

Використання Нечіткої Моделі Обробки Геопросторових Даних в Системі Управління Твердими Побутовими Відходами

Світлана Кузніченко
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
skuznichenko@gmail.com

Ірина Бучинська
кафедра інформаційних технологій
Одеський державний екологічний університет
Одеса, Україна
buchinskayaira@gmail.com

Using Fuzzy Geospatial Data Processing Model in Solid Waste Management System

Svitlana Kuznichenko
Department of Information Technologies
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
skuznichenko@gmail.com

Iryna Buchynska
Department of Information Technologies
Odessa State Environmental University
Odessa, Ukraine
buchinskayaira@gmail.com

Анотація—В роботі запропонована нечітка модель обробки просторових даних в системі управління твердими побутовими відходами. Описано процедуру дискретизації векторних тематичних шарів критеріїв в растрову модель з використанням Евклідової метрики в якості міри близькості між об'єктами. Показано, що фазифікація критеріїв, тобто перетворення їх значень атрибутів у нечітку множину, на підставі експертної оцінки нечіткої функції належності, дозволяє в подальшому об'єднати критерії за допомогою нечітких правил виведення. Показано, що використання апарату нечіткої логіки дозволяє отримати більш інформативну комбіновану карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив. Наведено приклади фазифікації векторних шарів критеріїв і побудови комбінованої карти придатності території для розміщення полігонів ТПВ на півдні Одеської області.

Abstract—In the paper, the fuzzy spatial data processing model in solid waste management system is proposed. The sampling procedure for vector layers for criteria is described in a raster model, which allows a set of cells, attributes of which contain information about the value of Euclidean distance between objects. The method of standardization of criteria based on fuzzy logic methods, which allows using expert knowledge in spatial analysis, is proposed. It is shown that phasing of criteria, that is, the transformation of their values of attributes into a fuzzy set on the basis of the expert estimation of a fuzzy membership function allows further combining of criteria with the help of fuzzy rules of output. Fuzzy logic operations such as

intersection or union may be used for this purpose. It is shown that the use of fuzzy logic in the decision making model allows to take into account the uncertainty of the source information and to obtain a more informative combined suitability map by determining the rank of suitability of alternatives, that is, to perform ranking of territories according to the degree of suitability for landfill site selection.

Ключові слова—тверді побутові відходи; геоінформаційні системи; мультикритеріальний аналіз рішень; нечітка логіка

Keywords—solid waste landfill; geographic information systems; multiple-criteria decision analysis; fuzzy logic

I. ВСТУП

Звалища твердих побутових відходів являють на сьогодні значну екологічну проблему. 160 тис. гектарів землі, які передані під полігони для сміття, зберігають близько 35 млрд. тонн відходів і щороку в Україні виникає ще близько 12 тис. незаконних звалищ. Тому, актуальним завданням при вирішенні проблеми відходів та сміттєзвалищ в Україні, є крім безпосередньо сортування і переробки сміття, проведення інвентаризації існуючих полігонів твердих побутових відходів (ТПВ) з метою диференціації їх за екологічним станом, а також визначення небезпечних міст для їх розміщення, тобто зонування територій за ступенем придатності для розміщення полігонів ТПВ. Рішення цього завдання потребує комплексного використання і обробки різної

просторової інформації, тому при організації інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень про розміщення відходів найбільш перспективним є використання геоінформаційних технологій (ГІС).

В Одеській області (Україна) зараз існує 608 полігонів/звалищ ТПВ, переважна більшість яких працює з порушенням проектних показників щодо обсягів накопичення відходів. Відповідно до підготовленої Програми поводження з ТПВ в Одеській області на період 2018–2022 рр. на території області планується будівництво чотирьох нових регіональних полігонів ТПВ і ліквідація існуючих. В зв'язку з цим актуальним є вибір і обґрунтування місця розташування полігонів згідно з будівельними та санітарно-екологічними нормами.

При вирішенні завдання особливу увагу слід приділити вихідній інформації, яка частіше складається з великої кількості різнорідних факторів, що не подаються формалізованому опису. Це призводить до складності в формулюванні достовірних висновків. У зв'язку з цим, привабливим виглядає застосування методів теорії нечітких множин, що дозволяють отримати адекватні результати моделювання про можливе розміщення полігонів ТПВ з урахуванням невизначеності вихідної інформації.

