

УДК 528:711

Є. П. Волчко, д.т.н., проф. А. А. Лященко,  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## ГЕОІНФОРМАЦІЙНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ ЕКОЛОГІЧНИХ ФАКТОРІВ НА ГРОШОВУ ОЦІНКУ ЗЕМЕЛЬНИХ ДІЛЯНОК

*Подается класифікація цифрових моделей міського середовища в ГІС, розглянуто особливості застосування полігональних та GRID-моделей техногенних полів та методів нечітких множин для врахування впливу екологічних факторів на грошову оцінку земельних ділянок.*

**Вступ.** Екологічні фактори об'єктивно належать до основних чинників, що впливають на вартість нерухомості. В контексті оцінки нерухомості вони розглядаються як сукупність природних і природно-антропогенних факторів, що не є засобами праці, предметами споживання або джерелами енергії та сировини, але безпосередньо впливають на ефективність, екологічну комфортність і корисність використання об'єктів нерухомості. З економічної точки зору ці фактори пов'язані, як правило, зі збитками реципієнтам залежно від техногенного забруднення навколишнього середовища. При оцінці нерухомості екологічні умови можна розглядати як певну екологічну інфраструктуру, що істотно впливає на цінність (вартість) об'єкта. Цінність цієї інфраструктури, виражена у вартісній (грошовій) формі, визначає внесок екологічних факторів у вартість об'єкта нерухомості. Водночас, автори багатьох публікацій підкреслюють, що в країнах пострадянського простору спостерігається недостатнє відбиття "екологічних благ" при визначенні вартості нерухомості, та ця ситуація пов'язана з низькою інформованістю учасників ринку, а також з недостатньо високою екологічною культурою контрагентів, що працюють на ринку нерухомості. За експертними оцінками зарубіжних фахівців, частка екологічних факторів, наприклад, при оцінці житла складає 10 - 12%, а при оцінці інших об'єктів може сягати 75% їх ринкової вартості [1, 2, 7 - 9].

Застосування геоінформаційних систем (ГІС) для моделювання впливу техногенних факторів та їх врахування в містобудівній, природоохоронній та землеоціночній діяльності зумовлено важливістю власне просторової (географічної) складової у моделях просторового положення джерел забруднення, полів поширення техногенного забруднення від них та рівня їх впливу на довкілля, рослинний, тваринний світ та людей. Ефективність застосування ГІС в екологічній сфері залежить від адекватності моделей

процесам і явищам, що відбуваються і взаємодіють на території, а також від гнучкості цих моделей в сенсі адаптування до неповних та різночасових вихідних даних про територію й джерела забруднення.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій та постановка задачі.** Грошову і еколого-економічну оцінку міських земель та іншої нерухомості можна віднести до однією з сфер діяльності, що характеризується широким та інтенсивним застосуванням геоінформаційних технологій. Про це свідчить, лавина публікацій в науковій періодиці та Інтернет з питань теорії і практики застосування ГІС в еколого-економічній сфері. Приведені в переліку літератури праці далеко не вичерпують всі напрями застосування ГІС в означеній сфері, вони лише ідентифікують основні тенденції, найближчі до проблематики, що розглядається. Ще до недавня застосування ГІС в екологічній сфері зводилося в основному до цифрового моделювання тематичних карт за зібраними даними щодо джерел та рівня забруднення довкілля. Нинішній етап інформатизації геоекологічної сфери можна характеризувати як перехід від використання даних до використання знань зі створенням відповідних "інтелектуальних" засобів, які забезпечують використання не тільки детермінованих моделей, а й генерування та/або параметричне налаштування моделей в залежності від повноти вхідних даних, складу, структури та взаємозв'язків об'єктів (процесів), що моделюються.

Більшість публікацій присвячено застосуванню ГІС для нормативної (в Україні), кадастрової (в Російській Федерації) та масової і ринкової (в інших країнах) грошової оцінки земель, методики виконання яких передбачають обов'язкове врахування екологічних факторів. Кінцевим результатом цих проектів є оціночне (економіко-планувальне) або еколого-економічне зонування території міста та множина цифрових моделей зон впливу локальних факторів, як базису застосування додаткових коефіцієнтів для врахування в грошовій оцінці планувальних, інженерно-геологічних, інженерно-інфраструктурних, санітарно-гігієнічних та інших умов розташування конкретного об'єкту (земельної ділянки чи іншої нерухомості) на території міста.

