1} \leq (I + V)^k = (I + V)^{k+1},$$

де: I — одинична матриця; V — матриця суміжності; $(I + V)^{k+1}$ — матриця досяжності.

У роботі [8] показано, що існує найменше ціле k , при якому кожен елемент матриці $(I + V)^{k-1}$ менший за відповідний елемент матриці $(I + V)^k$ або дорівнює йому, при цьому елементи матриць $(I + V)^k$ та $(I + V)^{k+1}$ однакові.

Крок 4. Визначення рівнів (рангів) ступеня пригнічення аналізованих рослин.

Формування рівнів здійснюється шляхом виконання наступних ітераційних процедур.

1). Аналізується матриця досяжності і створюється вихідна таблиця – шаблон (табл.3) визначення безлічі рослин нижнього (самого пригнічуваного) рівня.

Таблиця 2. Початковий шаблон таблиці

R	ДВ(r_i)	ПВ(r_i)	Rang(r_i) = ДВ(r_i) \cap ПВ(r_i)
1	2	3	4
r_1			
r_2			
...			
r_N			

Таблиця містить такі колонки:

R – перелік аналізованих рослин;

ДВ(r_i) - досяжні вершини-рослини, яких можна досягти з вершини r_i ;

ПВ(r_i) – попередні вершини, з котрих можна досягти вершину r_i ;

Rang(r_i) = ДВ(r_i) \cap ПВ(r_i) - вершини, які визначають безліч рослин, які не можуть бути досягнуті з будь-якої вершини r_i .

2). Порядкове аналізуються колонки 3 і 4 і виділяються безлічі вершин-рослин, які збігаються. Вони відповідають нижньому (найбільш пригніченому) рівню ієрархії.

3). У таблиці-шаблоні видаляються відповідні рядки та визначені раніше рослини нижнього рівня. У результаті формується таблиця для наступної ітерації.

4). Знову порядкове аналізуються колонки 3 і 4 і виділяються безлічі вершин-рослин, які збігаються. Вони відповідають наступному (за рівнем пригніченого) рівню ієрархії.

5). Пункти 3) та 4) повторюються доки не будуть проаналізовані всі рядки таблиці.

Таблиця 5. Початкова шаблон-таблиця

R	ДВ(r _i)	ПВ(r _i)	Rang(r _i) = ДВ(r _i) ∩ ПВ(r _i)
1	2	3	4
r ₁	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₁
r ₂	r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₂
r ₃	r ₃	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₃
r ₄	r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₄ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₄
r ₅	r ₃ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₅
r ₆	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₆ , r ₇ , r ₉ , r ₁₀	r ₆ , r ₇ , r ₉
r ₇	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₉ ,	r ₆ , r ₇ , r ₉ , r ₁₀	r ₉ ,
r ₈	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₈ ,	r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r ₈ ,
r ₉	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₆ , r ₇ , r ₉ , r ₁₀	r ₉
r ₁₀	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ , r ₁₀	r₁₀	r₁₀

У таблиці-шаблоні видаляється рослина r₁₀, яка є найбільш схильною до впливу рослиною і відноситься до нижнього рівня рангової моделі. Як результат формується таблиця 6 для наступної ітерації.

Таблиця 6. Шаблон-таблиця після першої ітерації

R	ДВ(r _i)	ПВ(r _i)	Rang(r _i) = ДВ(r _i) ∩ ПВ(r _i)
1	2	3	4
r ₁	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₁
r ₂	r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ ,	r ₂
r ₃	r ₃	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₃
r ₄	r ₃ , r ₄ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₄ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉ ,	r ₄
r ₅	r ₃ , r ₅	r ₁ , r ₂ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₅
r ₆	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r₆, r₇, r₉,	r₆, r₇, r₉
r ₇	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₉ ,	r ₆ , r ₇ , r ₉	r ₉ ,
r ₈	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₈ ,	r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₈ ,
r ₉	r ₁ , r ₂ r ₃ , r ₄ , r ₅ , r ₆ , r ₇ r ₈ , r ₉	r ₆ , r ₇ , r ₉	r ₉

Аналізуються колонки 3 і 4 і виділяються безліч вершин-рослин, які збігаються. Вони відповідають наступному (за рівнем впливу) рівню ієрархії.

З таблиці 6 витікає, що рослини r₆, r₇, r₉ належать до наступного (менш пригніченого впливу ГЗК) рівня рангової моделі.

