

**ЗАСТОСУВАННЯ ТРЕНДОВИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ
СТАТИСТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ НА ОСНОВІ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ**

В.В. ПУТРЕНКО

Досліджено застосування трендових геопросторових статистичних моделей в аналізі даних сталого розвитку України. Розглянуто математичний апарат, який використовується під час побудови трендових геопросторових статистичних моделей. На прикладі даних ієрархічної моделі сталого розвитку проведено дослідження геопросторових трендів та природи їх виникнення шляхом побудови поліноміальних регресійних моделей, що базуються на обробці геопросторово прив'язаних даних. Розроблено методику детекції геопросторових трендів в ієрархічних моделях даних на основі картографічних методів та поліномів першого і другого порядку. Запропоновано використання картометричних методів для оцінки параметрів геопросторових трендів. Обґрунтовано використання методів побудови геопросторових трендів як складової інтелектуального аналізу даних.

ВСТУП

Накопичення значних обсягів даних спонукало до розвитку напряму інтелектуального аналізу, який спрямовано на виявлення прихованих закономірностей та залежностей у великих сховищах даних. Одним із напрямів інтелектуального аналізу даних є інтелектуальний аналіз геопросторових даних (ІАГД), який базується на використанні інформації про геопросторове розташування об'єктів у локальних та глобальних системах координат. Серед широкого кола методів обробки та аналізу даних, які використовуються в інтелектуальному аналізі даних значне місце посідають методи трендового аналізу. Найбільший розвиток методи статистичного трендового аналізу здобули під час аналізу часових рядів та побудові прогнозних моделей динаміки явищ. Просторові тренди вже були достатньо добре вивчені в рамках статистичної обробки інформації, відображення багатомірних просторів та зменшення розмірності даних.

Проте дослідження геопросторових статистичних трендів найбільш активно почалось разом із розвитком геостатистичних методів у складі інтелектуального аналізу геопросторових даних. Основними складностями у вивченні геопросторових трендів були проблеми з накопиченням геопросторових даних, складності інтерпретації трендової моделі та значні можливості виникнення статистичного шуму, пов'язаного з особливостями

навколишнього середовища та похибок вимірів. Найбільших успіхів у дослідженні геопросторових трендів було досягнуто в метеорології та кліматології, що дозволило з'ясувати глобальні тренди у зміні температур та властивостей повітряних мас. Сьогодні моделі трендового аналізу є корисними у вивченні геологічних структур, екологічних проблем, соціально-економічних явищ тощо.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ

Особливістю використання трендової моделі є глобальність та абстрактність отриманих результатів оцінювання, що може ускладнювати процес їх інтерпретації для підтримки прийняття рішень. З іншого боку, результати аналізу трендової моделі можуть бути основою для виявлення глибинних зв'язків, які існують між даними.

У галузі інтелектуального аналізу даних в Україні широко відомі роботи Інституту прикладного системного аналізу НТУУ «КПІ», Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку М.З. Згуровського, Н.Д. Панкратової, А.І. Петренка, А.О. Болдака [1–4]. Питання використання трендових геопросторових моделей розглядалось у роботах Ашкана Зарнані, Масуда Рахгозара, Сімона Блекмора, Шаші Шекшара, Пушенга Занга, Яна Хуанга, Ранга Раю Ватсавайя [5–8].

Метою роботи є виявлення та дослідження трендових геопросторових статистичних моделей в інтелектуальному аналізі складових моделі сталого розвитку України.

Завданням статті є визначення методологічних основ використання трендового аналізу геопросторових даних, математичного апарату побудови трендових поверхонь, аналіз за допомогою виявлення геопросторових трендів даних щодо сталого розвитку України та їх інтерпретації.

ГЛОБАЛЬНІ МЕТОДИ ІНТЕРПОЛЯЦІЇ ТРЕНДОВИХ ПОВЕРХОНЬ

Глобальні методи інтерполяції одночасно використовують всі наявні дані для виконання прогнозу для всієї території, тоді як локальні методи оперують у межах невеликих зон навкруги належних інтерполяції вузлів для того, щоб забезпечити виконання оцінки тільки за даними, розміщеними в безпосередній близькості від точок прогнозу або оцінювання.

