

**Кузніченко Світлана Дмитрівна**

кандидат географічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій  
Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна  
ORCID 0000-0001-7982-1298  
*skuznichenko@gmail.com*

**Бучинська Ірина Вікторівна**

аспірант, асистент кафедри інформаційних технологій  
Одеський державний екологічний університет, Одеса, Україна  
ORCID 0000-0002-0393-2781  
*buchinskayaira@gmail.com*

## **ВИБІР ОПЕРАТОРІВ АГРЕГУВАННЯ ДЛЯ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОЦІНКИ ПРИДАТНОСТІ ТЕРИТОРІЙ**

**Анотація.** У статті розглядаються питання підвищення адекватності та обґрунтованості результатів виконання згортки оцінок критеріїв в узагальнену оцінку при проведенні багатокритеріального аналізу придатності територій шляхом вибору відповідного типу оператора агрегування, який може бути виконаний у середовищі ГІС та володіє властивостями, що дозволяють найбільш повно формалізувати експертні знання про особливості даної прикладної області. На основі аналізу причин виникнення нечіткості інформації в багатокритеріальних моделях прийняття рішень сформульовані властивості, якими повинен володіти оператор агрегування. Проведено порівняльний аналіз різних операторів агрегування для побудови комплексних карт придатності територій. Досліджені особливості виконання операторів агрегування: мінімум, максимум, середнє арифметичне, зважена сума, OWA оператор Ягера. Показано, що найбільш обґрунтованим вибором є використання OWA оператор Ягера з нечіткими квантифікаторами, який дозволяє представити експертну інформацію про допустиму форму компромісу між оцінками за окремими критеріями. Запропоновано використання сімейства RIM квантифікаторов для формалізації ставлення ОПР до ризику при прийнятті рішення. Наведено приклад застосування OWA оператора Ягера з нечіткими квантифікаторами для розрахунку згортки оцінок критеріїв. Показано, що OWA оператор Ягера з нечіткими квантифікаторами є універсальним оператором агрегування, тому що має здатність реалізовувати широкий спектр стратегій прийняття рішення: окремими випадками його є оператори мінімуму, максимуму та зваженої суми.

**Ключові слова:** геоінформаційна система; багатокритеріальний аналіз рішень; оператор агрегування; нечіткі квантифікатори; придатність територій.

### **1. ВСТУП**

**Постановка проблеми.** В наш час актуальними є завдання, пов'язані з плануванням і управлінням землекористуванням, вибором місць будівництва промислових та соціальних об'єктів, планування використання земельних ділянок тощо. Ефективна геопросторова багатокритеріальна оцінка території та побудова за її результатами відповідних комплексних карт придатності територій неможливі без використання ГІС-технологій в поєднанні з методами багатокритеріального аналізу рішень (БКАР).

Моделі та методи геопросторового багатокритеріального аналізу рішень дозволяють враховувати безліч просторових факторів, кореляцію між соціально-економічними даними і географічними характеристиками території, а також просторове відношення з іншими об'єктами інфраструктури, що дозволяє виконати оптимізацію економічних, демографічних і соціальних показників спільно з мінімізацією інших

ризиків. Крім того, інструментарій ГІС дозволяє отримати візуальні моделі в картографічній або іншій формі та використовувати матеріали дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) для аналізу умов і моделювання розміщення об'єктів.