В ГІС нового покоління поєднуються геоінформаційні моделі, засновані на просторових властивостях і просторовій взаємодії об'єктів та явищ, і засоби, що базуються на методах і технологіях штучного інтелекту (нечітка логіка, нейронні мережі, тощо) [3, 5, 10, 11].

**Виклад основного матеріалу.** Оцінка стану довкілля опирається на комплекс показників, різних за своєю фізичною природою та базованих на різних способах вимірювання й контролю. Дотепер практично відсутні досить прості та об'єктивні методики об'єднання різних показників і властивостей у

єдину систему кількісних оцінок стану об'єктів довкілля. Найбільше поширення отримали наступні методи визначення показників екологічного стану: експериментальний (здійснюваний за допомогою технічних засобів вимірювання і контролю); розрахунковий (здійснюваний на основі статистичних та інших моделей обчислень із використанням значень параметрів, знайдених іншими методами); експертний (заснований на врахуванні суджень та оцінок групи фахівців-експертів).

Стосовно конкретних показників стану природних об'єктів базовими показниками є значення гранично допустимої концентрації (ГДК) або в порівнянні з фоном, за який береться відносно задовільний стан території. Вибір базових показників визначається завданням дослідження: фонові концентрації використовуються для повного, точного вивчення техногенних змін, у той час як ГДК використовують при оцінці якості природного середовища, зокрема в контексті грошової оцінки земель.

За результати аналізу публікацій щодо застосування ГІС в моніторинговій, природоохоронній та еколого-економічній сферах пропонується система класифікації геоінформаційних моделей території (рис. 1), яка відображає такі сучасні підходи:

просторово-планувальна структура міської території подається в ГІС полігональними моделями земельних ділянок, будівель та споруд, містобудівного, кадастрового та еколого-економічного зонування території;

просторові моделі негативних процесів і явищ в ГІС можуть подаватися як полігональними моделями меж джерел забруднення та зон впливу факторів, так і дискретними GRID - моделями (регулярними сітковими моделями) географічних полів рівнів прояву факторів та/або полів оцінок їх впливу;

оцінка за своїм змістом може бути: диференційна по кожному окремому фактору; інтегрована або комплексна загальна за групою або всіма факторами; цільова (диференційна або комплексна), в якій оцінюється вплив з урахуванням видів функціонального використання земель або видів об'єктів нерухомості.

Для моделювання рівня прояву факторів та їх просторового поширення на території (в залежності від місця розташування та потужності джерел забруднення, типу міського ландшафту, кліматичних, геоморфологічних, геологічних, гідрологічних та інших умов) використовується широкий спектр детермінованих та стохастичних моделей – від стандартних методів математичної статистики, регресійного аналізу до методів і технологій нейронних мереж, експертних систем, нечіткої класифікації та нечіткої логіки.

У проектах нормативної грошової оцінки земель розрахунок комплексного індексу стану довкілля міської території здійснюється на множині оціночних районів з використанням польових та/або експертних даних