Глобальні інтерполяції, як правило, використовуються не для безпосередньої інтерполяції, а для дослідження і можливого видалення ефекту глобальних варіацій (тренду), обумовлених зовнішніми чинниками. Після того, як глобальні ефекти будуть видалені, відхилення від глобальних варіацій можуть інтерполюватися з використанням локальних методів.

Глобальні методи є простими для обчислення і часто базуються на стандартних статистичних прийомах варіаційного аналізу і регресії. До них відносять [9]:

- класифікації з використанням зовнішньої інформації;
- поліноміальну регресію з геометричними координатами;
- регресійні моделі.

Класифікаційні методи використовують досягну інформацію (таку, як ґрунтові типи або адміністративні території) для того, щоб поділити досліджувану територію на регіони, які можуть бути охарактеризовані статистичними моментами (середнім, дисперсією) атрибутів, виміряних у точках, розміщених у межах цих регіонів.

Поліноміальні інтерполятори відображають значення у точці у вигляді поліному від координат. У двовимірному випадку — для точки x із координатами (x, y) $Z^*(x, y) = P_n(x, y)$, де P_n — полином n -го ступеня. Зазвичай на практиці для двовимірного випадку використовують один з чотирьох типів поліномів:

- площина: $P_1(x, y) = a + bx + cy$;
- білінійно-сідловий: $P_{1,5}(x, y) = a + bx + cy + dxy$;
- квадратичний: $P_2(x, y) = a + bx + cy + dxy + ex^1 + fy^2$;
- кубічний: $P_2(x, y) = a + bx + cy + dxy + ex^2 + fy^2 + gx^2y + ix^3 + jy^3$.

Теоретично можна використовувати і поліноми більш високого порядку. Вони визначаються максимальним ступенем для x , максимальним ступенем для y і спільним максимальним ступенем. Всі проміжні ступені в поліномі будуть наявними.

Таким чином, горизонтальна поверхня має порядок нуль, похила плоска поверхня - перший порядок, квадратична поверхня — другий порядок, кубічна поверхня з десятьма коефіцієнтами має третій порядок. Знаходження коефіцієнтів a_i є стандартною процедурою в задачах на множинну регресію, тому обчислення легко виконуються за допомогою стандартних статистичних пакетів. Після знаходження коефіцієнтів a_i трендову поверхню може бути відображено оцінкою значень $Z(x, y)$ у всіх точках регулярної мережі. Порядок трендової поверхні P із формальної точки зору може бути скільки завгодно великим. Збільшення порядку полінома, як правило, призводить до збільшення ступеня його відповідності реальній поверхні. Проте при цьому, з одного боку, втрачається фізичне значення побудови, з іншого — різко збільшуються вимоги до обсягу даних, необхідних для знаходження коефіцієнтів a_i .

Завдання поліноміальної інтерполяції зводиться до того, щоб визначити невідомі коефіцієнти a_i так, щоб поліноми максимально добре відповідали даним у заданих точках. Для цього знаходять мінімум за всіма коефіцієнтами (a, b, c, d тощо) функції χ^2 , яка задає інтегральну помилку інтерполяції (1) та обумовлена наступним чином:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N [Z(x_i, y_i) - P_n(x_i, y_i)]^2. \quad (1)$$

Мінімізація полягає у вирішенні системи лінійних рівнянь з числом невідомих, що дорівнює кількості рівнянь. Число рівнянь (невідомих) залежить від обраного полінома.

Глобальний поліноміальний метод не є інтерполятором у строгому сенсі, швидше він відноситься до апроксиматорів. Його можна використовувати для виділення великомасштабного тренда.

Можна скористатися і локальним варіантом поліноміального методу, коли пошук коефіцієнтів проводиться тільки на основі даних, які потрапили в зону пошуку.

МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА АНАЛІЗУ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Методологія оцінювання та аналізу сталого розвитку, яку викладено в роботах [1,2] і використано в цьому дослідженні, містить модель сталого розвитку, яка є міждисциплінарним узагальненням моделей, відомих у природничих, економічних та соціальних галузях науки, та методику застосування формальних статистичних методів та методів експертного оцінювання для аналізу процесів сталого розвитку.

$$\{Q\} = j w_{sl} C_{sl} + w_{ql} \overline{C_{ql}}(I_{ec}, I_e, I_s). \quad (2)$$

Кватеріон $\{Q\}$ містить уявну зважену скалярну частину $j w_{sl} C_{sl}$, яка описує безпеку життя людей і зважену дійсну векторну частину, яка описує якість життя людей у просторі трьох вимірів: економічного (I_e), екологічного (I_{ec}) і соціально-інституціонального (I_s). Вагові коефіцієнти w_{sl} й w_{ql} в формулі (2) використано з метою вирівнювання масштабів компонент безпеки і якості життя.

З метою кількісного оцінювання вимірів сталого розвитку використовуємо принципи побудови ієрархічної системи показників та індексів, які визначаються як L_1 -норми:

$$I_i = \sum_{j=1}^n w_j x_{i,j}, \quad i = \overline{1, m}, \quad \sum_{j=1}^n w_j = 1 \quad (3)$$

у просторі показників $X^1 \times X^2 \times \dots \times X^m$, що характеризують економічний, екологічний та соціально-інституціональний розвиток кожного i -ого регіону. Вагові коефіцієнти w_j в формулі (3) визначаються експертним шляхом.

Значення компоненти безпеки життя C_{sl} для j -ого регіона визначається як норма Мінковського вектора $\vec{S}_j = (s_i^j)$, $s_i^j = 1 - t_i^j$, $i = \overline{1, n}$:

$$C_{sl} = \|\vec{S}_j\| = \left(\sum_{i=1}^n (s_i^j)^p \right)^{\frac{1}{p}} \quad (4)$$

з параметром $p = 3$.

АНАЛІЗ ГЕОПРОСТОРОВИХ ТРЕНДІВ ДАНИХ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

Для проведення дослідження було використано набір даних, який описує сталий розвиток України в 2013 році Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку [1]. З метою перевірки гіпотези щодо існування просторового тренду в розподілі даних про сталий розвиток було використано спочатку картографічний метод, який дозволяє оцінити загальний пат-

терн просторового розподілу значень. З цією метою було побудовано ряд тематичних карт значень індексу сталого розвитку та його складових за областями на основі поділу на п'ять груп за природними межами класифікації значень. Аналіз карт дозволяє стверджувати про наявність певної зміни у розподілі значення індексу сталого розвитку у географічному просторі. Для підтвердження цього припущення використано метод побудови поліноміальної трендової поверхні, яку було побудовано на основі точкового файлу, який містить дані про геометричні центри областей України. У результаті проведення експериментальних побудов поверхонь було з'ясовано, що практичне значення у виявленні трендів у даних мають поверхні утворені поліномами 1–3 ступенів. Якщо поліноми першого ступеня допомагають встановити загальні характеристики тренду даних, то поліноми 2–3 ступенів дозволяють підтвердити існування просторової тенденції у даних та визначити загальні риси її розподілу.

Аналіз поліноміальної поверхні 1, 2 порядків для індексу сталого розвитку дозволяє впевнено стверджувати про існування географічного тренду в розподілі індексу. Значення індексу мають загальну тенденцію до зменшення з Північного Заходу на Південний Схід. Звичайно, у цьому розподілі даних існують відхилення, які пов'язані, наприклад, з високим значенням індексу сталого розвитку для м. Києва, але вони тільки підкреслюють наявність певного географічного тренду (рис. 1).

Допоміжним інструментом аналізу тренду є графік аналізу тренду, який у площинах північ – південь, захід – схід демонструє наявність трендів у розподілі даних, які у вигляді результуючого тренду визначаються на трендовій поверхні (рис. 2). Таким чином, можна зробити припущення, що західні області України мають тенденцію до більш сталого розвитку, ніж області сходу.

Трендові поверхні можуть бути оцінені як за допомогою значень коефіцієнтів, які використовувались у поліномі, так і описом фізичних характеристик трендової поверхні. Такими характеристиками є ухил поверхні, кут між лініями скату поверхонь першого та другого поліномів, експозиція схилів. Кути нахилу прямо пропорційно та кути між лініями скату обернено пропорційно вказують на наявність вираженого тренду в даних. Кореляційний аналіз між цими показниками вказує на існування тісного зв'язку, який за індексом кореляції Пірсона дорівнює 0,816. Додатковими інструментами аналізу можуть виступати локальні методи інтерполяції даних, такі як обернено-зважені відстані та розподіл ухилів отриманих статистичних поверхонь.