Дослідженню питань застосування геоінформаційних технологій для підтримки прийняття рішень при управлінні процесами впливу на стан навколишнього середовища, раціонального використання природних ресурсів і територій, присвячені роботи багатьох авторів, серед яких слід відмітити роботи [1-5], що безпосередньо присвячені проблемі контролю над відходами. Не зважаючи на те, що питанням дослідження нечітких множин та їх застосуванню в задачах мультикритеріального прийняття рішень в умовах невизначеності присвячені роботи багатьох вітчизняних і зарубіжних вчених, проблема розробки нечітких моделей обробки просторової інформації на базі ГІС-технологій залишається актуальним науково-технічним завданням.

II. ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ ВИБОРУ МІСЦЬ РОЗМІЩЕННЯ ПОЛІГОНІВ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ

Вирішення проблеми вибору місць для розміщення полігонів ТПВ можна представити двома послідовними етапами. Перший етап – це відбір потенційно придатних місць, мета якого полягає в тому, щоб виключити ту частину території, де розміщення небезпечних для навколишнього середовища і здоров'я людини об'єктів неприпустимо. Відбір придатних місць проводиться шляхом просторового аналізу зі застосуванням ГІС, на основі критеріїв, що враховують природоохоронні вимоги, особливостей рельєфу місцевості, морфологію ландшафту, соціально-економічні чинники тощо. На другому етапі здійснюється ранжування обраних місць за пріоритетом. Процедура проводиться на основі методів мультикритеріального аналізу рішень [6]. Часто використовують метод аналізу ієрархій (Analytic Hierarchy Process – АНР) або метод аналізу мережевих процесів (Analytic Network Process) [7,8]. Результатом є вибір найбільш підходящого місця для будівництва полігону

ТПВ. В роботі більш докладно розглядається перший етап, а саме обробка просторової інформації на основі методів нечіткої логіки.

Проектування полігонів здійснюється відповідно до державних будівельних норм ДБН В.2.4-2 «Полігони твердих побутових відходів. Основні положення проектування». Приймається, що один полігон з потужністю 100 тис. т/рік повинен мати загальну площу 30 га. Основні вимоги, до будівництва полігонів ТПВ наведені у таблиці 1.

ТАБЛИЦЯ 1. Вимоги до будівництва полігонів ТПВ

№	Фактори	Порогові значення
1	відстань від аеропортів та аеродромів	15 км
2	відстань від межі курортного міста, відкритих водоймищ господарського призначення, об'єктів які використовуються у культурно-оздоровчих цілях, заповідників, місць відпочинку перелітних птахів, морського узбережжя	3000 м
3	відстань від межі міст	1000 м
4	відстань від житлової та громадської забудови (санітарно-захисна зона)	500 м
5	відстань від сільськогосподарських угідь, автомобільних та залізничних шляхів загальної мережі	200 м
6	відстань від межі лісу і лісопосадок, не призначених для використання в рекреаційних цілях	50 м
7	глибина залягання ґрунтових вод	не менше 2 м

На підставі технічних вимог до розміщення полігонів ТПВ, можуть бути сформульовані обмежуючі фактори, які дозволять вилучити з множини альтернатив, ті що не задовольняють переліченим пороговим значенням. Окрім зазначених обмежуючих факторів необхідно також враховувати особливості рельєфу місцевості і морфологію ландшафту, а також соціально-економічні чинники. Чим точніше будуть визначені ці фактори на попередньому етапі дослідження проблеми, тим більш адекватною буде модель. В роботі [5] авторами була розроблена мультикритеріальна модель прийняття рішень по розміщенню полігонів твердих побутових відходів на півдні Одеської області, яка враховувала фізичні, екологічні і соціально-економічні фактори. Загалом було сформульовано 14 критеріїв, що були представлені в базі геоданих у вигляді векторних і растрових шарів. Були використані різні джерела геоданих: космічні знімки, картографічні сервіси, данні моніторингових спостережень [9,10].