Аналогічним чином повторюються пункти 3) та 4) процедури побудови рангової моделі, доки не будуть проаналізовані всі рядки таблиці. Кінцевий результат у графічному вигляді наведено на рис. 3.

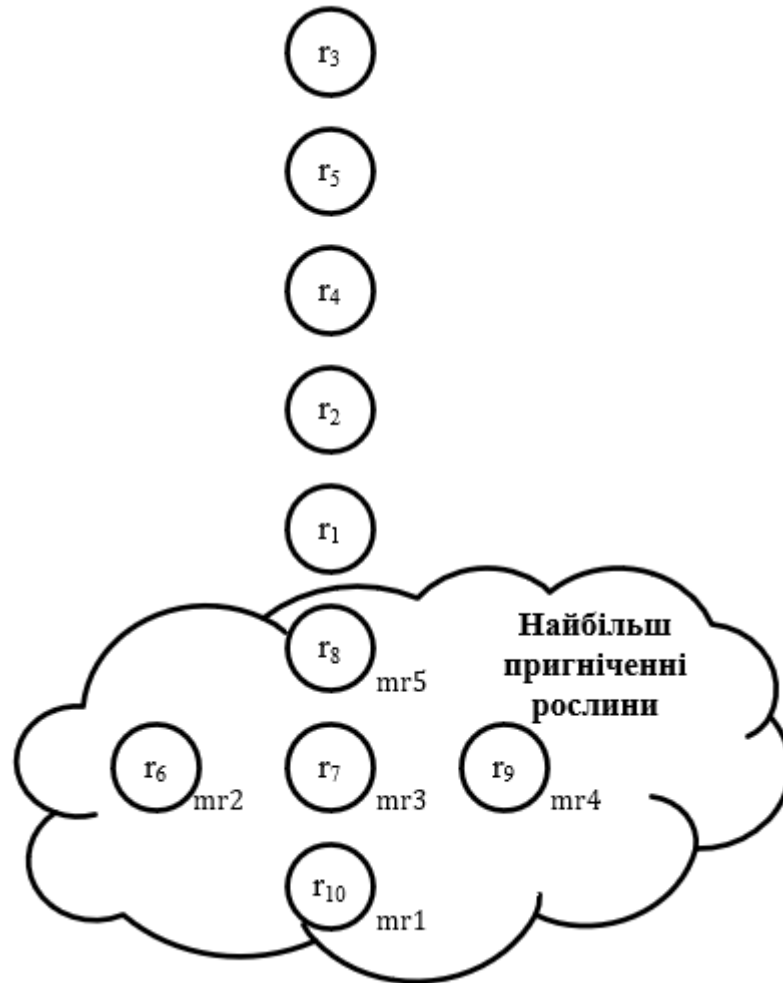


Рис. 3. Рангова модель ступеня пригніченості множини рослин $R = \{r_1, r_2, \dots, r_{10}\}$.

В якості множини модельних рослин $MR = \{mr_1, mr_2, mr_3, mr_4, mr_5\}$ були обрані найбільш схильні до впливу рослини, які відносяться до трьох нижніх рівнів рангової моделі:

- mr1 (r_{10}) – *Plantago indica* L.2
- mr2 (r_6) – *Medicago romanica* Prod.
- mr3 (r_7) – *Oenothera biennis* L.
- mr4 (r_9) – *Falcaria vulgaris* L.1
- mr5 (r_8) – *Echium vulgare* L.

Де mr1 співвідноситься з рослиною r_{10} , mr2 - з рослиною r_6 , mr3 - з рослиною r_7 , mr4 - з рослиною r_9 , mr5 - з рослиною r_8 . Рівень порушень цих рослин далі розглядатиметься як інтегральний рівень всієї території, що обстежується.

Етап 2. Вибір критеріїв візуального оцінювання модельних рослин та процедура розрахунку їх важливості.

Можливо виділити три категорії критеріїв візуального оцінювання впливу ГЗК на трав'янисті рослини [14], які можна застосовувати до всіх модельних видів рослин.

1. Колірні характеристики.

Зміна кольору листя: оцінка зміни кольору листя із звичайного зеленого до жовтого, коричневого або іншого нетипового відтінку, що може свідчити про стрес чи патологію.