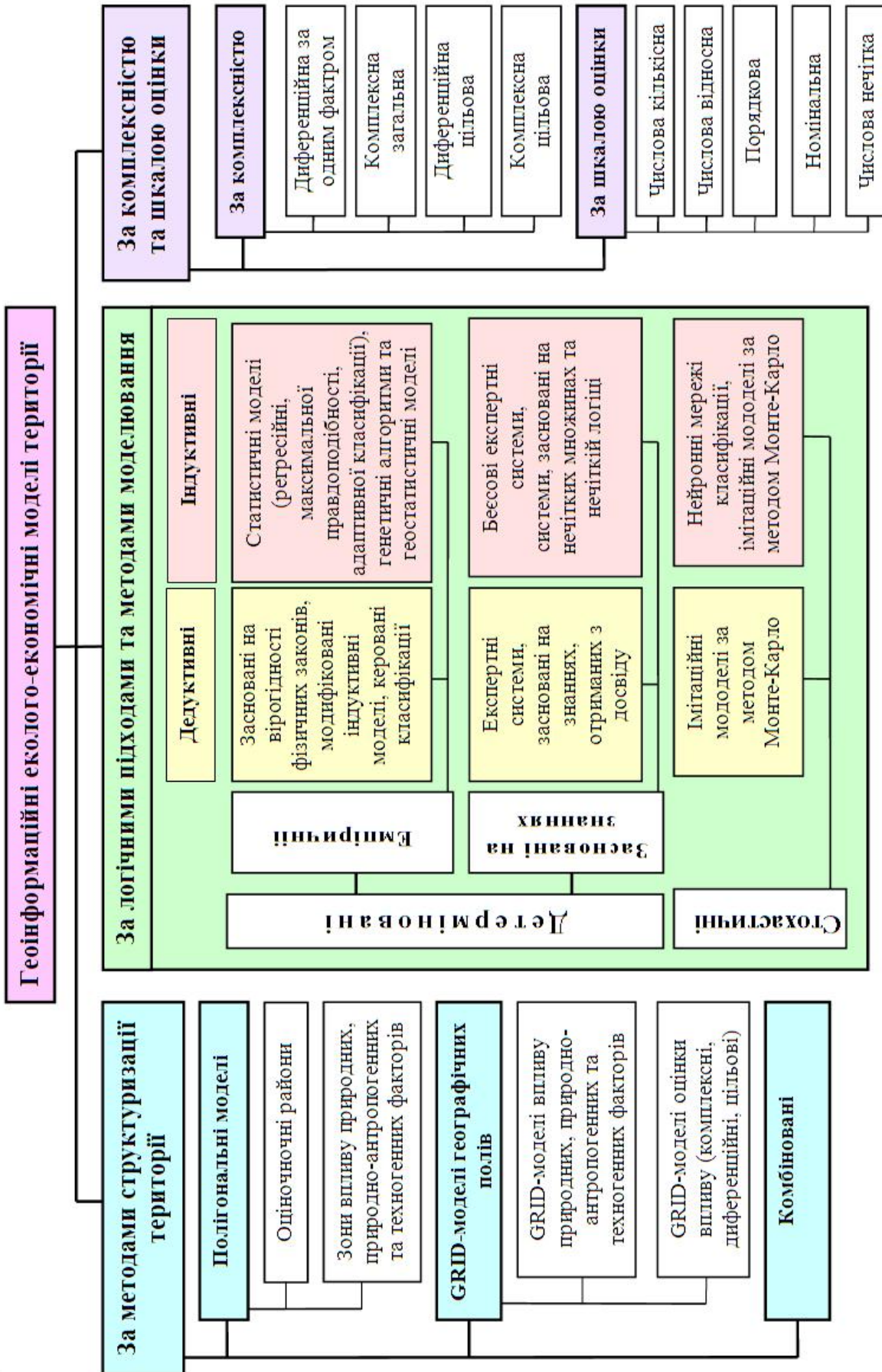


Рис. 1. Схема класифікації геоінформаційних еколого-економічних моделей міської території

щодо кожного виду забруднення. Крупність одного оціночного району (ОЦР) визначається неперервністю територіального поширення певного домінуючого типу функціонального використання земель.

Якість довкілля районів оцінюється в ГІС на основі результатів оверлейного аналізу перекриття території районів із зонами забруднення середовища (рис. 2). Результатом цього аналізу є цифрова модель забруднення ОЦР, яка відображається схемою відношень типу:  $MCP\_M33 (N_{ij}, H_{33}, F_{ij\_33})$ , де  $F_{ij\_33}$  – частка площі ОЦР з номером  $N_{ij}$ , якою він перекривається із зоною  $H_{33}$  певного виду та рівня забруднення.

