

УДК 332.3:519.86

ОПТИМІЗАЦІЙНА МОДЕЛЬ ВРАХУВАННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ФІЗИКО-ГЕОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПРИ ФОРМУВАННІ ЗЕМЛЕКОРИСТУВАНЬ МІСТА

П. Черняга, Т. Бухальська, А. Люсак

Національний університет водного господарства та природокористування

Вступ

У процесі інтенсифікації використання земельних ресурсів спостерігається дисбаланс складових частин навколишнього природного середовища, що призводить до появи різноманітних небезпечних фізико – геологічних процесів. Особливу увагу варто звернути на територію міст, де земельні ресурси використовуються як просторовий базис, що, своєю чергою, визначає збільшення антропогенного навантаження. З появою і розвитком міст природні ландшафти значно змінюються, що спричиняє не тільки зміну зовнішнього вигляду, але й різноманітні небезпечні фізико-геологічні процеси та явища. Здійснюючи передпроектне оцінювання міських територій, а згодом і використовуючи земельні ресурси міста, нехтують багатьма факторами, що значно впливають на стійкість геологічного середовища. Недосконале комплексне оцінювання території перед початком будівництва та відсутність довгострокових прогнозів змін природних компонентів в часі під дією антропогенного навантаження часто призводять не тільки до виникнення несприятливих умов для функціонування міста, але й до прямих матеріальних збитків. Отже, сьогодні особливої актуальності набуває проблема детального аналізу причин виникнення, розвитку і активізації різноманітних небезпечних інженерно-фізико-геологічних процесів, особливо на території міст, тобто на сформованих землекористуваннях.

Для розв'язання поставленої задачі ми пропонуємо системний підхід з використанням методу аналізу ієрархій (МАІ). Місто як природно-антропогенне середовище є системою за своєю суттю. Тому логічним є застосування системного підходу, а також МАІ, який з успіхом використовується в інших галузях.

Аналіз останніх досліджень

Сьогодні відомі публікації щодо розроблення стратегій управління розвитком міста [7], антропогенного впливу на природне середовище міських та промислових екосистем [9, 10], інженерно-геологічної оцінки урбанізованих територій [6]. Особливо уважно розвиток небезпечних інженерно-геологічних процесів на території міст розглянуто в праці [4].

Системний підхід щодо створення оптимізаційних моделей на основі МАІ викладено в у [2, 5] як результати досліджень галузевої науково-дослідної лабораторії геодинаміки та геоінформатики Національного університету водного господарства та природокористування у м. Рівному. При виконанні даної роботи було використано результати досліджень авторів статті.

Постановка завдання

Щоб оцінити фактори, що спричиняють виникнення і розвиток небезпечних фізико – геологічних процесів, у роботі застосовано МАІ [8], який дає змогу моделювати слабкоструктуровані природно-антропогенні системи за умов невизначеності.

Методика досліджень

Для розв'язання поставленої задачі подамо територію міста та його природну та антропогенну складову у вигляді системи.

Вибір елементів в системі та підсистемах проводився з врахуванням впливу їх на розвиток небезпечних фізико – геологічних процесів у населених пунктах.

На першому етапі використання МАІ необхідно виконати структурування елементів підсистем за рівнями впливу на територію міста у вигляді ієрархії.

Ієрархія – це певний вид системи, яка створена за умови, що елементи системи можуть бути згруповані у незв’язні множини. Елементи кожної групи знаходяться під впливом елементів деякої визначеної групи i , своєю чергою, впливають на елементи іншої групи. Перевагою ієрархій є можливість спостерігати, як зміна пріоритетів на верхніх рівнях впливає на пріоритети елементів нижніх рівнів і навпаки [8].

Після представлення об’єкта оцінки у вигляді ієрархічної системи необхідно визначити пріоритети критеріїв, за допомогою яких згодом можна оцінити кожний з факторів. Необхідно нечіткій задачі надати строгої математичної форми.

Для визначення пріоритетів критеріїв та обчислення власних векторів використаємо схему ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях (рис. 1). Треба зазначити, що у цьому дослідженні ми створили апріорну модель території, можливу реально.

