

## **КЛАСИФІКАЦІЯ НАВЧАЛЬНИХ ОБ'ЄКТІВ ВІЙСЬКОВИХ ПОЛІГОНІВ ЗА ФАКТОРАМИ ВОЄННО-ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ**

С.М. Чумаченко

(Національний НДЦ оборонних технологій і воєнної безпеки України)

*В статті наведено підходи до класифікації навчальних об'єктів військових полігонів за факторами воєнно-техногенного навантаження на довкілля із застосуванням апарату кластерного аналізу.*

***навчальні об'єкти, військові полігони, фактори воєнно-техногенного навантаження, довкілля***

Досить часто в прикладній математичній екології при визначенні ступеню екологічної небезпеки від техногенних навантажень різного походження виникає наукова задача класифікації об'єктів певного регіону для подальшої оцінки екологічного ризику і ранжування об'єктів за відповідною шкалою [1]. Вирішення цієї задачі дає особі, що приймає рішення, можливість обґрунтування черговості, повноти і складу заходів для зменшення загрози перевищення допустимих рівнів техногенного навантаження на довкілля в природно-техногенних геосистемах.

Задача класифікації потенційно небезпечних воєнно-техногенних об'єктів стоїть і перед військовими екологами для ранжування цих об'єктів за ступенем небезпеки і на основі цього визначення черговості виконання реабілітаційних робіт за програмою Програми реабілітації територій, забруднених унаслідок військової діяльності на 2001-2015 роки [2]. Аналогічну задачу необхідно вирішувати для навчальних об'єктів (НО) військового полігону (ВП) для забезпечення вирішення задач екологічного моніторингу і менеджменту.

На сьогодні задачі класифікації і ранжування потенційно небезпечних об'єктів техносфери визначені у таких нормативних документах: Державному класифікаторі надзвичайних ситуацій ДК 019-2001 [3] та законі України «Про об'єкти підвищеної небезпеки» [4]. Ця проблема неодноразово висвітлювалась вітчизняними науковцями при проведенні досліджень в галузі техногенної і екологічної безпеки [1, 5, 6]. Однак підходи до класифікації потенційних воєнно-техногенних об'єктів за факторами воєнно-техногенного навантаження в цих публікаціях не вирішувались. Тому, метою цієї статті є розробка методу класифікації НО, що розрізня-

ються за складом та інтенсивністю впливу факторів ВТН на навколишнє природне середовище (НПС) у виділених класах об'єктів.

Серед визнаних методів класифікації при вирішенні науково-прикладних задач добре зарекомендував себе кластерний аналіз, який містить у собі цілий набір різних алгоритмів класифікації, що допомагають вирішити загальне питання організації даних у явні структури (розгорнуті таксономії). У нашому випадку класифікація є способом виділення підмножин НО ВП – класів подібних між собою за складом факторів ВТН. Така класифікація дозволяє замінити множину елементів НО, кожний з яких у деякій мірі відрізняється від будь-якого іншого узагальненим класом, що містить визначені фактори ВТН, які характеризують вплив кожного елементу кластеру на НПС. Якщо який-небудь клас НО ВП, що поєднує множину НО ВП, стійкий у часі і просторі, то він звичайно одержує власне ім'я і стає образом множини його часткових проявів.

Таким чином, в результаті класифікації вихідна розмаїтість НО ВП зменшується при мінімальній втраті змістовної інформації. Ідеальною є класифікація, при якій за деяким кінцевим набором воєнно-техногенних факторів будь-який НО може бути однозначно віднесений точно до одного класу.

Максимальне число класів, які можна виділити на множині НО ВП, прямо пов'язане з їх розмаїтістю:

$$df = \log_2 N + 1, \quad (1)$$

де  $N$  – кількість різновидів НО ВП.

