

УДК 528.94

**І.М. ШКВИР**

## **ОЦІНЮВАННЯ ФАКТОРІВ РОЗВИТКУ ВОДНОЇ ЕРОЗІЇ МЕТОДОМ АНАЛІЗУ ІЄРАРХІЙ**

***Анотація.** У статті розглянуто використання методу аналізу ієрархій для оцінювання впливу різних факторів на утворення водної ерозії. Було визначено ваги всіх факторів та виділено основні, які мають найбільший вплив на утворення водної ерозії. Також для оцінювання точності розрахунків було визначено індекс узгодженості та відношення узгодженості.*

***Ключові слова:** багатокритеріальний аналіз, фактори, ваги, метод аналізу ієрархій.*

### **Вступ**

Необґрунтоване використання земельних ресурсів призводить до їх деградації. Погіршення спричиняється дією багатьох факторів, які, у свою чергу, мають великий спектр значень, додайте це в динамічне середовище і людську діяльність – отримаємо надзвичайно складну і динамічну систему. Для раціонального управління цією системою необхідно розробити інструменти підтримки прийняття рішень, оскільки людина не в змозі оцінити весь діапазон факторів та їх взаємодію. На сучасному етапі розвитку технологій доцільно використовувати геоінформаційні технології.

### **Постановка проблеми**

Задачі з підтримки прийняття рішень при управлінні земельними ресурсами є багатокритеріальними. З використанням геоінформаційних технологій ми можемо оцінити вплив різних факторів на утворення ерозійних процесів. Однак без методів та інструментів підтримки прийняття рішень це буде неможливо. Однією з технічних проблем при моделюванні є побудова узагальненого сценарію розвитку негативних явищ та оцінювання впливу кожного фактора. Це завдання вирішується за типовою схемою:

1. Визначення загальної кількості факторів зовнішнього та внутрішнього впливу на розвиток водної ерозії;
2. Створення ієрархічної схеми структури факторів, цілей та впливів;
3. Розрахунок ваги кожного фактора та їх нормалізація.

Визначення факторів було здійснено в попередніх дослідженнях. Але розрахунок ваг цих факторів ще не було здійснено.

### **Аналіз попередніх досліджень**

Актуальні основи і стан створення моделей для визначення впливу водної ерозії на ґрунтах достатньо повно викладено і проаналізовано у працях М.В. Куценка [1], О.О. Світличного [2], О.Г. Тараріко [3], Г.І. Швєбса [4]. О.М. Швєць у своїх роботах розглядала використання методу аналізу

ієрархій для розроблення системи охорони земель від водної ерозії [5]. Ці праці є методологічно вагомими, але потребують подальшого розвитку та обґрунтування. Перед усім необхідно звернути увагу на недостатньо обґрунтований склад показників водної ерозії та критерії оцінювання стану ґрунтів.

## **Мета**

Метою дослідження є вдосконалення методичного забезпечення оцінювання стану земельних ресурсів при впливі на них водної ерозії шляхом розроблення ієрархії та формування узагальнюючих факторів з подальшим розрахунком ваги кожного.

## **Виклад основного матеріалу**

Розвиток водної ерозії ґрунтів спричинено дією різних факторів, зокрема ґрунтовими умовами, рельєфом та іншими. Постає питання, як оцінити фактори, щоб визначити їх загальний вплив на утворення водної ерозії. Для вирішення цієї задачі необхідно використовувати багатокритеріальний аналіз. Першим кроком є оцінювання ваги кожного фактора.

Зазвичай при багатокритеріальному аналізі враховують фактори однієї «природи». При завданні оцінювання розвитку деградаційних процесів фактори можна розділити на: природні відносно сталі (ґрунти, рельєф), природні динамічні (кількість опадів) та антропогенні (обробіток ґрунту). Крім того, при визначенні ваги факторів, їх необхідно оцінити через призму екологічного, економічного та соціального ефекту.

Через велику розрізненість факторів досить важко зробити шкалу оцінювання ваги в наборі в цілому. Розв'язання цієї проблеми знайдено у попарних порівняннях, в яких порівнюються тільки два критерії за один раз, що значно полегшує процес зіставлення факторів і зробить ваги більш стійкими. Крім того, використовуючи попарні порівняння, ми можемо порівняти фактори, які зазвичай не піддаються ефективній кількісній оцінці. Мова йде про характеристики, які змінюються не тільки в просторі і часі, а й змінюють своє значення в сукупності з іншими факторами, що набагато важливіше. Це дозволяє оцінити вплив різних компонентів системи на всю систему та знаходити пріоритети цих компонентів. Цю методику розробив Т. Сааті, і вона відома як метод аналізу ієрархій (МАІ).

Для розв'язання поставленої задачі розроблено ієрархічну модель впливу факторів прояву розвитку ерозійних процесів, схема якої подана на малюнку 1. Було проаналізовано широкий набір показників ґрунтових, кліматичних, ландшафтних та антропогенних показників, які відображають особливості розвитку водної ерозії.