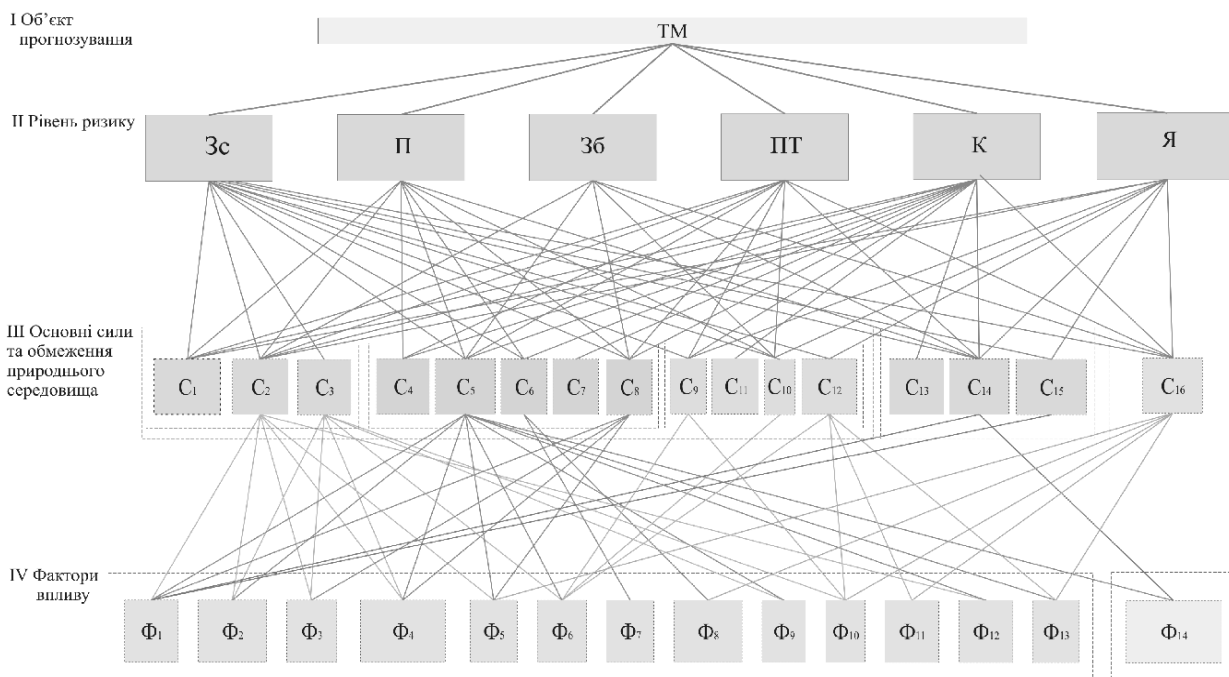


Рис. 1. Схема ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях

Нехай C_1, C_2, \dots, C_n є елементами третього рівня цієї ієрархії і нам необхідно визначити ваги $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_n$ впливу даних елементів на елементи другого рівня ієрархії, тобто визначити вплив елементів рівня n на рівень $n-1$.

Позначимо через a_{ij} кількісні судження про пару елементів третього рівня (C_i, C_j) відносного одного небезпечного фізико-геологічного процесу другого рівня.

При цьому, якщо $a_{ij} = \alpha$, то $a_{ji} = 1/\alpha$, $\alpha \neq 0$. Тобто матриця $A = (a_{ij})$, ($i, j = 1, 2, \dots, n$), a_{ij} – обернено симетрична.

Якщо при порівнянні елемента C_i з елементом C_j можна вважати, що вони мають однакову відносну важливість, то $a_{ij} = 1$, і $a_{ji} = 1$.

Для знаходження вектора пріоритетів матриці значень парних порівнянь A необхідно знайти вектор ω , який задовольняє умову

$$A\omega = \lambda_{\max} \omega, \quad (1)$$

де λ_{\max} – максимальне власне число матриці A [6].

Для встановлення відносної важливості елементів ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях використовується шкала відносної важливості. Ця шкала дає змогу експертам кількісно (a_{ij}) виразити судження про пару елементів, наприклад, третього рівня (C_i, C_j) одного небезпечного фізико-геологічного процесу відносно іншого рівня. Ця шкала має величини від 1 до 9.

Перший рівень ієрархії в нашій моделі – це територія міста (ТМ), на якій відбувається розвиток різноманітних небезпечних фізико-геологічних процесів та явищ. Значення пріоритету даного рівня дорівнює одиниці.

Другий рівень ієрархії має шість альтернатив: Зс – зсуви (обвали), П – просідання (провали), Зб – заболочення, ПТ – підтоплення території, К – карст (антропогенний карст), Я – яроутворення. Перелік цих процесів не є вичерпним, тому що увага акцентувалася саме на інженерно-геологічних процесах, які виникають внаслідок антропогенної діяльності.

За необхідності створену ієрархію можна доповнювати. Ієрархія є стійкою та гнучкою, і додавання нових елементів до добре структурованої ієрархії не зруйнує її характеристик. Пріоритети другого рівня можна одержати за допомогою матриць порівнянь відносно першого рівня.

Третім рівнем є основні сили та обмеження природного середовища, тобто природні фактори впливу на небезпечні фізико-геологічні процеси: С1 – характеристики геологічного розрізу, С2 – фізико-механічні властивості ґрунтів, С3 – стійкість ґрунтового масиву, С4 – вертикальна зональність ґрунтових вод, С5 – рівень ґрунтових вод та капілярного підняття, С6 – хімічний тип ґрунтових вод, С7 – тепловий режим ґрунтових вод, С8 – умови фільтрації, С9 – крутість схилу, С10 – форма схилу, С11 – експозиція схилу, С12 – еродованість території, С13 – хімічний склад поверхневих вод, С14 – режим поверхневого стоку, С15 – робота поверхневих вод (бокова, глибинна ерозія), С16 – характер ґрунтово-рослинного покриву.