Очевидно, корисно розрізнити генетичні і фізіономічні класифікації. Перші будуються на основі порівняння «подібності – розходження» фізично зрозумілих воєнно-техногенних факторів, що визначають розмаїтість станів класифікуємого явища воєнно-техногенного навантаження (ВТН), другі – на основі «подібності – розходження» яких-небудь вимірних воєнно-техногенних факторів, що спостерігаються. Якщо ці ознаки дійсно визначають важливі функціональні властивості об'єкта класифікації, то фізіономічна класифікація неминує в тому чи іншому ступені буде відображати не тільки фізіономічну подібність, але і споріднення. Однак збіг генетичної і фізіономічної класифікації в загальному випадку не обов'язковий.

У переважній більшості випадків НО ВП, як складові військової природно-техногенної геосистеми (ВПТГС), можуть підрозділятися на класи різними способами. Вибір способу часто визначається практичними вимогами, що пред'являються до класифікації.

В основі будь-якої класифікації явно чи не явно закладені метрика і спосіб групування конкретних об'єктів класифікації. Метрика визначає спосіб виміру «подібності – розходження» порівнюваних об'єктів. Спосіб групування визначає правила, за якими об'єкти, що класифікуються, поєднуються в групи подібних чи класи.

Для проведення класифікації НО ВП за воєнно-техногенними факторами впливу БП на НПС складемо інформаційну матрицю навчальних об'єктів

$$F = \begin{pmatrix} | & f_1 & \dots & f_j & \dots & f_n & | \\ \hline f_{11} & \dots & f_{1j} & \dots & f_{1n} & K_1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{i1} & \dots & f_{ij} & \dots & f_{in} & K_i \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{m1} & \dots & f_{mj} & \dots & f_{mn} & K_m \\ \hline M_1 & \dots & M_j & \dots & M_n & | \end{pmatrix}, \quad (2)$$

де  $\vec{f}_j, j = \overline{1, n}$  – вектор факторів ВТН;  $K_i, i = \overline{1, m}$  – узагальнена інформаційна оцінка НО ВП за факторами ВТН;  $M_j$  – диференційна могутність фактора ВТН;  $f_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ якщо фактор } \epsilon, \\ 0, \text{ якщо фактору немає} \end{cases}$  – інформаційна ознака наявності воєнно-техногенного фактору впливу.

Алгоритм обчислення елементів матриці полягає в наступному. У профілі j-го фактора ВТН (стовпець інформаційної матриці впливу) відображається, яка кількість інформації про вклад цього фактора у ВТН на НО в кожному з визначених класів міститься в тім факті, що даний воєнно-техногенний фактор діє на НПС.

У профілі i-го НО (рядок інформаційної матриці впливу ВТН) відображається, яка кількість інформації про перехід НО за ВТН в даний клас міститься в кожному з воєнно-техногенних факторів впливу на НПС.

Застосування методу інформаційної матриці коректно, якщо можна порівнювати сумарну кількість інформації про перехід НО за ВТН в різні класи. Будемо вважати, що НО ВП можуть порівнюватися за факторами ВТН тоді і тільки тоді, коли одночасно виконуються наступні три умови: 1) порівнюються індивідуальні кількості інформації, що міститься в ознаках про приналежність до відповідних класів НО; 2) порівнюються величини, розраховані для одного НО і різних класів; 3) порівнюються величини, розраховані для різних НО і різних класів.

В табл. 1 наведено інформаційну матрицю для факторів ВТН типових НО ВП Сухопутних військ. На сьогоднішній день розроблено ієрархічну структуру факторів воєнно-техногенного навантаження. Вона налічує тридцять п'ять факторів, які відповідно до типу впливу (механічний, хімічний, фізичний) підрозділяються на три великих класи, а ті в свою чергу на 10 підкласів.

Аналіз існуючих методів класифікації показав, що вирішення цієї задачі ефективними є деревоподібна кластеризація та метод К середніх [7, 8].