Для отримання тематичних векторних шарів критеріїв необхідно виконати декомпозиції безлічі об'єктів, які належать території, що досліджується, і впливають на прийняття рішення за будь-яким фактором (доступність транспортної інфраструктури, віддаленість від водних об'єктів, екологічна безпека та ін.). Методика декомпозиції об'єктів передбачає виконання аналізу їх просторової і атрибутивної інформації. Декомпозиція, як правило, виконується відповідно до геометричних властивостей (точкові, лінійні і полігональні об'єкти) і атрибутивних властивостей, які визначають

приналежність об'єкту до певної тематичної групи (транспортна інфраструктура, водні об'єкти, населенні пункти та ін.).

Після проведення процесу декомпозиції об'єктів буде отримано векторну карту K , що представляє собою набір тематичних векторних шарів-критеріїв K_i :

$$K_i = \{O_j^i\}, \quad i = \overline{1, t}, \quad j = \overline{1, l}, \quad (1)$$

де i – номер шару карти K , j – номер об'єкта в i -ому шарі.

III. ФОРМАЛІЗАЦІЯ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ ОБРОБКИ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Для проведення просторового моделювання, будемо використовувати растрову модель даних, яка представляється набором комірок (пікселів) і має вигляд двовимірної дискретної прямокутної сітки $n \times m$ комірок (рис.1):

$$C = \{c_i / c_i = n\Delta r, m\Delta r\}, \quad (2)$$

де C - множина альтернатив; $\Delta x = \Delta y = \Delta r$ - розмір комірки.

При дослідженні придатності кожної точки території для розміщення полігонів ТПВ необхідно, щоб атрибути точок в кожному шарі містили змістовну інформацію щодо їх відношення до об'єктів шару. Особливості задачі, що розглядається, є наявність певних вимог, які виражаються у обмеженнях відстані. Тому розглянемо докладніше процедуру визначення відстані між об'єктами.

A. Використання Евклідової метрики

Для знаходження відстань між об'єктами на карті може бути використані різні метрики близькості [11]: манхеттенська, евклідова, Чебишова та ін. Найбільш часто для дослідження відношення між об'єктами в просторовому аналізі використовують Евклідову відстань, яка між двома точковими об'єктами $O_1(x_1, y_1)$ і $O_2(x_2, y_2)$ визначається як:

$$d(O_1, O_2) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}. \quad (3)$$

При перетворенні векторного шару в растровий шар, об'єкт O_j представляється набором комірок (рис.1), кожна з яких має просторові координати і атрибут:

$$O_j = \{(c)_i\} = \left\{ \left((x_j, y_j)_i, v_i \right) \right\}, \quad i = \overline{1, k}, \quad (4)$$

де v - атрибут, k - кількість комірок, що покривають об'єкт O_j .

У випадку растрової моделі даних відстань від будь-якої комірки растру до об'єкту O_j дорівнює мінімальній відстані від цієї комірки до кожної комірки, що покриває об'єкт, який досліджується (рис.1):

$$ED(O_j, c) = \min_i \left\{ d(O_j, c)_i \right\}, \quad i = \overline{1, k}. \quad (5)$$

Таким чином, буде побудований растр відстаней $R(ED)$ у якого кожна комірка містить атрибут, який дорівнює

значенню Евклідової відстані від неї до найближчого об'єкту, розрахований відповідно (5):

$$R_k(ED) = \left\{ \left((x_i, y_j), ED_{ij}^k \right) \right\}, \quad i = \overline{1, n}, \quad j = \overline{1, m}, \quad k = \overline{1, t}. \quad (6)$$

Схема процесу побудови растру відстаней наведена на рис.1.

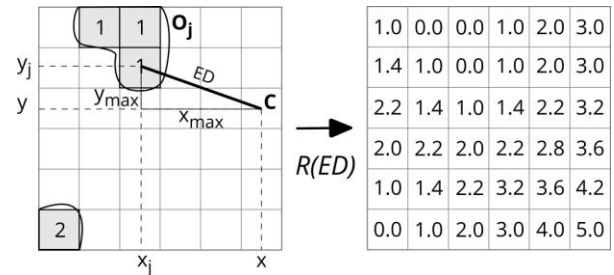


Рис. 1. Схема процесу побудови растру Евклідових відстаней.

B. Використання нечіткої логіки

Використання чітких меж класів, що визначаються за допомогою порогових значень критеріїв, можуть бути обґрунтовані необхідністю виконання суворих вимог (обмежень), що перелічені в таблиці 1. Але для вирішення інших питань розміщення полігону ТПВ, наприклад соціально-економічних, вони можуть виявитися нереалістичними.