Сучасні підходи до розроблення та використання методів БКАР в ГІС поєднують просторову інформацію з оцінками та судженнями експертів та потребують складної пошарової обробки геоданих, зокрема операцій накладання (Overlay) для агрегування оцінок альтернатив за різними критеріями в загальну оцінку придатності. У зв'язку з цим є актуальним питання підвищення адекватності та обґрунтованості результатів виконання згортки критеріїв в узагальнену оцінку придатності шляхом вибору відповідного типу оператора агрегування, який може бути виконаний у середовищі ГІС та володіє властивостями, що дозволяють найбільш повно формалізувати експертні знання про особливості даної прикладної області.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В останні роки спостерігається значне зростання теоретичних та прикладних досліджень щодо інтеграції ГІС та методів БКАР для вирішення різних завдань територіального планування та управління [1], [2]. В роботах [3], [4] авторами пропонуються моделі та методи БКАР для задач розміщення промислових та небезпечних техногенних об'єктів. Недосконалість окремих підходів, яка пов'язана з необхідністю враховувати суб'єктивні і нечіткі фактори для отримання адекватних рішень, призвела до використання в методах БКАР математичного апарату теорії нечітких множин [5]. Одним з аспектів появи нечіткості інформації в БКАР є невизначеність переваг особи, що приймає рішення (ОПР). Зокрема допустимою для ОПР форми компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями. Форма компромісу між оцінками визначає допустиму, з точки зору ОПР, ступінь компенсації більш низьких оцінок більш високим та найчастіше виражається словесно за допомогою суджень виду «альтернатива повинна мати високу оцінку за більшістю (за всіма, за кількома, не менш ніж за половиною) критеріїв». Ці судження також мають нечіткий характер. Таким чином, актуальним є завдання вибору оператора агрегування, який дозволяє найбільш повно представити нечітку інформацію про допустиму для ОПР форму компромісу між оцінками альтернатив за різними критеріями.

**Мета (завдання) дослідження.** Метою дослідження є обґрунтований вибір найбільш прийняттого оператора агрегування для згортки критеріїв в задачах багатокритеріальної оцінки придатності територій. Для цього передбачається вирішити наступні завдання:

- сформулювати властивості, якими повинен володіти оператор агрегування, для того щоб найбільш адекватно представити значущі властивості прикладної області, що розглядається;
- провести порівняльний аналіз використання різних операторів агрегування: мінімуму, максимуму, середнього арифметичного, зваженої суми, ОWA оператора Ягера для побудови комплексних карт придатності територій відповідно до вказаних властивостей;
- навести обґрунтований вибір найбільш підходящого оператора агрегування для згортки оцінок критеріїв в задачах багатокритеріальної оцінки придатності територій.

## 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Багатокритеріальна модель прийняття рішень в ГІС передбачає наявність набору критеріїв оцінки, представлених у вигляді шарів карти, а також набору географічно

визначених альтернатив (наприклад, земельні ділянки). Якщо шари критеріїв представлені в растровій моделі даних, яка має вигляд двовимірної дискретної прямокутної сітки  $x \times y$ , то кожна комірка растру є альтернативою, яка описується своїми просторовими та атрибутивними даними. Запишемо множину альтернатив  $A$ , що оцінюються за критеріями  $C_j$ :

$$A = \{a_{ij} \mid i = \overline{1, m}, j = \overline{1, n}\}, \quad (1)$$

де  $a_{ij}$  – значення атрибуту альтернативи, тобто значення атрибуту за  $j$ -им критерієм  $i$  за  $i$ -ою альтернативою;  $n$  – кількість критеріїв;  $m = m_x \cdot m_y$  – кількість альтернатив (комірок растру).

Багатокритеріальний аналіз рішень полягає в комбінуванні шарів критеріїв відповідно до атрибутів критеріїв та переваг ОПР, використовуючи правило прийняття рішення. Переваги ОПР щодо оцінки критерію визначаються через призначення ваг критеріїв  $0 \leq w_j \leq 1$ , де  $\sum_{j=1}^n w_j = 1$ .

Шари критеріїв, як правило, мають різні діапазони чи шкали значень атрибутів, тому потребують перетворення в порівнянні одиниці, як правило атрибуту масштабують у шкалу  $[0, 1]$ . Для нормування критеріїв можуть бути використані нечіткі множини, в цьому випадку відбувається перетворення значень атрибутів  $i$ -го шару у значення ступенів належності до нечіткої множини  $a_i$ :

$$a_i = \{(x, \mu_a^i(x)) \mid x \in U\}, \quad \mu_a^i(x) : x \rightarrow [0, 1], \quad (2)$$

де  $x$  – значення атрибуту,  $U$  – безперервна множина значень атрибутів.