## Інформаційна матриця факторів ВТН на НПС ВП

№ п/п	Тип впливів	Механічний вплив										
	Підтипи впливів	1.1								1.2		
	Фактори впливів	111	112	113	114	115	116	117	118	121	122	123
1.	Директриси (артилерійські і танкова)	1	1	1		1	1	1		1	1	1
2.	Навчальне тактичне поле	1	1	1		1	1	1		1	1	1
3.	Вогневі містечка (Вогневі комплекси)	1	1	1		1	1	1		1	1	1
4.	Танкодром	1	1	1		1	1	1	1			
5.	Машинодром	1	1	1		1	1	1	1			
6.	Директриси БМП і БТР	1	1	1		1	1	1		1	1	1
7.	Навчальне поле підготовки підрозділів ППО	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1
8.	Автодром	1	1	1		1	1	1				
9.	Вододром			1		1			1			
10.	Стрілецькі вогневі містечка	1			1		1	1		1	1	1
11.	Військові стрільбища	1			1		1	1		1	1	1
12.	Гвинтівковий артилерійський полігон	1			1		1	1		1	1	1
13.	Радіополігони				1							
14.	Стежка розвідника				1							
15.	Містечка виду або роду військ				1							
16.	Навчальне поле виду або роду військ				1							

Продовження табл. 1

№ п/п	Тип впливів	Хімічний вплив												
	Підтипи впливів	2.1										2.2		
	Фактори впливів	211	212	213	214	215	216	217	218	219	2110	221	222	223
1.	Директриси (артилерійські і танкова)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.	Навчальне тактичне поле	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3.	Вогневі містечка (Вогневі комплекси)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.	Танкодром	1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
5.	Машинодром	1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
6.	Директриси БМП і БТР	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7.	Навчальне поле підготовки підрозділів ППО	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8.	Автодром	1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
9.	Вододром	1	1	1	1	1		1	1			1	1	1
10.	Стрілецькі вогневі	1			1		1	1	1	1	1		1	

	містечка													
11.	Військові стрільбища	1			1		1	1	1	1	1		1	
12.	Гвинтівковий артилерійський полігон	1			1		1	1	1	1	1		1	
13.	Радіополігони	1	1		1	1							1	1
14.	Стежка розвідника													
15.	Містечка виду або роду військ	1	1		1								1	1
16.	Навчальне поле виду або роду військ	1	1		1								1	1

Закінчення табл. 1

№ п/п	Тип впливів Підтипи впливів Фактори впливів	Хімічний вплив										Фізичний вплив				
		2.3										3.1				
		231	232	233	234	235	236	237	238	239	2310	311	312	313	314	315
1.	Директриси (артилерійські і танкова)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2.	Навчальне тактичне поле	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3.	Вогневі містечка (Вогневі комплекси)	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4.	Танкодром	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1
5.	Машинодром	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1	1	1
6.	Директриси БМП і БТР	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7.	Навчальне поле підготовки підрозділів ППО	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
8.	Автодром	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1		1
9.	Вододром	1	1	1	1	1	1				1	1	1	1		1
10.	Стрілецькі вогневі містечка	1				1		1			1	1		1		
11.	Військові стрільбища	1				1		1			1	1		1		
12.	Гвинтівковий артилерійський полігон	1				1		1			1	1		1		
13.	Радіополігони	1	1			1	1				1		1		1	
14.	Стежка розвідника														1	
15.	Містечка виду або роду військ	1	1			1					1			1	1	
16.	Навчальне поле виду або роду військ	1	1			1					1		1	1	1	

Метою деревоподібної кластеризації є об'єднання НО ВП у досить великі кластери, використовуючи деяку міру подібності чи відстані між інформаційними характеристиками факторів ВТН. Типовим результатом такої кластеризації є ієрархічне дерево. Приклади горизонтальної та вертикальної деревоподібних діаграм, отриманих в результаті кластеризації за воєнно-техногенними факторами впливу на НПС, наведено на рис. 1.