Поява плям: спостереження за появою плям різних форм та кольорів на листі, стеблах або інших частинах рослин, що може вказувати на інфекцію чи дефіцит поживних речовин.

Зміна забарвлення квіток: оцінка змін у кольорі або їх формі, що може вказувати на порушення у процесах цвітіння та запилення.

2. Фізичні характеристики.

Деформація листя та стебел: спостереження за деформацією листя та стебел, таких як скручування, складання, зморщування або викривлення, що може бути результатом фізичного чи хімічного впливу на рослини.

Зменшення розміру листя: вимір розмірів листя та визначення наявності зменшення розмірів, що може свідчити про порушення в поживному середовищі або фізіологічні процеси зростання.

Зниження вологості листя: оцінка ступеня сухості або в'янення листя, що може бути пов'язане з дефіцитом води або іншими стресовими умовами.

3. Розмірні характеристики.

Зменшення загального розміру рослин: вимірювання висоти, ширини або об'єму рослин та визначення зменшення розмірів, що може бути наслідком фізіологічного пригнічення.

Зменшення кількості листя чи квіток: оцінка кількості листя, квіток чи інших репродуктивних структур на рослинах, що може вказувати на порушення у процесах розвитку чи росту.

Розглянуті категорії дозволять систематизувати візуальне оцінювання фізіологічного пригнічення трав'янистих рослин та забезпечити більш точну та об'єктивну оцінку їхнього стану.

В якості демонстраційного прикладу поточного етапу методики для візуального оцінювання були обрані критерії, що характеризують розмірні характеристики, а саме: висота рослини (К_вис); займана площа (К_площ); кількість рослин (К_кіл).

Процедуру розрахунку їх важливості з боку оцінювання негативного впливу ГЗК пропонується виконувати на базі ієрархічна моделі, яка наведена на рис. 4.



Рис. 4. Ієрархічна модель оцінювання пригніченості модельних рослин (середовище Super Decision).

Згідно теорії МАІ, процедура розрахунку важливості критеріїв візуального оцінювання (кластер 2, рис. 4) реалізується шляхом опитування експерта та побудови відповідної матриці парних порівнянь.

Результат опитування (в балах) базується на наступних можливих відповідях:

1 бал – критерії мають однакову важливість з боку оцінювання пригніченості одної рослини над іншою;

3 бали – помірна перевага важливості одного критерія над іншим;

5 балів – суттєва перевага важливості одного критерія над іншим;

7 балів – значна перевага важливості одного критерія над іншим;

9 балів – дуже сильна перевага важливості одного критерія над іншим;

2, 4, 6, 8 балів – відповідні проміжні значення.

Наприклад, якщо експерту ставиться питання типу: визначте за 9-бальною шкалою, який із порівнюваної пари критеріїв – висота рослини (К_вис) або займана площа (К_площ) є більш важливим для визначення впливу ГЗК на модельні рослини, то в разі однакової важливості в відповідну клітину матриці записується одиниця.

На рис. 5 надано дві можливі форми заповнення матриці парних порівнянь критеріїв візуального оцінювання пригніченості модельних рослин.

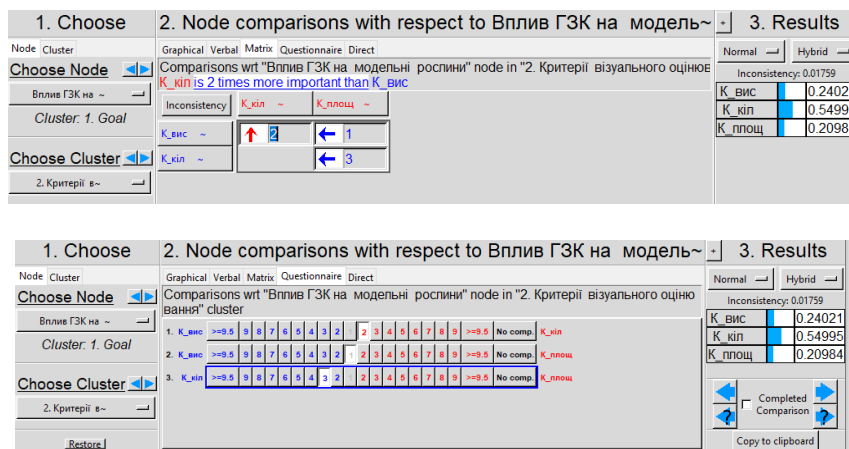


Рис. 5. Дві можливі форми заповнення матриці парних порівнянь критеріїв візуального оцінювання поточного стану модельних рослин (середовище Super Decision).