При розробці ієрархії виконується декомпозиція цільової функції на більш прості показники, що об'єднуються у відповідні рівні ієрархічної схеми. Для формалізації експертної процедури будується множина матриць попарних порівнянь для кожного рівня та за кожною складовою даного ієрархічного рівня. Здійснюється їх нормалізація та оцінка векторів пріоритетів з точки зору ступеня їх впливу на складові попереднього рівня. Оброблення матриць дає можливість розрахувати вектори пріоритетів відповідних рівнянь, компоненти яких визначають їхні пріоритети з точки зору експерта.

Значення оцінок дозволяють встановити перевагу того чи іншого альтернативного варіанта системи за всією сукупністю проаналізованих факторів.



Мал. 1. – Схема ієрархічної моделі впливу факторів на розвиток ерозійних процесів

Для прикладу розглянемо матрицю визначення ваги причин утворення водної ерозії (табл. 1). Так, швидкість потоку води буде мати більшу вагу перед об'ємом води. Через це елементу, який знаходиться на перетині рядка 3 та стовпця 1, присвоєно значення 3. Після визначення значень коефіцієнтів залежності факторів знаходимо особистий вектор, шляхом розрахунку кореня в степені n від суми всіх елементів рядка (де n – кількість значень матриці). Отриманий результат нормалізується, щоб сума всіх елементів дорівнювала одиниці.

Таблиця 1 – Визначення ваги причин утворення водної ерозії

	Об'єм потоку	Розподіл води по поверхні	Швидкість потоку	Енергія часточки ґрунту	Особистий вектор
Об'єм потоку	1	3	1/3	5	0,27
Розподіл води по поверхні	1/3	1	1/5	3	0,12
Швидкість потоку	3	5	1	5	0,54
Енергія часточки ґрунту	1/5	1/3	1/5	1	0,07
	$\lambda_{\max}=4,26$		$IY=0,09$		$BY=0,10$

Для зменшення обсягу статті ми не будемо давати повний обсяг розрахунків, а тільки наведемо їх результати. Наступним кроком було порівняння груп факторів на рівні III відносно ступеня впливу на причини деградації рівня II (табл. 2).

Таблиця 2 – Визначення груп факторів, що мають найбільший вплив на причини деградації

		об'єм потоку	розподіл води по поверхні	швидкість потоку	енергія часточки ґрунту
Особистий вектор	Умови рельєфу	0,30	0,50	0,50	0,43
	Ґрунтові умови	0,15	0,07	0,15	0,15
	Кліматичні умови	0,46	0,03	0,03	0,04
	Рослинний покрив	0,03	0,12	0,23	0,28
	Господарське використання земель	0,06	0,28	0,09	0,10
Оцінювання узгодженості	$\lambda_{\max}$	5,41	5,41	5,43	5,46
	Індекс узгодженості	0,10	0,10	0,10	0,11
	Відношення узгодженості	0,09	0,09	0,09	0,10

Далі визначаємо вплив факторів кожної з п'яти груп, попарно порівнюючи їх між собою. У результаті отримуємо власні вектори кожного фактора (табл. 3).

Таблиця 3 – Визначення особистих векторів факторів, що мають більший вплив на утворення водної ерозії

	Фактор		Особистий вектор
для умов рельєфу	Крутизна схилів		0,44
	Довжина схилів		0,09
	Експозиція схилів		0,04
	Глибина місцевого базису ерозії		0,02
	Площа водозборів		0,14
	Тип водозбору		0,27
	$VU=0,08$		$IU=0,10$
для ґрунтових умов	Потужність гумусового горизонту		0,32
	Вміст карбонатів		0,06
	Структурованість ґрунту		0,06
	Гранулометричний склад		0,32
	Водопроникність		0,09
	Щільність ґрунту		0,10
	Шорсткість поверхні		0,05
	$VU=0,10$		$IU=0,14$
для кліматичних умов	Інтенсивність опадів		0,67
	Тривалість опадів		0,27
	Розмір крапель		0,06
	$VU=0,00$		$IU=0,00$
для роз-линного покриву	Захист від рослин		0,83
	Низька врожайність		0,17
	$VU=0,03$		$IU=0,02$
для госпо-дарського використання земель	Технології обробітку ґрунту		0,40
	Протиерозійні споруди		0,40
	Використання спецтехніки		0,20
	$VU=0,00$		$IU=0,00$

Наступним етапом є розрахунок ступеня впливу груп факторів відносно причин деградації ґрунтів. Він визначається як добуток матриці власних векторів груп факторів рівня III на власний вектор, який був отриманий для рівня II.

$$\begin{bmatrix} 0,30 & 0,50 & 0,50 & 0,43 \\ 0,15 & 0,07 & 0,15 & 0,15 \\ 0,46 & 0,03 & 0,03 & 0,04 \\ 0,03 & 0,12 & 0,23 & 0,28 \\ 0,06 & 0,28 & 0,09 & 0,10 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 0,27 \\ 0,12 \\ 0,54 \\ 0,07 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,44 \\ 0,14 \\ 0,15 \\ 0,17 \\ 0,11 \end{bmatrix}$$

Знайдемо найбільш вагомі фактори утворення ерозії. Для цього необхідно перемножити особисті вектори факторів на ступінь впливу груп факторів.