Функція належності  $\mu_a(x)$  вказує ступінь належності атрибуту  $x$  до нечіткій множини  $a_i$ . Як правило, функція належності будується за участю експерта (групи експертів), таким чином, що ступінь належності приблизно дорівнює ступеню придатності альтернативи за даним критерієм.

Після стандартизації атрибутів виконується згортка оцінок критеріїв відповідно до заданого правила прийняття рішення. Для цього в середовищі ГІС зазвичай використовуються різні оператори агрегування: мінімум, максимум, середнє арифметичне, зважена сума, OWA оператор Ягера [6].

Виконаємо порівняльний аналіз використання різних операторів агрегування. Позначимо оператор агрегування критеріїв як  $\Phi(a_1, \dots, a_n)$ , де  $a_1, \dots, a_n$  – атрибути альтернативи за критеріями, що задаються експертами. Розглянемо властивості, якими повинен володіти даний оператор агрегування.

Властивість неспадання виглядає наступним чином:

$$a_1 \leq a'_1, \dots, a_n \leq a'_n \Rightarrow \Phi(a_1, \dots, a_n) \leq \Phi(a'_1, \dots, a'_n). \quad (3)$$

Тобто при збільшенні значення атрибуту окремого критерію (або ряду критеріїв) результат агрегування також повинен збільшуватися (або не спадати).

Властивість ідемпотентності виражається таким чином:

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n \Rightarrow \Phi(a_1, \dots, a_n) = a_1. \quad (4)$$

Це властивість означає, що якщо все атрибути критеріїв оцінки придатності приймають максимальне значення, тобто альтернатива за думкою експерта «ідеальна у всіх відносинах», то результат агрегування також повинен приймати максимальне значення. Якщо ж атрибути альтернативи за всіма окремими критеріями приймає середнє значення (0.5), то і результат агрегування в цьому випадку повинен бути середнім.

Крім того, властивості оператора агрегування повинні узгоджуватися з наявністю залежностей між окремими критеріями, що є характерною особливістю

прикладної області формалізації експертних знань про придатність територій. Можуть бути також виділені неформалізовані властивості, такі як емпірична придатність, адаптованість і семантична ясність [7].

### 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Розглянемо різні оператори агрегування, з урахуванням перерахованих вище властивостей, обумовлених відповідними особливостями даної прикладної області. Одними з найпопулярніших операторів агрегування є некомпенсаційні оператори мінімуму:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \min(a_1, \dots, a_n). \quad (5)$$

і максимуму:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \max(a_1, \dots, a_n). \quad (6)$$

Використання оператора мінімуму призводить до оцінювання альтернативи на основі лише найнижчого рангу, тобто є песимістичним підходом до прийняття рішення. Оператор максимуму враховує тільки кращі оцінки всіх критеріїв.

Також на практиці в якості оператора агрегування часто застосовується просте середнє арифметичне:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n a_j. \quad (7)$$

Цей оператор має властивості неспадання та ідемпотентності, але не відображає відмінності в значущості окремих критеріїв і не може представити експертні переваги щодо бажаної залежності критеріїв.

Іншим можливим оператором для агрегування критеріїв, який також володіє вказаними властивостями, є зважена сума:

$$\Phi(a_1, \dots, a_n) = \sum_{j=1}^n w_j a_j, \quad (8)$$

де  $w_j$  – вагові коефіцієнти, що визначають суб'єктивну вагу окремих критеріїв,

$$\sum_{j=1}^n w_j = 1.$$

Оператор зважена сума також володіє вказаними раніше властивостями, але недоліком адитивних операторів агрегування є неможливість відобразити експертну інформацію про бажану допустиму форму компромісу між значеннями альтернатив за різними критеріями.