Третій рівень відображає природну складову міста. На цьому рівні представлена інженерно-геологічна система з геологічною, гідрогеологічною та геоморфологічною підсистемами. До третього рівня ми віднесли також гідрологічну та геоботанічну системи. Всі вищеперелічені системи відображають основні сили та обмеження природного середовища в умовах виникнення, розвитку та активізації різноманітних небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях.

Пріоритети природних факторів відносно кожного небезпечного фізико-геологічного процесу верхнього рівня отримуємо з матриць парних порівнянь цих рівнів.

Четвертий рівень в даній ієрархії відображає антропогенні та метеорологічні фактори впливу на небезпечні фізико-геологічні процеси: Ф1 – регулювання стоку, захисні ГТС споруди, Ф2 – комунальне та промислове водо-, теплопостачання та водовідведення, Ф3 – транспорт (динамічне навантаження), Ф4 – міське та промислове виробництво (статичні та динамічні навантаження), Ф5 – благоустрій території, Ф6 – вертикальне планування території, Ф7 – розмір техносфери міста, Ф8 – промислова та транспортна інфраструктура (техногенний вплив), Ф9 – видобуток корисних копалин, Ф10 – розробка кар'єрів, Ф11 – обробка с/г земель (розорювання), Ф12 – зрошення, осушення суміжних с/г земель, Ф13 – знищення рослинного покриву, Ф14 – кількість атмосферних опадів з урахуванням втрат.

На четвертому рівні згруповано антропогенну і метеорологічну системи, тому що в цій моделі вони володіють властивостями основних факторів впливу на стан природного середовища. Ці фактори впливають на стабільність природного середовища, яке, своєю чергою, визначає розвиток небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях. Припустимо, що в цій ієрархії елементи кожного рівня незалежні, тобто існують зв'язки тільки між сусідніми рівнями від верхнього рівня до нижнього. При побудові ієрархії було враховано тільки прямі зв'язки. Наприклад, не тільки *вертикальне планування території* впливає на *крутість схилу*, але й *крутість схилу* впливає на *вертикальне планування*. Правильно побудована ієрархія буде переважно вдалою моделлю реальності, навіть якщо обернені зв'язки ігноруються [8].

Ця ієрархія є неповною, оскільки не від усіх елементів третього рівня існують зв'язки до елементів четвертого рівня. Між елементами третього рівня *характеристики геологічного розрізу*,

вертикальна зональність ґрунтових вод, експозиція схилу, тепловий режим ґрунтових вод, хімічний склад поверхневих вод та антропогенною і метеорологічною системами четвертого рівня не існує зв'язків. Елементи даних систем не впливають або незначно впливають на наведені природні характеристики (тепловий режим ґрунтових вод, хімічний склад поверхневих вод).

За характером зв'язків між критеріями та факторами створена ієрархія є ієрархією з різною кількістю і функціональним складом факторів за критеріями.

Пріоритети цих факторів відносно кожного природного фактора верхнього рівня отримуємо також з матриць парних порівнянь між цими рівнями.

На основі визначених власних векторів матриць парних порівнянь сформуємо матриці власних векторів для третього та четвертого рівнів. Вони відображають множину локальних пріоритетів системи небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях.

Власний вектор локальних пріоритетів для другого рівня та матриці власних векторів локальних пріоритетів для третього та четвертого рівнів наведено в табл. 1.

Локальні пріоритети передають відносний вплив множини елементів системи небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях, що знаходяться на нижчому рівні ієрархії, відносно кожного окремого елемента верхнього рівня ієрархії.

Для оцінки однорідності суджень експертів необхідно використати відхилення величини максимального власного числа λ_{max} від порядку матриці n .

Однорідність суджень оцінюється *індексом узгодженості* (IU)

$$IU = \frac{(\lambda_{max} - n)}{n - 1}. \quad (2)$$

Якщо $IU \leq 0.1$, можна вважати судження експертів задовільними.

Відношення індексу узгодженості до середнього значення (математичного очікування) індексу узгодженості випадково складеної матриці парних порівнянь A , що засновано на експериментальних даних, називається *відношенням узгодженості* (BV):

$$BV = \frac{IU}{VPU}. \quad (3)$$

$BV \leq 0.10$ вважається задовільним. Якщо для матриці парних порівнянь відношення узгодженості $BV > 0.10$, то це може свідчити про істотне порушення логічності у судженнях експертів при заповненні матриць. Тоді необхідно переглянути отримані оцінки, якщо необхідно, зібрати повніші дані про проблему для покращання узгодженості матриць [3].