Розрахунок відповідних показників важливості критеріїв ($K_{\text{вис}} = 0,24021$; $K_{\text{кіл}} = 0.54995$; $K_{\text{площ}} = 0,20984$) та показник розбіжності відповідей експерта (0,01759) виконувався по відомим формулам [10], які інтегровані в середовище Super Decision.

Етап 3. Розрахунок рівня пригніченості модельних рослин.

Варіант1 (на базі абсолютного оцінювання).

Процес абсолютного оцінювання поточного стану модельних рослин базується на наступних можливих відповідях експерта:

1 бал – пригніченість рослини відсутня;

3 бали – помірна пригніченість рослини;

5 балів – суттєва пригніченість рослини;

7 балів – значна пригніченість рослини;

9 балів – дуже сильна пригніченість рослини;

2, 4, 6, 8 балів – відповідні проміжні значення.

Оцінювання здійснювалось відносно кожного з трьох критеріїв: $k_1 = K_{\text{вис}} = 0,24021$; $k_2 = K_{\text{кіл}} = 0.54995$; $k_3 = K_{\text{площ}} = 0,20984$.

В таблиці 7 наведено експертні польові абсолютні оцінки $V_{s,i}^{abs}$ пригніченості s-ой модельної рослин ($s = 1,2,\dots,5$) відносно i-го критерія k_i ($i = 1,2,3$).

Таблиця 7. Абсолютні польові оцінки рівня пригніченості модельних рослин

Модельні рослини (mrS)	$V_{s,i}^{abs}$ (бали)		
	Критерії оцінювання		
	k ₁	k ₂	K ₃
mr1	4	2	1
mr2	1	1	5
mr3	2	2	2
mr4	2	4	1
mr5	1	1	1

В таблиці 8 надано результати розрахунку загального негативного впливу ГЗК на всі модельні рослини проммайданчика згідно першого варіанту методики (див. рис.1).

Таблиця 8. Рівні пригніченості модельних рослин на базі абсолютних польових оцінок

Модельні рослини (mrS)	Зважена оцінка пригніченості s-ой модельної рослини згідно k _i -му критерію			Загальна абсолютна пригніченість s-ой модельної рослини за трьома критеріями (бали)	Нормована відносно всього проммайданчика пригніченість mrS -ой модельної рослини
	k ₁	k ₂	K ₃		
mr1	0,96084	1,0999	0,20984	2,27058	0,050457333
mr2	0,24021	0,54995	1,0492	1,83936	0,040874667
mr3	0,48042	1,0999	0,41968	2	0,044444444
mr4	0,48042	2,1998	0,20984	2,89006	0,064223556
mr5	0,24021	0,54995	0,20984	1	0,022222222
Загальний негативний вплив ГЗК на всі модельні рослини проммайданчика					0,222222222

Розрахунок виконано на базі наступних формул:

$$V_{s,i}^{звaж} = k_i^{звaж} * V_{s,i}^{abs}, \quad (1)$$

де:

$V_{s,i}^{звaж}$ – зважена оцінка пригніченості s-ой модельної рослини згідно і-му критерію (s = 1,2,..5; s = 1,2,3);

$k_i^{звaж}$ – зважений і-й критерій оцінки пригніченості модельних рослин.

$$V_s^{abs} = \sum_{i=1}^3 V_{s,i}^{звaж}$$

– загальна абсолютна пригніченість s-ой модельної рослини за трьома критеріями.

$$V_s = \frac{V_s^{abs}}{V_s^{max}}, \quad (2)$$

де:

V_s – загальна зважена пригніченість s-ой модельної рослини за трьома критеріями;

V_s^{abs} – нормований відносно всього проммайданчика рівень пригніченість s-ой модельної рослини;

$V_s^{max} = 9 * (k_1 + k_2 + k_3)$ – максимальна-можлива абсолютна пригніченість однієї модельної рослини за трьома критеріями ($k_1 + k_2 + k_3 = 1$).

$$V_{Пром}^{Var-1} = \frac{\sum_{s=1}^5 V_s}{5 * V_s^{max}}, \quad (3)$$

де:

$V_{Пром}^{Var-1}$

– загальний негативний вплив ГЗК на всі модельні рослини проммайданчика, згідно першого варіанту розрахунку (див. рис.1).