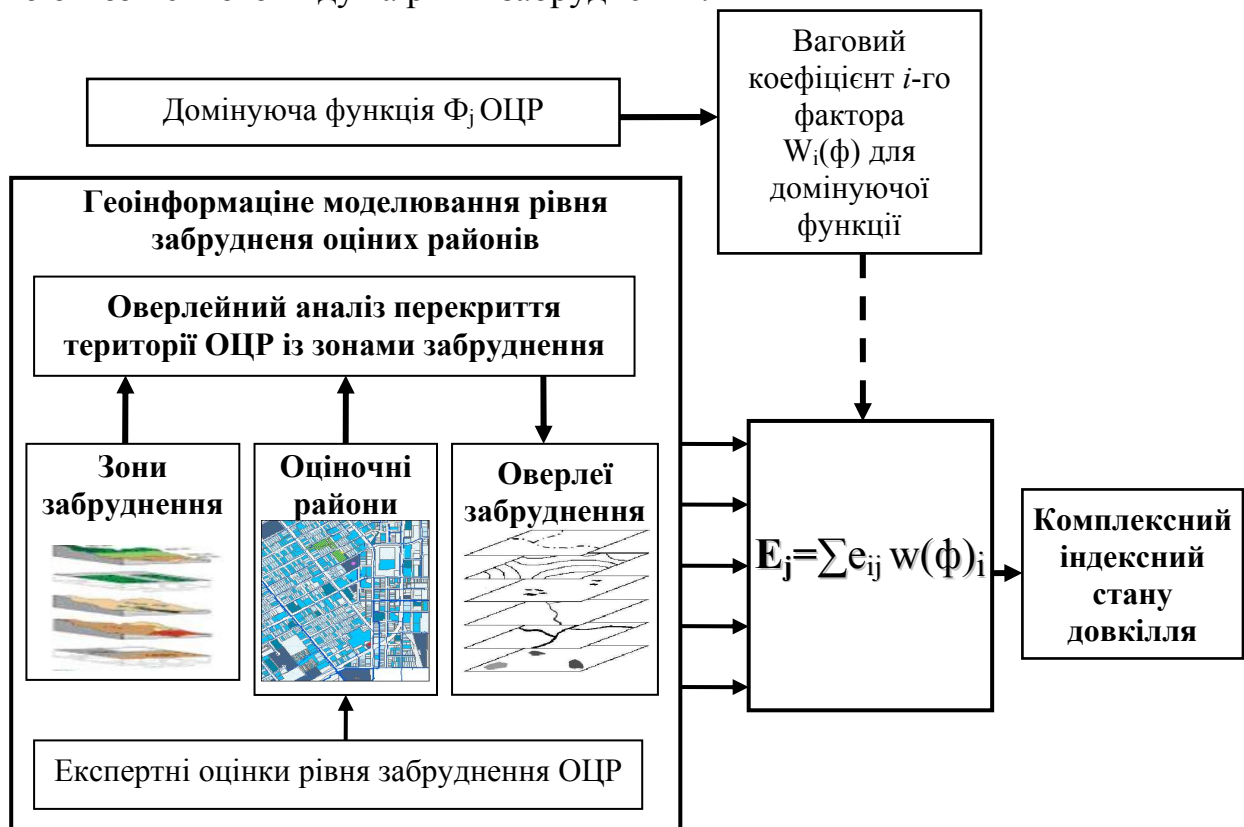


Рис. 2. Схема ГІС-моделювання комплексного індексу стану довкілля з використанням полігональних моделей зон забруднення та оціночних районів

Розрахунок індексу стану довкілля оціночного району на основі відношення  $MCP\_M33$  виконується у такій послідовності:

– перехід від натуральних показників забруднення до еластичних (бальних) оцінок, наприклад такі, що відповідають категоріями: сприятливі, умовно сприятливі та несприятливі умови, тощо;

– розрахунок середньозважених оцінок забрудненості ОЦР  $y_{ij} = \sum_k S_{ik}^j B_k$ ,

де  $y_{ij}$  - середньозважена бальна оцінка забрудненості  $i$ -го району  $j$ -тим видом забруднення;  $S_{ik}^j$  - частка площі  $i$ -го району, яка знаходиться під впливом  $k$ -тої зони  $j$ -того виду забруднення;  $B_k$  - бальна оцінка рівня забруднення  $k$ -тої зони.

- розрахунок середньозваженої оцінки для території міста за  $j$ -тим видом забруднення  $y_{jc}$ ;
- визначення індексу стану довкілля кожного району за  $j$ -тим видом забруднення  $e_{ij} = y_{jc} / y_{ij}$ ;
- розрахунок інтегральних індексів екологічної якості оціночних районів як:  $E_i = \sum e_{ij} w(\phi)_j$ , де  $e_{ij}$  - індекс стану довкілля району за  $j$ -тим видом забруднення;  $w(\phi)_j$  - ваговий коефіцієнт впливу  $j$ -го фактору з урахуванням домінуючого виду функціонального використання території ОЦР.

Значні площі оціночних районів, в порівнянні з площами окремих земельних ділянок, впливають на сферу застосування індексу  $E_i$ . Він використовується як складова при визначення комплексного індексу містобудівної якості ОЦР з метою економіко-планувального зонування території міста в проектах нормативної грошової оцінки земель. При експертній оцінці земельних ділянок індекс  $E_i$  можна використовувати як експрес оцінку стану довкілля. В порівняльному підході така оцінка дозволяє наближено зіставити екологічні умови місцезросташування ділянок, що потенційно можуть стати об'єктами заміщення (аналогами), з екологічними умови місцезросташування ділянки, що оцінюється, не вдаючись до детального аналізу впливу окремих екологічних факторів. При значних розбіжностях в значеннях індексів  $E_i$  для районів ділянок-аналогів та ділянки, що оцінюється, необхідно перейти до порівняння прояву негативних факторів на локальному рівні, тобто на рівні геоінформаційного аналізу просторових відношень земельних ділянок та зон впливу локальних факторів санітарно-гігієнічної групи.