Наприклад, будівельними нормами передбачено наявність відстані 200 м від залізничних і автошляхів, однак неможна вважати будь-яку відстань, що перевищує 200 м однаково придатною. Економічно ефективним є близькість полігону до існуючої транспортної мережі. Будівництво нових доріг, особливо на великій відстані, вимагає величезних попередніх витрат. Щоб впоратися з невизначеністю і неточностями, пов'язаними з оцінкою придатності, де важко визначити чіткі межі, доцільним є використання апарату нечіткої логіки [12].

Опис просторової інформації на основі методів нечіткої логіки базується на перетворенні значень атрибутів k -го шару у значення ступені належності до нечіткої множини A_k :

$$A_k = \{ (v, \mu_a^k(v)) / v \in U \}, \quad \mu_a^k(v) : v \rightarrow [0, 1], \quad (7)$$

де v – значення атрибуту, U – безперервна множина значень атрибутів.

Функція належності $\mu_a(v)$ вказує ступінь належності атрибуту v до нечіткої множини A_i . Чим більше $\mu_a(v)$, тим більшою мірою атрибут відповідає властивостям нечіткої множини. Як правило, функція належності будується за участю експерта (групи експертів), таким чином, що ступінь належності приблизно дорівнює інтенсивності прояву деякого фактору. На практиці застосовуються такі види функцій належності: лінійні, трикутні і трапецеїдальні (лінійно-кусові); нелінійні (функція Гауса, сигмоїдальна функція, сплайн).

Фазифікація шарів критеріїв, тобто перетворення їх значень у нечітку множину, дозволяє побудувати набір з

k растрів придатності, кожна комірка яких містить значення функції належності $\mu_a^k(v)$ для атрибуту комірки v :

$$R_k(\mu_a) = \left\{ \left((x_i, y_j), \mu_a^k(v_{ij}^k) \right) \right\}, i = \overline{1, n}, j = \overline{1, m}, k = \overline{1, t}. \quad (8)$$

В подальшому растрові шари критеріїв можуть бути агреговані у комбіновану карту придатності за допомогою нечітких правил виведення і методів мультикритеріального аналізу рішень.

IV. ПРИКЛАД РЕАЛІЗАЦІЇ НЕЧІТКОЇ МОДЕЛІ

Розглянемо приклад реалізації запропонованої нечіткої моделі обробки просторової інформації для фазифікації векторного шару, що містить об'єкти транспортної мережі, який є одним з критеріїв мультикритеріальної моделі по розміщенню полігонів ТПВ на території півдня Одеської області [5]. На рис.2 наведені етапи процесу фазифікації. Векторний шар з лінійними об'єктами транспортної мережі відповідно (5) і (6) був перетворений у растровий шар Евклідових відстаней. Для цього використаний інструмент геобробки пакету ArcGIS ArcToolbox Euclidean Distance (рис.2).

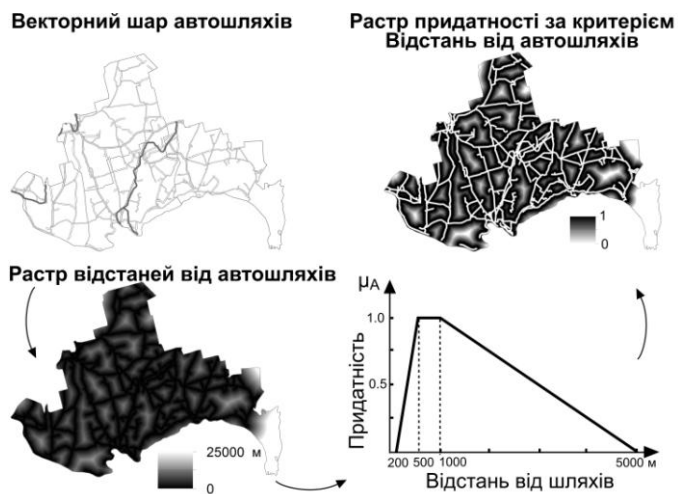


Рис. 2. Схема процесу фазифікації растру відстаней від транспортної мережі.