Таблиця 1

Власний вектор локальних пріоритетів для другого рівня

<i>П</i>	<i>ТМ</i>
<i>Зс</i>	0.15
<i>П</i>	0.29
<i>Зб</i>	0.15
<i>ПТ</i>	0.29
<i>К</i>	0.05
<i>Я</i>	0.07

Таблиця 2

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для третього рівня

<i>Ш</i>	<i>Зс</i>	<i>П</i>	<i>Зб</i>	<i>ПТ</i>	<i>К</i>	<i>Я</i>
<i>C₁</i>	0.08	0.17	0.00	0.11	0.24	0.09
<i>C₂</i>	0.20	0.32	0.06	0.16	0.09	0.09
<i>C₃</i>	0.30	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
<i>C₄</i>	0.00	0.03	0.00	0.03	0.02	0.00
<i>C₅</i>	0.11	0.17	0.36	0.30	0.09	0.00
<i>C₆</i>	0.02	0.03	0.00	0.00	0.14	0.00
<i>C₇</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
<i>C₈</i>	0.05	0.11	0.11	0.16	0.14	0.00
<i>C₉</i>	0.04	0.00	0.00	0.05	0.09	0.15
<i>C₁₀</i>	0.04	0.11	0.18	0.05	0.00	0.06
<i>C₁₁</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00
<i>C₁₂</i>	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
<i>C₁₃</i>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00
<i>C₁₄</i>	0.04	0.06	0.18	0.11	0.05	0.06
<i>C₁₅</i>	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.15
<i>C₁₆</i>	0.04	0.00	0.11	0.03	0.03	0.31
Σ	1	1	1	1	1	1

Таблиця 3

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для четвертого рівня

<i>IV</i>	<i>C₁</i>	<i>C₂</i>	<i>C₃</i>	<i>C₄</i>	<i>C₅</i>	<i>C₆</i>	<i>C₇</i>	<i>C₈</i>	<i>C₉</i>	<i>C₁₀</i>	<i>C₁₁</i>	<i>C₁₂</i>	<i>C₁₃</i>	<i>C₁₄</i>	<i>C₁₅</i>	<i>C₁₆</i>
Φ_1	0.00	0.19	0.00	0.00	0.10	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.31	1.00	0.00
Φ_2	0.00	0.19	0.20	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_3	0.00	0.10	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_4	0.00	0.37	0.38	0.00	0.28	0.00	0.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_5	0.00	0.05	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.11	0.00	0.50
Φ_6	0.00	0.00	0.20	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.83	0.00	1.00	0.45	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_8	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.75	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_9	0.00	0.00	0.04	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_{10}	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.06
Φ_{11}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.16
Φ_{12}	0.00	0.10	0.00	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Φ_{13}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.23	0.00	0.00	0.00	0.28
Φ_{14}	0.00	0.00	0.00	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00
Σ	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	1

Оцінюючи однорідність суджень експертів, *IУ* та *ВУ* не виходили за межі норм. Найбільша неузгодженість у матриці парних порівнянь природних факторів відносно зсувів (обвалів) та карстоутворення, $IУ = 0.0139$ та $IУ = 0.0130$ відповідно. Це пов'язано з великим порядком даних матриць, що ускладнює порівняння елементів (табл. 4).

Для ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях узгодженість всієї ієрархії становить $M / \bar{M} = 0.0033$, що знаходиться в межах норми і свідчить про достатню функціональність створеної ієрархії та узгодженість у судженнях експертів.

Аналізуючи результати обчислень, можна зробити висновок, що на умовній території міста найбільшого розвитку набув небезпечний фізико – геологічний процес *підтоплення*. Цей елемент

має найбільший пріоритет (0.29). Внаслідок підтоплення території виникає механічна суфозія, яка призводить до винесення частинок ґрунту, що викликає *просідання* земної поверхні. Саме цей небезпечний фізико-геологічний процес має також найбільший пріоритет (0.29). При підтопленні відбувається підвищення рівня ґрунтових вод, внаслідок чого створюються умови для виникнення *зсувів*, а також *заболочення* земель (0.15). Незначно впливають процеси *яроутворення* та *карстоутворення*, вони мають найменший пріоритет (0.07 і (0.05 відповідно).

Матриця власних векторів локальних пріоритетів для третього рівня дає змогу розглянути залежність небезпечних фізико – геологічних процесів від природних факторів.

Відносно зсувів або обвалів найбільший пріоритет має такий природний фактор, як *стійкість ґрунтового масиву* (0.30), тобто стійкість масивів ґрунту в основах будівель і споруд, а також стійкість відкосів та схилів. Стійкість масивів ґрунту тісно пов'язана з *фізико-механічними властивостями ґрунтів*, які мають також високий пріоритет – (0.20). Зменшення внутрішнього опору ґрунту, тобто кута внутрішнього тертя ϕ , а також зменшення сил зчеплення може призвести до зсувів, а при великих ухилах – і до обвалів ґрунтових мас.

Таблиця 4

**Узгодженість пріоритетів ієрархії небезпечних
фізико-геологічних процесів на міських територіях**

Рівні	Пріоритети	n	λ_{\max}	IУ	ВУ
II	ТМ	6	6,015	0,0030	0,0024
II	Зс	12	12,153	0,0139	0,0094
	П	8	8,034	0,0049	0,0035
	Зб	6	6,014	0,0027	0,0022
	ПГ	9	9,050	0,0063	0,0043
	К	12	12,144	0,0130	0,0088
	Я	8	8,018	0,0026	0,0019
III	C ₂	6	6,012	0,0023	0,0019
	C ₃	6	6,008	0,0015	0,0012
	C ₅	9	9,031	0,0038	0,0026
	C ₆	2	2,000	0,0000	0,0000
	C ₈	4	4,004	0,0014	0,0016
	C ₉	2	2,000	0,0000	0,0000
	C ₁₂	4	4,004	0,0014	0,0016
	C ₁₄	3	3,004	0,0019	0,0033
	C ₁₆	4	4,013	0,0043	0,0047

Зменшення питомого зчеплення ґрунту відбувається внаслідок підняття *рівня ґрунтових вод*. Цей природний фактор відіграє не останню роль у розвитку зсувних процесів, його пріоритет становить 0.11.