Якіснішого моделювання прояву екологічних факторів та їх впливу на грошову оцінку нерухомості можна досягти на основі використання GRID-моделей географічних полів [6 – 9], які в геоінформатиці належать до базових моделей дискретного подання просторового розподілу функцій двох змінних виду  $Z=f(X,Y)$  упорядкованою множиною значень  $z_{ij}$  у вузлах регулярної сітки (*GRID-модель вузлова*) або у регулярно розташованих чарунках (комірках) однакового розміру та форми (*GRID-модель чарункова*). Комірка GRID-моделі відображає частину географічного простору як однорідну за своїми властивостями. У випадку моделі рельєфу вона має середнє значення абсолютної висоти відповідної ділянки поверхні, або усереднене значення рівня забруднення - у випадку моделювання техногенного поля.

GRID-модель прояву кількох факторів можна подати як багат шарову модель у вигляді сукупності окремих двовимірних сіток (по одній для кожного фактора) або як одну багатовимірну сітку з множиною значень прояву факторів  $a_{ijk}$ ,  $i = 1, 2, \dots, m1$ ;  $j = 1, 2, \dots, m2$ ;  $k = 1, 2, \dots, n$ ; де  $i, j$  – номер чарунки регулярної сітки розмірністю  $m1 \times m2$ ;  $k$  – номер типу фактора;  $n$  – число типів

факторів. Можна сказати, що кожна чарунка GRID - моделі містить вектор значень рівнів прояву факторів  $A_{ij}$  ( $a_1, a_2, \dots, a_k, \dots, a_n$ ), а її цифрова модель описується таким відношенням:  $SGRID(I, J, A_1, A_2, \dots, A_n, GeomGRD)$ , де  $I, J$  – номер чарунки регулярної сітки;  $A_1, A_2, \dots, A_n$  – значення рівня забруднення для  $n$  типів,  $GeomGRD$  - координатами чотирьох вузлів чарунки. Оптимальний крок сітки, як показано в [5], вибирається за умови попадання найменшого об'єкта нерухомості в середньому максимум в чотири клітинки з ймовірністю близькою до 1. Для будинків такий крок рівний 25 – 30 м.

На рис. 3 подано узагальнену схему геоінформаційного моделювання впливу техногенних факторів на грошову оцінку нерухомості з використанням GRID-модель та нечітких множин. Тенденція до застосування методів нечітких множин для еколого-економічного моделювання міських територій, що спостерігається в останні роки, об'єктивно зумовлена складністю як завдань моделювання прояву окремих факторів, так і особливо завдань прийняття рішень щодо взаємозв'язку, взаємодії та інтегрованого впливу сукупності факторів на певну територію. Адже йдеться про моделювання та врахування декількох десятків факторів сумісно з цифровими моделями рельєфу, ґрунтів, гідрографічної мережі, геологічних та гідрологічних умов, функціонального використання земель і, навіть, демографічними моделями та чисельністю населення в окремих будинках, кварталах та мікрорайонах. За своїм змістом та структурою це завдання відноситься до класу слабоформалізованих, в яких має місце і складність побудови математичних моделей багатофакторних функціональних залежностей, а також формулювання обмежень та правил їх застосування. Часто, при вирішенні таких завдань ліпше спрацює інтуїція досвідченого експерта, аніж вишукана складна математична модель. Ефективним компромісом для моделювання слабоформалізованих завдань є застосування методів нечіткої логіки, які дозволяють одержувати рішення, хоча й наближені, але не гірші, ніж при використанні складних математичних моделей.