Рішенням проблеми є застосування OWA оператор Ягера з нечіткими квантифікаторами (НК), який дозволяє комбінувати шари карти, зв'язуючи з шарами два типи ваг: ваги критеріїв  $0 \leq w_j \leq 1$  та ваги порядку  $0 \leq \tilde{\lambda}_j \leq 1$ . Формалізований запис OWA оператора Ягера з НК має наступний вигляд:

$$V(a'_i) = \sum_{j=1}^n \tilde{\lambda}_j b_{ij}. \quad (9)$$

де  $V(a'_i)$  – загальна оцінка  $i$ -ої альтернативи;  $b_{i1} \geq b_{i2} \geq \dots \geq b_{in}$  – елементи вектора  $A=(a_1, a_2, \dots, a_n)$  впорядковані за зменшенням. Важливим аспектом даного підходу є те, що вага порядку  $\tilde{\lambda}_j$  пов'язана з позицією елементів в упорядкованому за зменшенням векторі таким чином, що  $\tilde{\lambda}_1$  відповідає найбільшому значенню  $b_j$ , а  $\tilde{\lambda}_n$  – найменшому.

Нечіткі квантифікатори є розширенням класичного набору логічних квантифікаторів, а саме кванторів  $\exists$  («існує») та  $\forall$  («для всіх»), за рахунок введення

нечітких понять «майже для всіх», «приблизно для половини» та ін. Нечітка множина  $Q$ , що задана на одиничному відрізку, називається пропорційним нечітким квантифікатором. Функцію належності даного нечіткого квантифікатора будемо позначати як  $Q(r)$ , де  $r$  – змінна, що показує долю елементів деякої множини  $U$ , що володіє властивістю  $S$  (наприклад,  $r=0,25$ , означає, що властивістю  $S$  володіють 25% елементів множини  $U$ ). Приклади функцій належності різних нечітких квантифікаторів наведені на рис.1.

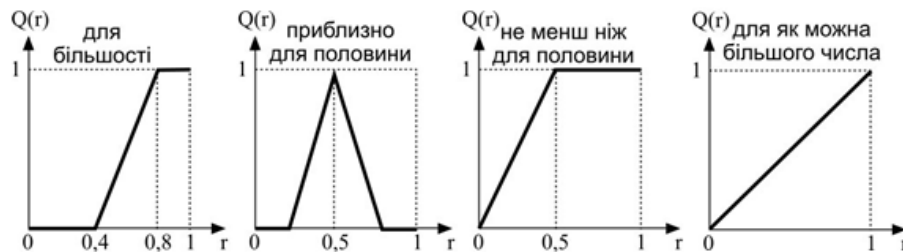


Рис. 1. Приклади функцій належності нечітких квантифікаторів

У випадку, коли для критеріїв заданий набір ваг  $w_1, w_2, \dots, w_n$ , вектор ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  задається у вигляді:

$$\tilde{\lambda}_j = Q\left(\sum_{i=1}^j w_i^b\right) - Q\left(\sum_{i=1}^{j-1} w_i^b\right), \quad (10)$$

де  $w_i^b$  – ваги критеріїв, впорядковані у відповідності зі значенням атрибуту  $b_{ij}$ .

OWA оператора Ягера (7) має схожість з методом зважена сума, але містить змінені ваги критеріїв  $\tilde{\lambda}_j$ . Можна показати, що у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_n = 1/n$ , (7) повністю ідентично оператору зважена сума (6). За рівнянням (7) можна отримати широкий спектр операторів агрегування шляхом вибору відповідного вектора ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$ .

Таким чином, можна говорити про те, що OWA – є універсальним оператором агрегування, тому що має здатність реалізовувати широкий спектр комбінування шарів критеріїв: від мінімуму (у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_{n-1} = 0, \tilde{\lambda}_n = 1$ ), до максимуму (у випадку, коли  $\tilde{\lambda}_1 = 1, \tilde{\lambda}_2 = \dots = \tilde{\lambda}_n = 0$ ). Тобто оператори мінімуму та максимуму є екстремальними випадками оператора OWA.

Для розрахунку набору ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  можуть бути використано сімейство кванторів  $RIM$  (рис.2) [8,9]:

$$Q_\alpha(r) = r^\alpha, \alpha \geq 0. \quad (11)$$

Змінюючи параметр  $\alpha$ , можна генерувати різні типи квантифікаторов від «для всіх» до «принаймні для одного». Вибір конкретного значення  $\alpha$  можна інтерпретувати в контексті схильності ОПР до ризику при прийнятті рішення, тобто є рішення оптимістичним чи песимістичним.