З таблиці 8 витікає, що найбільш пригніченою (6,4%) від негативного впливу ГЗК модельною рослиною є mr4 (r₉) – *Falcaria vulgaris* L.1, а загальний негативний вплив на трав'янисту рослинність всього проммайданчика становить 22,2%.

Варіант2 (на базі попарного оцінювання).

Згідно теорії МАІ, процес попарного оцінювання рівня пригніченості модельних рослин (кластер 3, рис. 4) базується на наступних можливих відповідях експерта:

1 бал – однакові пригніченості рослин;

3 бали – помірна перевага пригніченості одної рослини над іншою;

5 балів – суттєва перевага пригніченості одної рослини над іншою;

7 балів – значна перевага пригніченості одної рослини над іншою;

9 балів – дуже сильна перевага пригніченості одної рослини над іншою;

2, 4, 6, 8 балів – відповідні проміжні значення.

Попарне оцінювання модельних рослин здійснювалось відносно кожного з трьох критеріїв.

На рис. 6 наведено результат оцінювання рівня пригнічення (в балах) відповідних пар модельних рослин відносно критерія К_вис (k_1).

2. Node comparisons with respect to К_вис					3. Results	
Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct					Normal Hybrid	
Comparisons wrt "К_вис" node in "3. Alternatives Модельні рослини" cluster					Inconsistency: 0.04464	
Inconsistency	mr2 ~	mr3 ~	mr4 ~	mr5 ~	mr1	0.38339
mr1 ~	← 2	← 3	← 2	← 4	mr2	0.12350
mr2 ~		↑ 3.0000	↑ 2	← 2	mr3	0.22072
mr3 ~			← 1	← 3	mr4	0.19422
mr4 ~				← 2	mr5	0.07816

Рис. 6. Результат оцінювання (в балах) рівня пригнічення відповідних пар модельних рослин відносно критерія К_вис (середовище Super Decision).

Матриця заповнювалась експертом на підставі стандартних питань типу: висота якої з модельних рослин mr2– *Medicago romanica* Prod. або mr3 – *Oenothera biennis* L. має більше

відхилень від свого звичайного розміру? Якщо експерт вказує, що рослина mr3 має помірну перевагу пригніченості росту над рослиною mr2, то в відповідну клітину матриці записується 3 бали.

Розрахунок локальних показників рівня пригніченості модельних рослин та показник розбіжності відповідей експерта (0,0443) виконувався по відомим формулам [9], які інтегровані в середовище Super Decision. З рис. 6 витікає, що модельна рослина mr1 – *Plantago indica* L.2 має найбільший рівень пригніченості (0,38339) свого росту.

Аналогічним чином виконувались розрахунки локальних показників рівня пригніченості модельних рослин відносно критеріїв K_ площ та K_ кіл. Відповідні результати надано на рис. 7 та рис. 8.

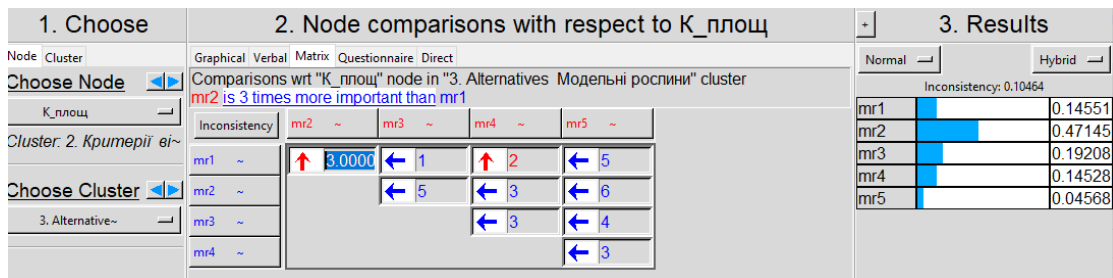


Рис. 7. Результат оцінювання (в балах) рівня пригнічення відповідних пар модельних рослин відносно критерія K_ площ (середовище Super Decision)