Традиційно в практиці вирішення завдань містобудівного, економічного та еколого-економічного оцінювання міської території професійні експерти (проектувальники, економісти, географи, оцінювачі та інші) уже давно використовують аналогічний підхід для подолання складнощів (багатофакторності, різновимірності та різнотипності шкал кількісних і якісних показників) в оцінках міського середовища. На певному етапі виконується перехід від чітких значень та якісних оцінок окремих факторів до порядкових шкал, що відображають рівень забруднення  $R$  в порівнянні з ГДК, наприклад:  $R \ll ГДК$ ,  $R < ГДК$ ,  $R = ГДК$ ,  $R > ГДК$  та  $R \gg ГДК$ , яким у відповідність ставлять номінальну шкалу лексичних змінних для категорій рівня забруднення

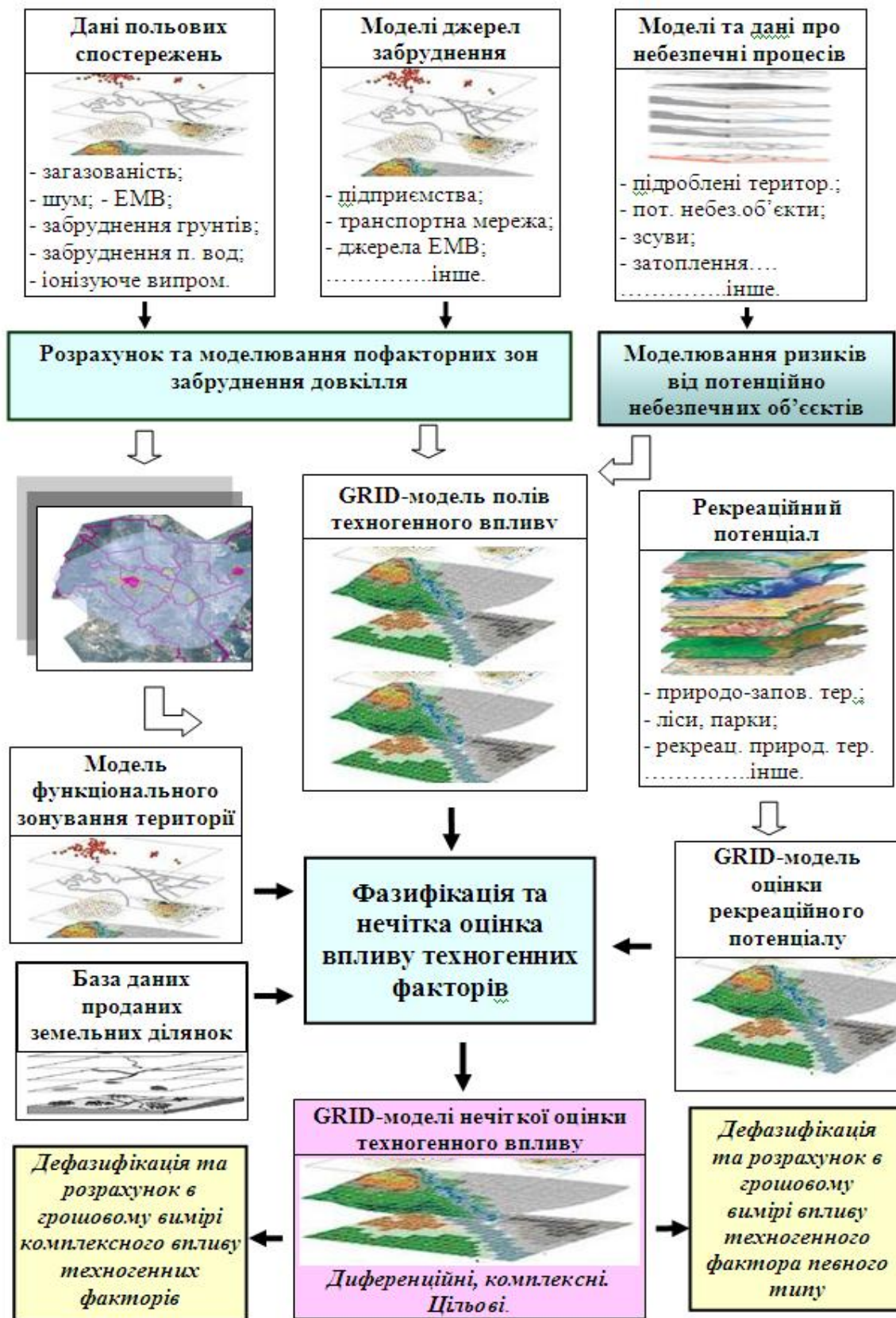


Рис. 3. Узагальнена схема геоінформаційного моделювання впливу техногенних факторів з використанням GRID-моделей та нечітких множин

території, наприклад: *низький, умовно задовільний, граничний, високий, критичний*. Для числового моделювання переходять до бальних оцінок кожної категорії, а інтегрований індекс розраховується як сума зважених бальних оцінок.