Процес просідання або провалів земної поверхні найбільше залежить від *фізико-механічних властивостей ґрунтів* – 0.32 (величини модуля деформацій E , коефіцієнта стисливості m_0 тощо). Ці характеристики залежать від багатьох факторів (щільності ґрунту, його вологості тощо) і встановлюються експериментально. При виникненні просідань важливі такі природні фактори, як *характеристики геологічного розрізу* та *рівень ґрунтових вод*. Вони при оцінці отримали однакові пріоритети (0.17). Наприклад, просідання виникають на лесових ґрунтах при підвищенні рівня ґрунтових вод. Модуль загальної деформації лесових ґрунтів може сягати 30 МПа та більше, але значно (до 2 МПа) зменшується зі збільшенням вологості [3].

Заболочення тих чи інших ділянок може відбуватися внаслідок підняття *рівня ґрунтових вод* (0.36) та погіршення умов *поверхневого стоку* (0.18). Важливими факторами при заболоченні земель є *форма схилу* (0.18), *характер ґрунтового-рослинного покриву* (0.11) та *умови фільтрації* води в ґрунті (0.11).

Підтоплення території – найбільш небезпечний процес, внаслідок якого відбувається розвиток механічної та хімічної суфозій, які призводять до виникнення просідань земної поверхні та розвитку карсту. Внаслідок підтоплення можуть виникнути зсувні процеси та заболочення земель. Тому необхідне детальне вивчення цього процесу для запобігання небезпечних фізико-геологічних ситуацій. Підтоплення земель найчастіше відбувається внаслідок підняття *рівня ґрунтових вод* (0.30) та слабкої дренажності ґрунту. Важливими факторами при підтопленнях є *умови фільтрації* (0.16) та *фізико-механічні властивості ґрунтів* (0.16). Необхідно згадати і про гідрогеологічні умови, а саме – *характеристики геологічного розрізу* (0.11) та *режим поверхневого стоку* (0.11).

Карст є результатом дії механічної і хімічної суфозії. Для оцінювання цього процесу найвищий пріоритет є у *характеристик геологічного розрізу* (0.24). Найбільшого розвитку карст набуває за наявності в геологічному розрізі легкорозчинних порід (вапняки, доломіти, гіпс) та агресивних вод (*хімічний тип ґрунтових вод та умови фільтрації* – 0.14). Природними факторами, що впливають на розвиток карсту, також є *фізико-механічні властивості ґрунтів та рівень ґрунтових вод та крутість схилу* (0.09).

Яроутворення є результатом дії водної (лінійної) ерозії. Свого розвитку вона набуває за умови незакріпленості ґрунтів, горбистого рельєфу, тому *характер ґрунтово-рослинного покриття* (0.31), *крутість схилу та робота поверхневих вод* (0.15) мають найбільші пріоритети. Серед інших умов важливе значення має склад ґрунтів певної місцевості (*характеристики геологічного розрізу, фізико-механічні властивості ґрунтів* – 0.09). Пухкі піщано-глинисті породи розмиваються набагато інтенсивніше, ніж тверді.

За допомогою матриці власних векторів локальних пріоритетів для четвертого рівня можна визначити вплив антропогенних та метеорологічних факторів на основні сили та обмеження природного середовища.

На зміну фізико-механічних властивостей ґрунтів в місті найбільше впливає *міське та промислове будівництво (статичні та динамічні навантаження* – 0.37). У разі збільшення фізичної ваги міської забудови (поверховості будинків) збільшується статичне навантаження на ґрунти.

Техногенні зміни водного балансу спричиненні *регулюванням стоку, захисними гідротехнічними спорудами (ГТС), комунальним та промисловим водо-, теплопостачанням та водовідведенням* (0.19). Зниження рівня ґрунтових вод викликає збільшення зони аерації, “підвішування” капілярної вологи. При динамічних та ударних навантаженнях, зокрема вібраціях (*транспорт* – 0.10), послаблюється міжмолекулярний зв’язок нестійких ґрунтів, що призводить до порушення їх структурності, ущільнення роздільно-зернистих ґрунтів, які знаходяться в недоущільненому стані.

Природний напружений стан порід в масиві порушується під впливом статичних та динамічних навантажень (*міське та промислове будівництво* – 0.38), змін гідрогеологічних умов (*комунальне та промислове водо-, теплопостачання та водовідведення* – 0.20). Стійкість ґрунтового масиву залежить від рельєфу, а на міських землях – від *вертикального планування території* (0.20).

Найвпливовішим природним фактором для розвитку небезпечних фізико-геологічних процесів є рівень ґрунтових вод. Цей фактор впливає майже на всі вищеописані небезпечні процеси та явища.