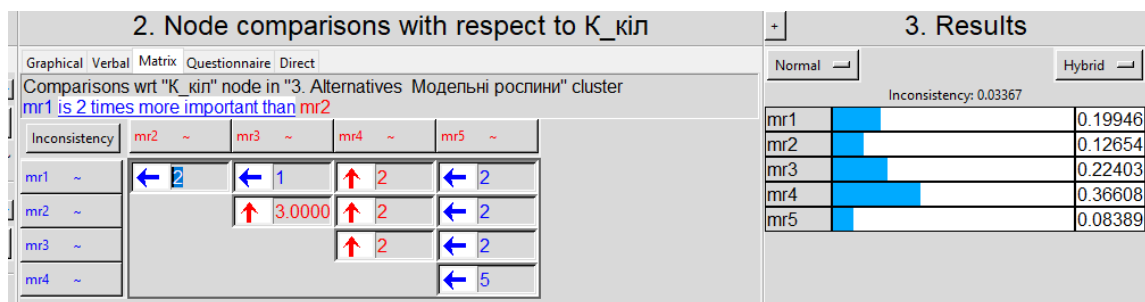


Рис. 8. Результат оцінювання (в балах) рівня пригнічення відповідних пар модельних рослин відносно критерія K_ кіл (середовище Super Decision).

Кінцевий результат моделювання у вигляді глобальних пріоритетів взаємного пригнічення модельних рослин відносно трьох критеріїв надано на рис. 9.

Name	Graphic	Ideals	Normals	Raw
mr1	<div style="width: 40%;"></div>	0.834301	0.232323	0.116162
mr2	<div style="width: 30%;"></div>	0.711713	0.198187	0.099093
mr3	<div style="width: 45%;"></div>	0.777581	0.216528	0.108264
mr4	<div style="width: 100%;"></div>	1.000000	0.278464	0.139232
mr5	<div style="width: 10%;"></div>	0.267531	0.074498	0.037249

Рис. 9. Глобальні відносно трьох критеріїв k₁ (K_ вис), k₂ (K_ кіл), k₃ (K_ площ) пріоритети взаємного пригнічення модельних рослин.

Таким чином, найбільш схильним до негативного впливу ГЗК є рослина mr4 (*Falcaria vulgaris* L.), а найменшим – рослина mr5 (*Echium vulgare* L.).

Отримані результати являють вагові коефіцієнти (μ_s) рівня пригніченості модельних рослин відносно один одного, але вони не дають інформацію відносно абсолютного пригнічення модельних рослин на всієї площі проммайданчика.

Для перетворення вагових коефіцієнтів μ_s в абсолютні значення (V_s) пропонується застосовувати абсолютну оцінку рівня пригнічення однієї з модельних рослин, яка надалі буде грати роль опорної величини ($mr_{\text{опор}}$). В якості $mr_{\text{опор}}$ доцільно вибирати модельну рослину, що має найбільший коефіцієнт пригнічення, тобто $V_s^{\max} = \mu_s^{\max}$, звідси коефіцієнт перетворення ($K_{\text{перет}}$) дорівнює:

$$K_{\text{перет}} = \frac{V_s^{\max}}{\mu_s^{\max}} \quad (4)$$

З урахуванням коефіцієнта перетворення (4), обчислення негативного впливу ГЗК на кожну модельну рослину ($V_s^{\text{Вар-2}}$), а також на всю промплощадку ($V_{\text{Пром}}^{\text{Вар-2}}$) здійснюється по формулам (5) та (6).

$$V_s^{\text{Вар-2}} = \mu_s * K_{\text{перет}} \quad (5)$$

$$V_{\text{Пром}}^{\text{Вар-2}} = \sum_{s=1}^5 V_s^{\text{Вар-2}} \quad (6)$$

В таблиці 9 наведено порівняльні результати розрахунків згідно першого та другого варіанту методики що пропонується (див. рис.1).

Таблиця 9. Результат порівняльних розрахунків негативного впливу ГЗК на модельні трав'янисті рослини промплощадки.