У випадку застосування нечітких чисел замість бальної оцінки для кожного показника необхідно задати функцію належності  $\mu_A(x)$ , яка перетворює чітке значення або порядкову шкалу оцінки в значення ступеня належності оцінюваного об'єкта (процесу, явища) до певної категорії. Доменом значень нечіткої оцінки належності є інтервал дійсних чисел від 0 до 1. Наприклад, для забруднення атмосферного повітря (табл. 1) можна застосувати таку номінальну, порядкову та нечітку оцінку.

Таблиця 1

Оцінка рівня забруднення атмосферного повітря за:		
номінальною шкалою	порядковою шкалою	функцією належності $\mu_A(x)$
Умовно чистий	0,1 ГДК <	0,1
Допустимий	0,1 - 0,7	0,4
Забруднений	0,7 - 1	0,7
Дуже забруднений	1 - 4	0,9
Критичний	> 4	1

Функція належності рівня забруднення атмосферного повітря до критичного побудована прямим методом та має вид сигмоїдної кривої (рис. 4):

$$\mu_A(x) = \frac{1}{1 + e^{-4(x-0,8)}}, \text{ де } x - \text{рівень забруднення повітря в ГДК.}$$

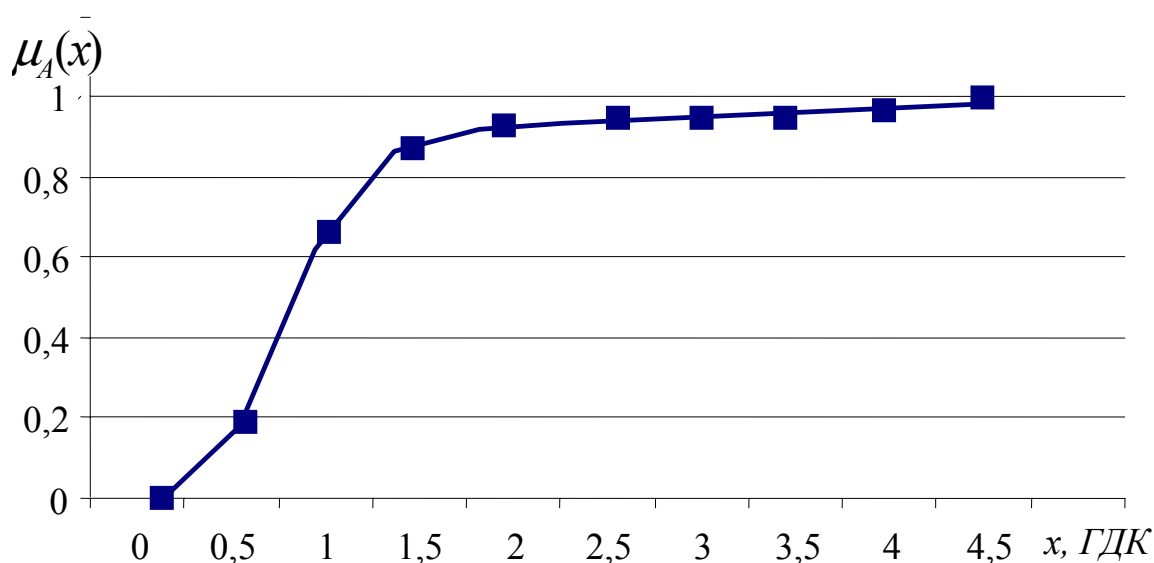


Рис. 4. °Графік функції належності для рівня забруднення повітря

Аналогічні функції належності визначаються для нечіткої оцінки рівня акустичного забруднення, електромагнітного випромінювання, хімічного забруднення ґрунтів, забруднення снігового покриву, механічного забруднення, підтоплення тощо. З використанням даних спостережень про забруднення території, джерел забруднення та їх потужності, даних про небезпечні геологічні процеси природного та антропогенного походження для кожної клітинки GRID-моделі розраховується рівень прояву кожного, а також рівень рекреаційного потенціалу в залежності від доступності до лісопарків, пляжів, річок тощо. На наступному кроці з використанням множини функцій належності будується GRID-модель нечітких оцінок рівнів забруднення, прояву небезпечних процесів та рекреаційного потенціалу в кожній клітинці сітки. Заключний етап оцінки впливу екологічних факторів на грошову оцінку земельних ділянок виконується за методологією прийняття рішень, виходячи з множини нечітких оцінок рівнів прояву факторів та бази даних проданих земельних ділянок. Кожне нечітке k-правило прийняття рішень формулюються за схемою "якщо рівень прояву фактору A1 та фактору A2 та ... , то ... застосовується функція  $f_k(a)$  з вагою  $w_k$  для розрахунку рівня впливу екологічних факторів на грошову оцінку земельної ділянки. Для зменшення кількості правил виведення доцільно використовувати ієрархічну схему правил на основі групування правил для окремих видів забруднення. Для кожного виду функціонального використання може бути сформована своя підмножина правил.