Квантифікатор зі значенням  $\alpha = 1$  зазвичай обирається ОПР, яка є байдужою або нейтральною до ризику. Коли  $\alpha$  прямує до нуля, квантифікатор  $Q$  наближається до свого крайнього стану «принаймні для одного», збільшуючи ступінь прийняття ризику (рівень оптимізму). З іншого боку, будь-яка крива під квантифікатором зі значенням  $\alpha = 1$  відображає ступінь песимістичних стратегій прийняття рішень. Чим ближче крива до крайнього стану «для всіх», тим вище ступінь уникнення ризику. Квантифікатор «для всіх» є надзвичайно песимістичною стратегією прийняття рішень.

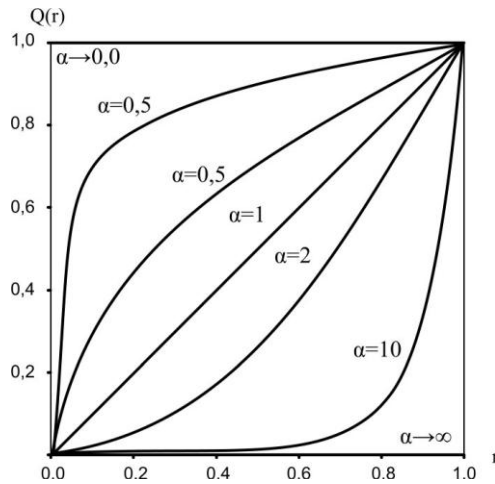


Рис. 2. Сімейство RIM квантифікаторів

Таблиця 1

**Характеристики RIM квантифікаторів при різних значеннях параметру  $\alpha$**

Параметр $\alpha$	Нечіткий квантифікатор ( $Q$ )	Ставлення ОПР до ризику	OWA ваги порядку ( $\tilde{\lambda}_j$ )
$\rightarrow 0$	принаймні для одного	надзвичайно оптимістично (прийняття ризику)	$\tilde{\lambda}_1 = 1; \tilde{\lambda}_k = 0,$ для $k = 2, 3, \dots, n$
0.1	принаймні для декількох	оптимістичний	—
0.5	для декількох	помірно оптимістичний	—
1.0	тотожне відображення	нейтральний	$\tilde{\lambda}_k = 1/n,$ для $k = 1, 2, 3, \dots, n$
2.0	для більшості	помірно песимістичний	—
10.0	майже для всіх	песимістичний	—
$\rightarrow \infty$	для всіх	надзвичайно песимістичний (відмова від ризику)	$\tilde{\lambda}_n = 1; \tilde{\lambda}_k = 0,$ для $k = 1, 2, \dots, n-1$

Параметр  $\alpha$  можна використовувати для розрахунку набору ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  [9]:

$$\tilde{\lambda}_j = \left( \sum_{i=1}^j w_i^b \right)^\alpha - \left( \sum_{i=1}^{j-1} w_i^b \right)^\alpha, \quad (12)$$

де  $w_i^b$  – вага критерію  $w_i$ , упорядкована відповідно до значення атрибута  $b_{ij}$ .

Розглянемо приклад обчислення згортки оцінок альтернативи за 5 критеріями (табл.2) в узагальнений комбінований показник за допомогою OWA-оператора Ягера з НК «для більшості» (рис.2).