Растр, що враховує ступень придатності кожної комірки за критерієм Відстань від автошляхів був побудований відповідно до запропонованої експертами кусково-лінійної трапецеїдальної функції належності $\mu_a(v)$, яка була задана аналітичним виразом. Для побудови растру придатності може бути використаний інструмент Fuzzy Membership, але у випадку, коли функція належності, що використовується, не входить до набору цього інструменту, може бути використані інструменти перекласифікації Reclassify і Divide. Більш детально мультикритеріальна модель розглянута у роботі [5], там же наведені методи агрегування комбінованої карти придатності. На рис.3 представлена підсумкова карта придатності для розміщення полігонів ТПВ, яка була побудована з використанням операції нечіткого перетину

(AND) за допомогою інструменту нечіткого накладання Fuzzy Overlay.

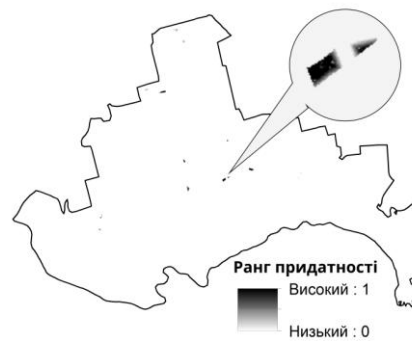


Рис. 3. Комбінована карта придатності території для розміщення полігонів ТПВ.

Таким чином, використання апарату нечіткої логіки дозволяє врахувати невизначеність вихідної інформації, а також отримати більш інформативну карту придатності, за рахунок визначення рангу придатності альтернатив.

ЛІТЕРАТУРА REFERENCES

- [1] Chang N., Parvathinathan G., Breedon J.B.. Combining GIS with fuzzy multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. // Journal of Environmental Management. – 2008. – №87. P. 139–153.
- [2] Gbanie S.P., Tengbe P.B., Momoh J.S., Medo J., Kabba V.T.S. Modelling landfill location using Geographic Information Systems (GIS) and Multi-Criteria Decision Analysis (MCDA): case study Bo. Southern Sierra Leone. // Applied Geography. – 2013. – №36. P. 3–12.
- [3] Giovanni De Feo, Sabino De Gisi. Using MCDA and GIS for hazardous waste landfill siting considering land scarcity for waste disposal. // Waste Management. – 2014. – №34. – P. 2225–2238.
- [4] Abeliotis, K. Life Cycle Assessment in Municipal Solid Waste Management // Integrated Waste Management. – 2011. – Vol. I, Mr. Sunil Kumar (Ed.)
- [5] S. Kuznichenko, L. Kovalenko, I. Buchynska and Y. Gunchenko, "Development of a multi-criteria model for making decisions on the location of solid waste landfills", Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, vol.2, №3(92), 2018, pp. 21–31.
- [6] Кузніченко С.Д., Бучинська І.В. Використання мультикритеріального аналізу прийняття рішень в ГІС.// Міжнародна науково-практична конференція "Інформаційні технології і взаємодії" (IT&I) – Київ. 2017.– с.27-28.
- [7] Saaty, T. L. (1980). The analytic hierarchy process: Planning, priority setting, resources allocation. New York, NY: McGraw, P. 287.
- [8] Saaty, Thomas L. (1996). Decision Making with Dependence and Feedback: The Analytic Network Process. RWS Publications, 4922 Ellsworth Avenue, Pittsburgh, PA. 15213.
- [9] S. Kuznichenko, I. Buchynska. Methodology for creating a GIS-based integrated flood monitoring system // MSTIoE 2017: East European Conference on Mathematical Foundations and Software Technology of Internet of Everything- 21-22.12.2017, Kyiv, Ukraine – Volume 2: Post-proceedings: Revised Selected Papers – P. 19-25.
- [10] Перелигін, Б.В. Методи і засоби обробки моніторингової інформації [Текст] / Б.В.Перелигін, С.Д. Кузніченко. – Одеса: ЕКОЛОГІЯ, 2010. – 224 с.
- [11] Факторный, дискриминантный и кластерный анализы: пер. с англ. Дж.-О. Ким, Ч.У. Мьюллер, У.Р. Клекка и др.; под. ред. И.С.Енюкова.– М., 1989.
- [12] Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. Information and Control, 8 (3), pp. 338–35