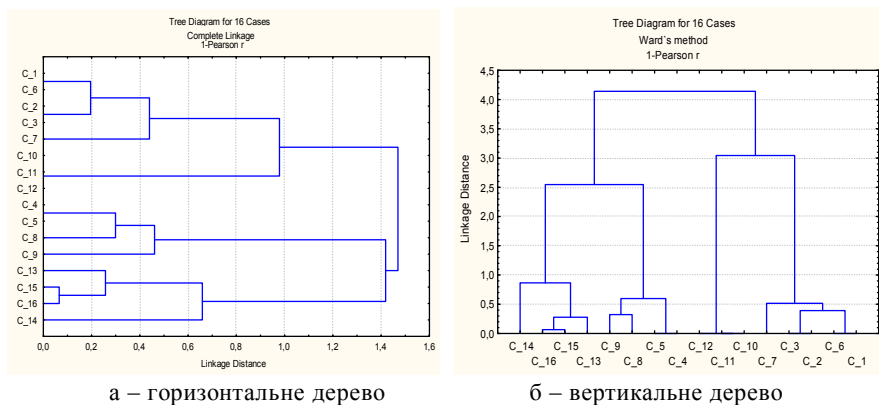


Рис. 1. Ієрархічні дерева кластеризації НО ВП за воєнно-техногенними факторами

Процедура деревоподібної кластеризації здійснювалась із застосуванням алгоритмів статистичного пакету “Statistica v.6.0”.

Метод деревоподібної кластеризації використовує при формуванні кластерів відстані між факторами спрощеної інформаційної матриці НО. Ці відстані можуть визначатися в одномірному чи багатомірному просторі воєнно-техногенних факторів, які у випадку кластерного аналізу виступають ознаками НО ВП.

При проведенні деревоподібної кластеризації в статистичному пакеті “Statistica v.6.0” в якості метрики було вибрано міру подібності типу кореляції. При цьому в лінійному випадку застосовано метрику на базі кореляції Пірсона (звичайній кореляції, що використовується для нормальних розподілів):

$$R(x, y) = 1 - r_{xy}, \quad (3)$$

де  $r_{xy}$  – кореляції між двома НО ВП за станами і-факторів ВТН.

Для оцінки зв'язку між кластерами було використано метод повного зв'язку та метод Варда. Для методу повного зв'язку відстань між кластерами визначаються найбільшою відстанню між будь-якими двома об'єктами в різних кластерах (тобто "найбільш віддаленими сусідами"). Метод Варда використовує методи дисперсійного аналізу для оцінки відстаней

між кластерами. Він мінімізує суму квадратів для будь-яких двох (гіпотетичних) кластерів, що можуть бути сформовані на кожному кроці [8].

У цілому метод є дуже ефективним, однак він прагне створювати кластери малого розміру.

Метод К середніх істотно відрізняється від таких агломеративних методів об'єднання, як деревоподібна кластеризація. Якщо ви вже маєте гіпотези щодо числа кластерів (за попередніми спостереженнями чи експертним опитуванням) то алгоритм методу К середніх вирішує задачу утворення такого числа кластерів, щоб їх склад був настільки різний, наскільки це можливо. У загальному випадку метод К середніх буде рівно К різних кластерів, розташованих на можливо найбільших відстанях один від одного. З обчислювальної точки зору можна розглядати цей метод, як дисперсійний аналіз "навпаки".

Відповідно до цього методу було отримано кластеризацію НО ВП за факторами воєнно-техногенного впливу на НПС, результати якої наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Вибір НО з постійними відстанями

№ п/п	НО ВП	Кластери	Відстані між НО в кластерах
1.	Директриси (артилерійські і танкова)	2	0,08
2.	Навчальне тактичне поле	2	0,11
3.	Вогневі містечка (Вогневі комплекси)	2	0,11
4.	Танкодром	3	0,17
5.	Машинодром	3	0,17
6.	Директриси БМП і БТР	2	0,08
7.	Навчальне поле підготовки підрозділів ППО	2	0,15
8.	Автодром	3	0,21
9.	Вододром	3	0,30
10.	Стрілецькі вогневі містечка	1	0,00
11.	Військові стрільбища	1	0,00
12.	Гвинтівковий артилерійський полігон	1	0,00
13.	Радіополігони	4	0,24
14.	Стежка розвідника	4	0,36
15.	Містечка виду або роду військ	4	0,17
16.	Навчальне поле виду або роду військ	4	0,17