Модельні рослини (mrS)	Рівень пригніченість s-ой модельної рослини			
	Варіант 1	Варіант 2		
	V_s	μ_s	$K_{\text{перет}}$	$V_s^{\text{Вар-2}}$
1	2	3	4	5
mr1	0,050457333	0,232323	0,230635041	0,053581825
mr2	0,040874667	0,198187		0,045708867
mr3	0,044444444	0,216528		0,049938944
mr4	0,064223556	0,278464		0,064223556
mr5	0,022222222	0,074498		0,017181849
$V_{\text{Пром}}^{\text{Вар-1}}$	0,222222222	1		
			$V_{\text{Пром}}^{\text{Вар-2}}$	0,230635041

З таблиці слід, що негативний вплив ГЗК на трав'яну рослинність проммайданчика згідно першого варіанту методики дорівнює 22,22 %, а другого варіанту – 23,06 %. Тобто обидва

варіанта дають приблизно однакові результати, але другий варіант слід розглядати як більш достовірний і менш залежний від суб'єктивізму експерта.

7. Перспективи подальшого розвитку досліджень

Подальший розвиток дослідження може продовжуватися шляхом збільшення кількості критеріїв оцінювання негативного впливу промислового підприємства (кластер 2, рис.4) з урахуванням можливих зворотних зв'язків між критеріями, тобто переходом від ієрархічної моделі до її холархічного варіанту, що більшою мірою відповідає предметній галузі дослідження. Також становить практичний інтерес оцінка значень компонентів ієрархічної моделі за допомогою групи нечітких чисел, які є функціями приналежності різних термів [15], що дозволяє розширити діапазон прийняття рішень.

8. Висновки

Запропоновано покрокову процедуру побудови рангової моделі ступеня впливу промислового підприємства на трав'янисті рослини, що дозволяє обґрунтувати вибір модельних рослин для подальшого моніторингу.

Розглянуто типові критерії оцінювання рівнів поточного стану трав'янистих рослин та надано ієрархічну модель для визначення вагових коефіцієнтів трьох критеріїв оцінювання: висота рослини; займана площа, кількість рослин.

Наведено формули та приклади їх використання для абсолютного та відносного оцінювання ступеня впливу ГЗК як окремих модельних трав'янистих рослин, так і всієї території, що обстежується.

Список літератури:

- 1) Sonter, Laura J.; Dade, Marie C.; Watson, James E. M.; Valenta, Rick K. (2020). Renewable energy production will exacerbate mining threats to biodiversity. *Nature Communications* (англ.). 11 (1): 4174. Bibcode:2020 NatCo..11.4174S. doi:10.1038/s41467-020-17928-5. ISSN 2041-1723. PMC 7463236. PMID 32873789.
- 2) Wolski, K., Markowska, J., Radkowski, A. et al. (2021) The influence of the grass mixture composition on the quality and suitability for football pitches. *Sci Rep* 11, 20592. doi://doi.org/10.1038/s41598-021-99859-9
- 3) Bocianowski J, Kozak M, Liersch A, Bartkowiak-Broda I.(2011) A heuristic method of searching for interesting markers in terms of quantitative traits. *Euphytica*. ;181:89–100. doi: 10.1007/s10681-011-0424-z.
- 4) Kosrea B, Sarezeanu V., Horblaga M. (2012) Evolution of lawn grass quality indicators from queen Maria park from Timisoara, Romania. *Research Journal of Agricultural Science*, 44 (4). doi: https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20133395329
- 5) Kevin N. Morris, (2022) A Guide to NTEP Turfgrass Ratings. doi: https://www.google.com/search?q=NTEP%20turfgrass%20evaluation%20guidelines.
- 6) Alexandra D., Korakaki. E, Evangelia V., Boutsios.S, Oikonomidis. S, Daskalakou.E (2023). Assessment of Herbaceous Plant Composition, Diversity, and Indicator Species in the Juniperus drupacea Forest Openings of the Mountain Parnonas in Greece. doi: https://www.mdpi.com/2071-1050/15/18/13765/
- 7) Lykholat Y., Khromykh N., Ivan'ko I., Matyukha V., Kravets S., Didur O., Alexey A., Shupranova V. (2017) Assessment and prediction of the invasiveness of some alien plants in conditions of climate change in the steppe Dnieper region. *Biosyst. Divers.*, 25(1), 52–59. doi: https://ecology.dp.ua/index.php/ECO/article/view/011708/691
- 8) Saaty, T., (2008). Prinjatje reshenij pri zavisimostjah i obratnyh svjazjah: Analiticheskie seti.