Таблиця 2

**Значення атрибутів альтернативи за критеріями**

$C_j$	$C_1$	$C_2$	$C_3$	$C_4$	$C_5$
$w_i$	0.22	0.1	0.35	0.23	0.1
$a_i$	0.8	0.2	0.3	0.4	0.1

Розрахуємо ваги порядку  $\tilde{\lambda}_j$  для значень атрибутів, наведених в табл.2, за формулою (10):

$$\tilde{\lambda}_1 = 0.0484; \tilde{\lambda}_2 = (0.22+0.23)^2 - (0.22)^2 = 0.1541$$

$$\tilde{\lambda}_3 = (0.22+0.23+0.35)^2 - (0.22+0.23)^2 = 0.4375$$

$$\tilde{\lambda}_4 = (0.22+0.23+0.35+0.1)^2 - (0.22+0.23+0.35)^2 = 0.17$$

$$\tilde{\lambda}_5 = (0.22+0.23+0.35+0.1+0.1)^2 - (0.22+0.23+0.35+0.1)^2 = 0.19;$$

Виконаємо агрегування оцінок альтернативи в єдиний показник за формулою (5), використовуючи отриманий вектор  $\tilde{\lambda}=\{0.0484, 0.1541, 0.4375, 0.17, 0.19\}$ :

$$V(a)=0.0484 \cdot 0.8+0.1541 \cdot 0.4+0.4375 \cdot 0.3+0.17 \cdot 0.2+0.19 \cdot 0.1=0.2846.$$

#### 4. ВИСНОВКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

Таким чином для агрегування критеріїв в задачах багатокритеріальної оцінки придатності територій пропонується OWA оператор Ягера з нечіткими квантифікаторами, який дозволяє більш повно відобразити особливості системи переваг ОПР і таким чином підвищити адекватність і обґрунтованість прийнятих рішень та отримати комбіновані карти з широким діапазоном результатів. OWA-оператор є універсальним оператором агрегування, що має здатність реалізовувати широкий спектр комбінування шарів критеріїв: від мінімуму до максимуму.

У випадку коли лінгвістичні квантифікатори задаються відповідними функціями належностей (рис.1), розрахунок ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  виконується за формулою (10). Для спрощення розрахунку ваг порядку  $\tilde{\lambda}_j$  з використанням параметру  $\alpha$ , може бути застосовані RIM квантифікатори (рис. 2) і рівняння (12).

Вектор подальших досліджень може бути спрямований на розв'язання проблеми програмної реалізації OWA-оператор Ягера з нечіткими квантифікаторами у вигляді окремого інструменту для можливості його інтегрування у середовище ГІС.

#### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1]. Malczewski, J., Rinner, C. Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science, *Advances in Geographic Information Science*, Springer, New York, 2015. 331 p. DOI 10.1007/978-3-540-74757-4
- [2]. Rikalovic A., Cosic I., Lazarevic D. GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection, *Procedia Engineering*, 2014. Vol. 69, No. 12. P. 1054 – 1063.
- [3]. Kuznichenko S., Kovalenko L., Buchynska I., Gunchenko Y. Development of a multi-criteria model for making decisions on the location of solid waste landfills. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. Vol.2, No. 3(92). P. 21–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.129287
- [4]. Kuznichenko S., Buchynska I., Kovalenko L., Gunchenko Y. Suitable Site Selection Using Two-Stage GIS-Based Fuzzy Multi-criteria Decision Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Nature Switzerland AG 2020 N. Shakhovska and M. O. Medykovskyy (Eds.): CCSIT 2019, AISC 1080, 2019. P. 214–230. DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0\_16
- [5]. Кузнiченко С.Д., Гунченко Ю.О., Бучинська І.В. Нечітка модель обробки геопросторових даних в мультикритеріальному аналізі придатності територій. Збірник наукових праць Військового інституту Київського національного університету імені Тараса Шевченка. К.: ВiКНУ, № 61. 2018. с. 90-103.
- [6]. Yager R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, 1988. Vol. 18. P. 183–190.

- [7]. Marichal J.-L. Aggregation Operators for Multicriteria Decision Aid. PhD in Sciences University of Liège, Liège, Belgium. 1998.
- [8]. Yager R. Quantifier guided aggregation using OWA operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 11(1), 196. 1996. P. 49–73.
- [9]. Malczewski J. (2006b). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), P. 270–277.