**Висновки.** Завдяки проведеній ієрархічній кластеризації та кластеризації методом К середніх вдалося виділити 4 класи НО ВП за рівнем загрози для НПС (рис. 2). Відповідно проведеній класифікації можна розробляти рекомендації стосовно планування заходів екологічного моніторингу та управління станом НПС, які можуть знайти своє впровадження в нормативній базі екологічної безпеки ВП.

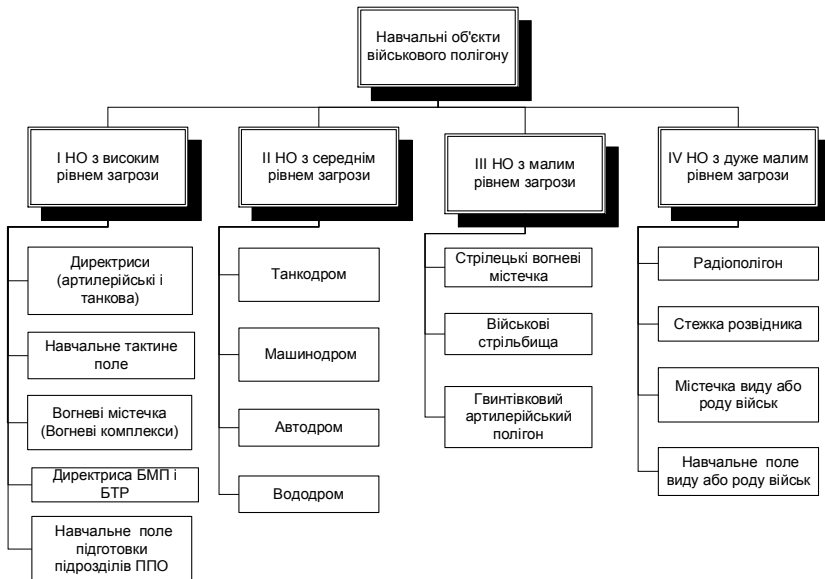


Рис. 2. Класифікація НО ВП

## ЛІТЕРАТУРА

1. Биченок М.М. *Основи інформатизації управління регіональною безпекою*. – К.: ІПНБ, 2005. – 196 с.
2. *Програми реабілітації територій, забруднених унаслідок військової діяльності на 2001-2015 роки*. – К.: ГШ ЗСУ, 2002. – 8 с.
3. *Державний класифікатор надзвичайних ситуацій ДК 019-2001 // Інфодиск "Законодавство України"*. – 2005.
4. *Закон України "Про об'єкти підвищеної небезпеки" // Відомості Верховної Ради*. – 2003. – № 30. – С. 347.
5. Буравльов Є.П. *Безпека навколишнього середовища*. – К.: ІПНБ, 2004. – 320 с.
6. Биченок М. М., Трофимчук О. М. *Проблеми природно-техногенної безпеки в Україні*. – К.: РНБОУ, 2002. – 153 с.
7. *Классификация и кластер / Под ред. Дж. Вэн Разин*. – М.: Мир, 1980. – 389 с.
8. Бююль Ахим, Цефель Петер. *SPSS: искусство обработки информации. Анализ статистических данных и восстановление скрытых закономерностей: Пер. с нем.* – С.-Пб.: ООО «ДиаСофтЮП», 2005. – 608 с.

Надійшла 27.12.2005

**Рецензент:** доктор технічних наук, професор Е.Ю. Прохач,  
Харківський науковий центр військової екології.