- 9) Saaty, T. (1993). Decision Making: Hierarchy Analysis Method, available at: <http://pqm-online.com/assets/files/lib/books/saaty.pdf>.
- 10) Saaty, Th., Super Decisions CDF, available at: <https://www.superdecisions.com/models>.
- 11) Franks, DM, Boger, DV, Cote, CM, Mulligan (2011). Принципи сталого розвитку щодо утилізації відходів гірничої промисловості та переробки корисних копалин. Sustainable Development Principles for the Disposal of Mining and Mineral Processing Wastes. Resources Policy. 36 (2): 114—122. doi:10.1016/j.resourpol.2010.12.001.
- 12) Mummey, Daniel L.; Stahl, Peter D.; Buyer, Jeffrey S. (2002). Мікробіологічні властивості ґрунту через 20 років після рекультивациі шахт: просторовий аналіз рекультивованих і непорушених ділянок. Soil microbiological properties 20 years after surface mine reclamation: spatial analysis of reclaimed and undisturbed sites. Soil Biology and Biochemistry. 34 (11): 1717—1725. doi:10.1016/s0038-0717(02)00158-x.
- 13) Браткевич В. В. (2016). Оценка качества систем поддержки E-learning, Системи обробки інформації. Проблеми і перспективи розвитку ІТ-індустрії. Випуск 4(141). Харків-2016, с. 219-222.
- 14) Зелена книга України / Під загальн. ред. Я.П. Дідуха. Київ: Альтерпрес, 2009. 448 с.
- 15) Зак Ю.А. (2013) Принятие решений в условиях нечетких и размытых данных: Fuzzy-технологии. — М.: «ЛИБРОКОМ»,— 352 с. — ISBN 978-5-397-03451-7.

The method of visual assessment of the impact of industrial enterprises on herbaceous plants

Olena Dmytrieva

Laboratory of ecologically safe nature use, means and methods of environmental monitoring, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems (UkrNDIEP), Kharkiv, Ukraine
ORCID-0000-0002-7494-0674

Natalya Tsapko

Laboratory of ecological and toxicological studies of anthropogenic impact on environmental components and regulation of ecologically safe nature use, Ukrainian Scientific Research Institute of Environmental Problems (UkrNDIEP), Kharkiv, Ukraine
ORCID 0000-0003-2480-3636

Iryna Drulyova

Laboratory of ecologically safe nature use, means and methods of environmental monitoring, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems (UkrNDIEP), Kharkiv, Ukraine
ORCID-0000-0002-5885-4557

Iryna Koldoba

Laboratory of ecologically safe nature use, means and methods of environmental monitoring, Ukrainian Research Institute of Environmental Problems (UkrNDIEP), Kharkiv, Ukraine
ORCID 0000-0001-9334-6219

Vyacheslav Bratkevich

Department of computer systems and technologies
Semyon Kuznets Kharkiv National University of Economics, Kharkiv, Ukraine
ORCID: 0000-0002-7217-7767

Abstract: Methods of visual biological monitoring in combination with methods of mathematical data processing give the greatest effect if they are applied at the first stages of observations, which allows to optimize labor costs and the amount of information obtained during

field observations. The error of visual assessment depends significantly on the expert's qualifications, therefore research devoted to the development of a methodology that allows reducing the subjectivity of the expert's decisions is relevant. The basis of the proposed methodology is the method of analysis of hierarchies, which allows for a pairwise comparison of herbaceous plants, which, unlike an absolute comparison, is less dependent on the expert's qualifications. A step-by-step procedure for building a rank model of the degree of influence of an industrial enterprise on herbaceous plants is proposed, which allows justifying the choice of model plants for further monitoring. Typical criteria for assessing the levels of the state of herbaceous plants are considered and a hierarchical model is provided for determining the weighting coefficients of three criteria: plant height; occupied area, number of plants. The model has 3 levels and a cluster structure: the goal cluster; cluster of criteria; cluster of alternatives. The cluster of alternatives contains 5 model plants. To select model plants from the total set of plants on the monitoring area, a procedure is proposed that allows the initial set to be divided into levels, each of which contains a subset that characterizes the degree of current influence of the industrial enterprise. The results of the calculation of local priorities of the condition of model plants with respect to each of the three criteria, as well as the corresponding global priorities, are given. Consider the formulas and examples of their use for the absolute and relative assessment of the degree of influence of the industrial enterprise both on individual model herbivores of the plant and on the entire surveyed territory.

Key words: industrial site, influence of industrial enterprise, herbaceous plants, model plants, method of analysis of hierarchies, absolute assessment, relative assessment.