**Висновки.** Аналіз напрямів та моделей застосування ГІС для врахування впливу екологічних факторів на грошову оцінку земель показує тенденцію до використання GRID-моделей подання полів рівнів прояву окремих факторів на території міста та застосування методів нечітких множин як основи прийняття рішень щодо визначення в грошовому вимірі рівня впливу екологічних факторів на вартість нерухомості. Ефективність та точність таких моделей і методів природно буде визначатися повнотою інформації щодо проданих земельних ділянок. Вибір та обґрунтування множини правил виведення для прийняття рішень щодо впливу екологічних факторів на грошову оцінку земельних ділянок з врахуванням видів функціонального використання потребує подальших досліджень.

### Література

1. Волчко Є. Класифікація чинників навколишнього середовища техногенного походження та їх вплив на вартість об'єктів нерухомості в контексті ДС-матриці // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2007 - Вип. 2. – С.141-148.
2. Гавриленко Ю., Кузнецова Д. Анализ подходов к оценке недвижимости с учетом влияния вредных факторов на стоимость недвижимости // Сучасні досягнення геодезичної науки та виробництва, 2007 – Вип.. 1. – С. 229 - 236.

3. Жуков Д. М., Галкина Ю. Н. Применение нейросетевых моделей в оценке городских земель // Вестник ВГУ, серия: Экономика и управление. – Воронеж, 2008. - № 2. - С. 40 – 43.
4. Замай С.С., Охонин В.А., Якубайлик О.Э. Нейронные сети и ГИС // Учеб. пособие “Основы геоинформатики“. – М.: ИЦ “Академия“. – 2004. – С. 255 – 266. [<http://www.torins.ru/demo/download/NeuroGIS.pdf>].
5. Лященко А.А. Визначення параметрів для просторової індексації об’єктів в базах геопросторових даних кадастрових ГІС. // Інженерна геодезія. Наук.-техн. зб. Вип. 46. - К.: КНУБА, 2001. – С. 158-166..
6. Палеха Ю.М. Застосування картографічних методів у процесі зонування території населених пунктів для грошової оцінки // Вісник геодезії та картографії. – 2007. – №6. С.30 – 36.
7. Сизов А.П. Оценка городских земель : Учеб. пос. / МосГУГК. – М., 1996. – 82 с.
8. Трифонова Т.А., Краснощёков А.Н. Оценка экологической компоненты в кадастре земель урбанизированных территорий // ArcReview, М:Дата +, 2008. - № 4 (47) – с. 17 – 18.
9. Шилова Т.А. Методологические основы комплексной экологической оценки территории города // Містобудування та територіальне планування: Наук.-техн. збірник. – К.: КНУБА, 1998. – Вип. 2. – С. 116 – 121.
10. Gerrit J. Carsjens, Arend Ligtenberg. A GIS-based support tool for sustainable spatial planning in metropolitan areas // Landscape and Urban Planning. - № 80 - 2007. – pp. 72–83. [[www.Elsevier.com/locate/landurbplan](http://www.Elsevier.com/locate/landurbplan)].
11. Sludmore A. K. Environmrnl Modelling with CIS and Remote Sensin. – – London: Taylor & Francis Group, 2002. – 259 p.

### **Аннотация**

Представлена классификация цифровых моделей городской среды в ГИС, рассмотрены особенности применения полигональных и GRID-моделей техногенных полей и методов нечетких множеств для учета влияния экологических факторов на денежную оценку земельных участков.

### **Annotation**

The classification of digital models of urban areas used in GIS is presented in the paper. The polygon- and GRID-models for modeling of environmental factor influence and fuzzy set are applied for incorporation of environmental factors into valuation of urban land.