Для умов рельєфу

$$0,44 \times \begin{bmatrix} 0,43 \\ 0,09 \\ 0,04 \\ 0,02 \\ 0,14 \\ 0,27 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,18 \\ 0,04 \\ 0,02 \\ 0,01 \\ 0,06 \\ 0,12 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Крутизна схилів} \\ \text{Довжина схилів} \\ \text{Експозиція схилів} \\ \text{Глибина місцевого базису ерозії} \\ \text{Площа водозборів} \\ \text{Тип водозбору} \end{matrix}$$

Для ґрунтових умов

$$0,14 \times \begin{bmatrix} 0,32 \\ 0,06 \\ 0,06 \\ 0,32 \\ 0,09 \\ 0,10 \\ 0,05 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,05 \\ 0,01 \\ 0,01 \\ 0,05 \\ 0,01 \\ 0,01 \\ 0,01 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Потужність гумусового горизонту} \\ \text{Вміст карбонатів} \\ \text{Структурованість ґрунту} \\ \text{Гранулометричний склад} \\ \text{Водопронкність} \\ \text{Щільність ґрунту} \\ \text{Шорсткість поверхні} \end{matrix}$$

Для кліматичних умов

$$0,15 \times \begin{bmatrix} 0,67 \\ 0,27 \\ 0,06 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,10 \\ 0,04 \\ 0,01 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Інтенсивність опадів} \\ \text{Тривалість опадів} \\ \text{Розмір крапель} \end{matrix}$$

Для рослинного покриву

$$0,17 \times \begin{bmatrix} 0,83 \\ 0,17 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,14 \\ 0,03 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Захист від рослин} \\ \text{Низька врожайність} \end{matrix}$$

Для господарського використання земель

$$0,11 \times \begin{bmatrix} 0,40 \\ 0,40 \\ 0,20 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,04 \\ 0,04 \\ 0,02 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{Обробіток ґрунту} \\ \text{Протиерозійні споруди} \\ \text{Використання спец техніки} \end{matrix}$$

З розрахунків ми бачимо, що для умов рельєфу найбільший вплив має *крутизна схилів, площа водозбору та тип водозбору*, для ґрунтових умов – *потужність гумусового горизонту та механічний склад*, для кліматичних умов – *інтенсивність опадів*, для рослинного покриву – *захист ґрунтів від рослин*. Якщо взяти більшу кількість факторів, то вони дають такий самий результат і тільки збільшується об'єм розрахунків. Використовуючи ці вісім факторів та нормалізуючи їх ваги, отримаємо вектор ваги:

0,26	Крутизна схилів
0,09	Площа водозборів
0,17	Тип водозбору
0,07	Потужність гумусового горизонту
0,07	Механічний склад
0,14	Інтенсивність опадів
0,20	Захист від рослин

Достовірність отриманих розрахункових даних суттєво залежить від виконання умов узгодженості у матрицях порівнянь. Оцінку ступеня узгодженості вихідних даних здійснено шляхом розрахунку: головного власного значення ( $\lambda_{\max}$ ), індексу узгодженості (IU) і відношення узгодженості (BU) для кожної матриці. Результати обчислень за кожною з матриць попарних порівнянь менше припустимих за МАІ 10%, отже, дані дослідження математично узгоджені.

## Висновок

Розроблено ієрархічну модель впливу факторів на утворення та розвиток ерозійних процесів для оцінювання земель сільськогосподарського призначення. Це дослідження є базовим для багатокритеріального оцінювання водної ерозії шляхом формування комплексного критерію оцінки якісних показників ґрунтів. У дослідженні визначено вісім найвагоміших факторів, які впливають на утворення ерозії.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Куценко. М.В. Геоінформаційне забезпечення моделей ерозії ґрунтів / М.В. Куценко // Людина та довкілля. Проблеми неоекології. – 2012. – № 1–2. – С. 35–41.
2. Светличный А.А. Пространственное геоинформационное моделирование и прогноз водной эрозии почв / А.А. Светличный // Проблеми безперервної географічної освіти і картографії. – 2013. – Вип. 17. – С. 44–47.
3. Тараріко О.Г. Сучасна модель ґрунтозахисної системи землеробства з контурно-меліоративною системою землеробства / О.Г. Тараріко // Агрохімія і ґрунтознавство. Міжвідомчий тематичний науковий збірник (Спеціальний випуск до VII з'їзду УТГА, липень 2006, м. Київ). – Книга перша. – Харків. – 2006. – С. 130–135.
4. Швец Г.И. Теоретические основы эрозиоведения / Г.И. Швец. – Київ: Вища школа, 1981. – 222 с.
5. Швець О. Модель системи охорони сільськогосподарських земель від водної ерозії / О. Швець, О. Дмитрів, П. Черняга // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва. – 2011. – № 1. – С. 248–251.

*Стаття надійшла до редакції 05.10.2015*