На амплітуду коливання рівня ґрунтових вод впливають зменшення інфільтраційного живлення внаслідок забудови територій (*міське та промислове будівництво* – 0.28), влаштування водонепроникних дорожніх покриттів, влаштування зливової каналізації, снігоприбирання (*благоустрій території* – 0.17), *кількість атмосферних опадів з врахуванням їх втрат* – 0.17, розвантаження ґрунтових вод під впливом системи дренажних споруд, *регулювання стоку, будівництво захисних ГТС* (0.10), втрати води з каналізаційної та водопровідної мережі (*комунальне та промислове водо-, теплопостачання та водовідведення* (0.10), неупорядкована забудова населених пунктів без горизонтального та вертикального планування її територій (*вертикальне планування території* – 0.06). Геохімічне забруднення верхнього шару геологічного середовища в межах міста за рахунок накопичення відходів, акумуляції повітряних токсичних викидів транспорту і підприємств (*промислова та транспортна інфраструктура (техногенний вплив)* – 0.75) змінює

хімічний тип ґрунтових вод, переважно у бік загальної мінералізації, підвищує хімічну агресивність вод (збільшення CO_2 , SO_4 , Mg , Cl , пониження PH).

На умови фільтрації в межах міста впливає *міське та промислове будівництво (0.45)*, *благоустрій території (0.23)*, які обмежують фільтрацію води внаслідок забудови земель та влаштування водонепроникних покриттів. *Регулювання стоку та будівництво захисних ГТС (0.23)* перекривають шляхи відтоку поверхневих і підземних вод, що погіршує загальну дренажність території.

У межах міста рельєф визначає *вертикальне планування території*. Для крутості схилу та його форми цей антропогенний фактор має визначальний вплив – (0.83) та (1.00) відповідно. На крутість схилу також впливає *розробка кар'єрів (0.17)*.

На еродованість території в межах міста також впливає *вертикальне планування території (0.45)*. При цьому важливими факторами є *розорювання земель та знищення рослинного покриву (0.23)*.

Режим поверхневого стоку визначає *кількість атмосферних опадів з врахуванням їх втрат (0.58)*. Території міст відрізняються зарегульованістю гідрологічної мережі з пониженням природної дренажності, тому *регулювання стоку, будівництво ГТС (0.31)* та *благоустрій території (0.11)* значно впливають на формування поверхневого стоку в місті.

При формуванні ґрунтово-рослинного покриву в межах міста визначальними є *міське та промислове будівництво (0.50)*, *знищення рослинного покриву – (0.28)* та *обробіток сільськогосподарських земель (розорювання – 0.16)*.

Послідовне обчислення векторів пріоритетів для кожного ієрархічного рівня дає змогу визначити глобальні пріоритети для природних, антропогенних та метеорологічних факторів відносно вершини ієрархії – території міста з урахуванням взаємодії всіх локальних пріоритетів [2].

Глобальні пріоритети системи небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях наведено у табл. 5.

Результати досліджень

На основі аналізу глобальних пріоритетів для другого рівня можна зробити висновок, що найнебезпечнішим фізико-геологічним процесом на сформованих землекористуваннях є підтоплення території. Розвиток процесу підтоплення супроводжується погіршенням фізико-механічних властивостей ґрунтів, зменшенням несучої здатності ґрунтів, природного опору, активізацією небезпечних геологічних процесів (карст, зсуви, суфозія), що приводить до осідань будинків та споруд.

Розвиток процесу підтоплення призводить також до зміни хімічного складу ґрунтових вод і є причиною підвищення їхньої агресивності відносно матеріалів будівельних конструкцій, викликає передчасне руйнування й деформацію будинків та споруд, а також забруднення поверхневих і підземних вод.

Аналіз глобальних пріоритетів показав, що на розвиток таких небезпечних фізико-геологічних процесів, як підтоплення та просідання, частково зсувів та заболочення, на міських територіях найбільше впливає гідрогеологічна підсистема інженерно-геологічної системи, а саме *рівень ґрунтових вод та капілярного підняття (0.21)* та *умови фільтрації (0.11)*. Значно впливає також геологічна підсистема, особливо такі її елементи, як *фізико-механічні властивості ґрунтів (0.19)* та *характеристики геологічного розрізу (0.11)*, а також геоморфологічна підсистема *форма схилу – (0.08)* цієї системи. При оцінці небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях варто також звернути увагу на гідрологічну систему, а найбільше – на *режим поверхневого стоку (0.09)* та на геоботанічну систему – на *характер ґрунтово-рослинного покриву (0.06)*.

Антропогенна та метеорологічна системи впливають на розвиток небезпечних фізико – геологічних процесів на території міста через стабільність природного середовища.