Інтерпретація виявлених просторових трендів завжди пов'язана зі складнощами суб'єктивного та об'єктивного характеру, які викликані пошуком причинно-наслідкових зв'язків. У випадку аналізу просторового тренду у розподілі індексу сталого розвитку можна виходити із ієрархічної структури формування індексу, де підсумкове значення залежить від безпеки і якості життя, які, в свою чергу, складаються з екологічного, економічного та соціального вимірів та сукупності загроз, які впливають на безпеку життя. З цією метою було проведено відповідний аналіз на виявлення трендів для індексу якості та безпеки життя та трьох вимірів, які є складовими якості життя.

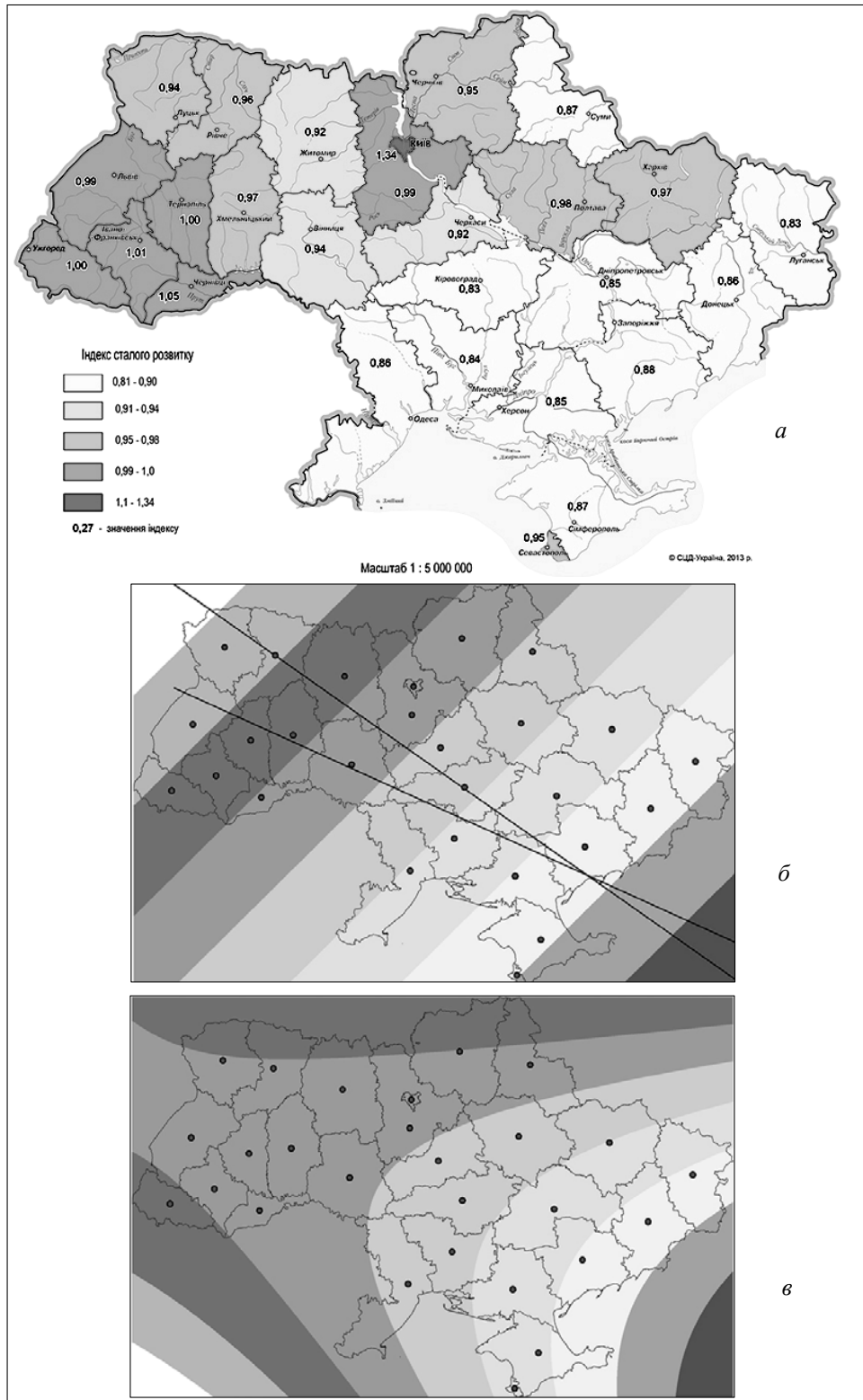


Рис. 1. Розподіл трендових моделей для індексу сталого розвитку: а — картограма за регіонами; б — поліном першого порядку; в — поліном другого порядку

Таблиця 1. Картометричні показники трендових поверхонь індексів

Індекс	Кут нахилу	Кут між лініями скату
I_s	0,000004	15,3142
I_e	0,000005	7,6633
C_{ql}	0,000009	23,3202
I_{sd}	0,000011	9,1149
C_{sl}	0,000014	27,1387
I_{ec}	0,000018	54,5763

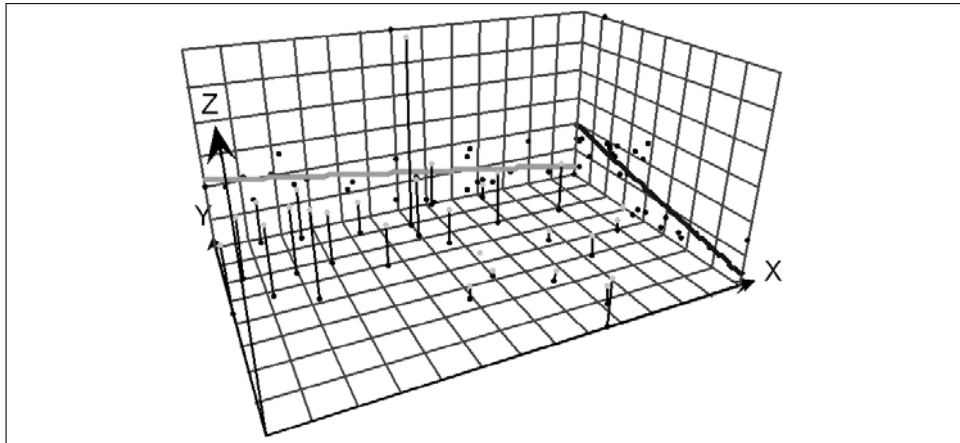


Рис. 2. Графік аналізу трендової поверхні індексу сталого розвитку