*Матеріал надійшов до редакції \_\_. \_\_. \_\_\_\_р.*

## SELECTION OF AGGREGATION OPERATORS FOR A MULTI-CRITERIA EVALUATION OF SUITABILITY OF TERRITORIES

### **Svitlana D. Kuznichenko**

PhD in Geographical Science, Associate Professor of Department of Information Technology  
Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine  
ORCID 0000-0001-7982-1298  
*skuznichenko@gmail.com*

### **Iryna V. Buchynska**

Postgraduate student of Department of Information Technology  
Odessa State Environmental University, Odessa, Ukraine  
ORCID 0000-0002-0393-2781  
*buchinskayaira@gmail.com*

**Abstract.** The article discusses the issues of improving the adequacy and validity of the results of the convolution of criteria evaluation into a generalized evaluation when conducting a multi-criteria analysis of the land suitability by choosing the appropriate type of aggregation operator that can be performed in the GIS environment and has the properties that allow the most complete formalization of expert knowledge about the features of this applied area. Based on the analysis of the causes of the fuzziness of information in multicriteria decision-making models, the properties that the aggregation operator must have are formulated. A comparative analysis of various aggregation operators for the construction of complex maps of the suitability of territories is carried out. The features of the execution of aggregation operators are investigated: minimum, maximum, arithmetic mean, weighted sum, OWA Yager operator. It is shown that the most justified choice is to use the OWA Yager operator with fuzzy quantifiers, which allows you to provide expert information on the acceptable form of a compromise between evaluations by individual criteria. The use of a family of the RIM quantifiers to formalize the attitude of DM to risk in making decisions is proposed. An example of the use of the OWA Yager operator with fuzzy quantifiers for calculating the convolution of criteria evaluations is given. It is shown that the Yager OWA operator with fuzzy quantifiers is a universal aggregation operator, since it has the ability to implement a wide range of decision-making strategies: from minimum operator to maximum operator.

**Keywords:** geographic information systems; multicriteria decision analysis; aggregation operator; fuzzy quantifier; land suitability analyses.

## REFERENCES

- [1]. Malczewski, J., Rinner, C. *Multicriteria Decision Analysis in Geographic Information Science*, *Advances in Geographic Information Science*, Springer, New York, 2015. 331 p. DOI 10.1007/978-3-540-74757-4



- [2]. Rikalovic A., Cosic I., Lazarevic D. GIS Based Multi-Criteria Analysis for Industrial Site Selection, *Procedia Engineering*, 2014. Vol. 69, No. 12. P. 1054 – 1063.
- [3]. Kuznichenko S., Kovalenko L., Buchynska I., Gunchenko Y. Development of a multi-criteria model for making decisions on the location of solid waste landfills. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2018. Vol.2, No. 3(92). P. 21–31. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.129287
- [4]. Kuznichenko S., Buchynska I., Kovalenko L., Gunchenko Y. Suitable Site Selection Using Two-Stage GIS-Based Fuzzy Multi-criteria Decision Analysis. *Advances in Intelligent Systems and Computing*. Springer Nature Switzerland AG 2020 N. Shakhovska and M. O. Medykovskyy (Eds.): CCSIT 2019, AISC 1080, 2019. P. 214–230. DOI: 10.1007/978-3-030-33695-0\_16
- [5]. Kuznichenko S.D., Gunchenko Yu.O., Buchynska I.V. Fuzzy model of geospatial data processing in multi-criteria suitability analyses. *Zbirnik naukovih prac' Vijs'kovogo institutu Kiivs'kogo nacional'nogo universitetu imeni Tarasa Shevchenka. K.VIKNU, № 61. 2018. s. 90-103. (in Ukrainian)*
- [6]. Yager R. On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decision making, *IEEE Transactions on System, Man, and Cybernetics*, 1988. Vol. 18. P. 183–190.
- [7]. Marichal J.-L. *Aggregation Operators for Multicriteria Decision Aid*. PhD in Sciences University of Liège, Liège, Belgium.1998.
- [8]. Yager R. Quantifier guided aggregation using OWA operators. *International Journal of Intelligent Systems*, 11(1), 196. 1996. P. 49–73.
- [9]. Malczewski J. (2006b). Ordered weighted averaging with fuzzy quantifiers: GIS-based multicriteria evaluation for land-use suitability analysis. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 8(4), P. 270–277.