Отже, оцінивши причини розвитку або виникнення цих процесів у межах міста, можна зробити висновок, що найвагомішими антропогенними факторами, які впливають на зміну стану природного середовища, є:

- *міське та промислове будівництво (0.19)* – збільшення різноманітності видів будівництва, типів будівель і споруд, збільшення ваги міського будівництва і величини статичних навантажень на ґрунти; затримка поверхневих та підірних підземних вод будинками та спорудами (баражний ефект);

**Глобальні пріоритети множини елементів
системи небезпечних фізико – геологічних процесів на міських територіях**

II	Екологонебезпечні процеси	
Зс	Зсуви (обвали)	0.15
П	Просідання (провали)	0.29
Зб	Заболочення	0.15
ПТ	Підтоплення територій	0.29
К	Карст (антропогенний карст)	0.05
Я	Яроутворення	0.07

III	Основні сили та обмеження природного середовища	
Інженерно-геологічна система		
Геологічна підсистема		
C ₁	Характеристики геологічного розрізу	0.111
C ₂	Фізико-механічні властивості ґрунтів	0.190
C ₃	Стійкість ґрунтового масиву	0.046
Гідрогеологічна підсистема		
C ₄	Вертикальна зональність ґрунтових вод	0.019
C ₅	Рівень ґрунтових вод та капілярного підняття	0.209
C ₆	Хімічний тип ґрунтових вод	0.019
C ₇	Тепловий режим ґрунтових вод	0.001
C ₈	Умови фільтрації	0.110
Геоморфологічна підсистема		
C ₉	Крутість схилу	0.036
C ₁₀	Форма схилу	0.083
C ₁₁	Експозиція схилу	0.001
C ₁₂	Еродованість територій	0.013
Гідрологічна система		
C ₁₃	Хімічний склад поверхневих вод	0.003
C ₁₄	Режим поверхневого стоку	0.085
C ₁₅	Робота поверхневих вод (бокова, глибинна ерозія)	0.017
Геоботанічна система		
C ₁₆	Характер ґрунтово-рослинного покриву	0.057

IV	Фактори впливу	
Антропогенна система		
Ф ₁	Регулювання стоку, захисні ГТС споруди	0.128
Ф ₂	Комунальне та промислове водо-, теплопостачання та водовідведення	0.067
Ф ₃	Транспорт (динамічне навантаження)	0.032
Ф ₄	Міське та промислове виробництво (статичні та динамічні навантаження)	0.192
Ф ₅	Благоустрій територій	0.109
Ф ₆	Вертикальне планування територій	0.059
Ф ₇	Розмір техносфери міста Р=П ат.у./П ст.у.	0.005
Ф ₈	Промислова та транспортна інфраструктура (техногенний вплив)	0.014
Ф ₉	Видобуток корисних копалин	0.008
Ф ₁₀	Розробка кар'єрів	0.015
Ф ₁₁	Обробіток с/г земель (розорювання)	0.012
Ф ₁₂	Зрошення, осушення суміжних с/г земель	0.025
Ф ₁₃	Знищення рослинного покриву	0.032
Метеорологічна система		
Ф ₁₄	Кількість атмосферних опадів з врахуванням їх втрат	0.086

- *регулювання стоку та захисні ГТС (0.13)* – регулювання поверхневого стоку із істотним зниженням природної дренажності та стійким підйомом рівня ґрунтових вод;
- *благоустрій території (0.11)* – трансформація компонентів водного балансу в місті з причини влаштування водонепроникних дорожніх покриттів (частка випаровування в водному балансі міста зменшується, поверхневого та підземного стоку зростає);
- *комунальне та промислове водо-, тепlopостачання та водовідведення (0.07)* – втрати води з каналізаційної та водопровідної мережі викликає підняття рівнів ґрунтових вод;
- *вертикальне планування території (0.06)* – неупорядкована забудова населених пунктів без горизонтального та вертикального планування її територій;
- *транспорт (0.03)* – порушення структурності нестійких ґрунтів, ущільнення роздільно-зернистих ґрунтів, які знаходяться в недоущільненому стані;

Серед глобальних пріоритетів четвертого рівня пріоритетним є високий вплив метеорологічної системи, тобто *кількості атмосферних опадів (0.09)*.

Оптимізована модель ієрархії небезпечних фізико – геологічних процесів на територіях населених пунктів матиме такий вигляд (рис. 2).

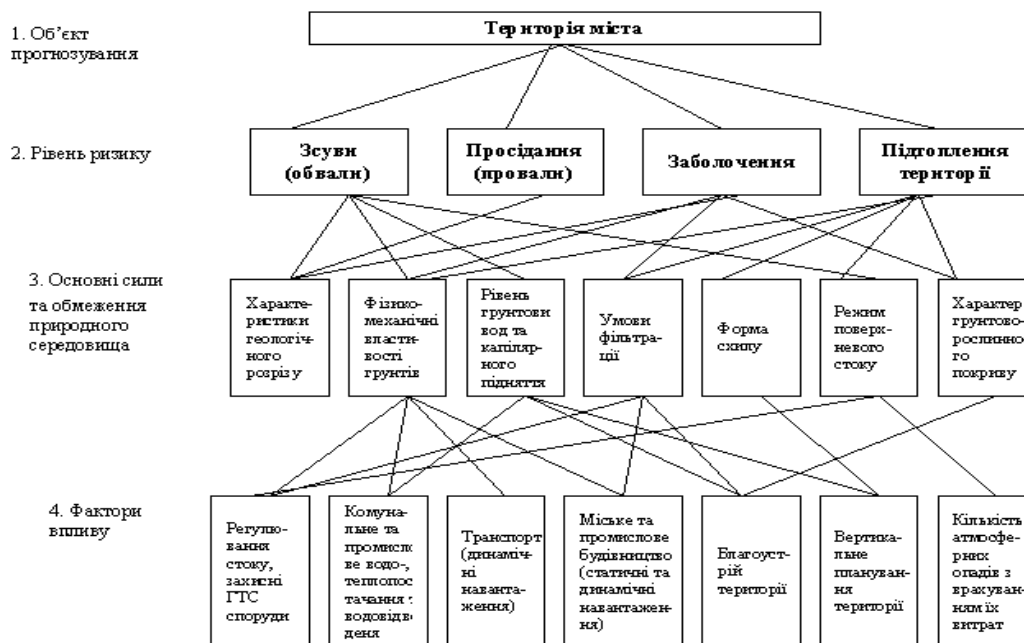


Рис. 2. Оптимізована модель ієрархії небезпечних фізико-геологічних процесів

Висновок

Вперше застосовано метод аналізу ієрархій для оцінки небезпечних фізико – геологічних процесів на міських територіях.

МАІ є ефективним методом моделювання слабкоструктурованих природних ієрархічних систем за умов невизначеності. Він дає змогу розв'язувати багатofакторні задачі оцінювання компонентів систем, встановлювати їх ваги і визначати загальний вплив цих елементів на об'єкт прогнозування.

На основі проведених досліджень і побудованої ієрархічної моделі небезпечних фізико-геологічних процесів на міських територіях детально оцінено вплив антропогенної та метеорологічної систем на стабільність природного середовища урбанізованих територій. Виявлено фактори, які найбільше впливають на формування небезпечних фізико-геологічних ситуацій у межах міст.

На основі отриманих даних можна запровадити необхідні інженерні заходи для зменшення впливу факторів, що мають найбільші пріоритети. При цьому можна знайти причини виникнення того чи іншого небезпечного процесу вже на сформованих землекористуваннях і запровадити заходи щодо їх ліквідації.

Література

1. Бабич Є.М., Крусь Ю.О. Механіка ґрунтів, основи та фундаменти: Підручник. – Рівне, Вид-во РДТУ, 2001.
2. Кахнич П., Німкович Р., Черняга П. Ієрархічна модель системи приміської зони // Земле-впорядний вісник. – К., 2006. – № 1. – С. 53–56.
3. Качинський А.Б., Агаркова Н.В., Степаненко А.В. Регіональний вимір екологічної безпеки України з урахуванням загроз виникнення техногенних і природних катастроф: Монографія // Серія “Екологічна безпека”. – НІСД, 1996. – Вип. 2.
4. Котлов Ф.В., Брашнина И.А., Сипягина И.К. Город и геологические процессы. – М.: Наука, 1967.
5. Лагоднюк О. Ієрархічна модель концептуальних аспектів формування прибудинкових територій // Сучасні методи геодезичної науки та виробництва. – Львів, 2007. – Вип. 1. – С. 300–306.
6. Методические разработки по оценке земель урбанизированных территорий [Текст] : сборник научных трудов / Н.В. Горбатюк // Научные труды Крымского государственного аграрного университета. – Симферополь: Крымский государственный аграрный университет, 2003. – Вип. 78: Сельскохозяйственные науки. – С. 128–136.
7. Осітнянко А.П. Сушко С.В. Вплив містобудівних факторів на вартість об’єктів житлової нерухомості // Містобудування та територіальне планування. – 2003. – № 13. – С. 159–167.
8. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Пер. с англ. – М.: Радио и связь, 1989.
9. Суматохіна І.М., Дук Н.М., Шевченко О.А. Промислові відходи як чинник стану екологічної безпеки регіону: оцінка, картографування, управління // Науково-технічний журнал “Екологія довкілля та безпека життєдіяльності”. – 2008. – № 3.
10. Яковлев Є.О., Березницка Ю.О., Волошкіна Е.С. Регіональне районування екологічного стану поверхневих вод об’єктів України // Збірник праць VI Міжнародної науково-практичної конференції “Сучасні технології технічного управління екологічною безпекою, природокористуванням, заходами в надзвичайних ситуаціях”. – Київ–Харків–Крим, 2007. – С. 15–20.

Оптимізаційна модель врахування небезпечних фізико-геологічних процесів при формуванні землекористувань міста

П. Черняга, Т. Бухальська, А. Люсак

Для створення оптимізаційної моделі при оцінці небезпечних фізико-геологічних процесів на сформованих землекористуваннях використано метод аналізу ієрархій.

Оптимизационная модель учета опасных физико – геологических процессов при формировании землевладений города.

П. Черняга, Т. Бухальская, А. Люсак

Для создания оптимизационной модели при оценке опасных физико-геологических процессов на сформированных землепользованиях использован метод анализа иерархий.

Optimization model of account of dangerous physical and geological processes at forming of land – tenures of city

P. Chernyaga, T. Buhalska, A. Lyusak

For creation of optimization model at estimation physical and geological dangerous processes on the formed land – tenures the method of analysis of hierarchies is used.