Індекс безпеки життя розраховується на підставі даних про 12 ключових загроз, що несуть суспільну небезпеку. Побудовані за його даними поліноміальні поверхні першого та другого порядку вказують на чітку наявність тренду, який дуже тісно збігається з трендом індексу сталого розвитку. Тренд характеризується чітким напрямом із заходу на схід із трохи більшим кутом між лініями скату, ніж у випадку індексу сталого розвитку (рис. 3).

Індекс якості життя, який утворено на основі економічного, соціального та екологічного вимірів характеризується трендом з півночі на південь країни для поліному 1 ступеня та трендом з північного заходу на південний схід для поліному 2 ступеня (рис. 4). При цьому трендова поверхня 2 ступеня характеризується значним плато у центральній частині України, де вплив тренду у даних нівелюється іншими факторами. У результаті аналізу двох складових сталого розвитку можна зробити висновки, що для даних індексів якості та безпеки життя тренди також простежуються. При чому індекс безпеки життя має більш виражений тренд даних, ніж індекс якості життя.

Аналіз складових якості життя дозволяє виявити ту групу показників, яка найбільше впливає на формування тренду в даних. Екологічний вимір якості життя має виражений тренд із заходу на схід країни, який візуально видно на трендових поверхнях першого та другого ступенів (рис. 5а). Це закономірно свідчить про те, що на заході країни більш сприятлива екологічна ситуація, яка пов'язана з відсутністю у більшості випадків великих джерел антропогенного забруднення та кращим забезпеченням водними ресурсами.

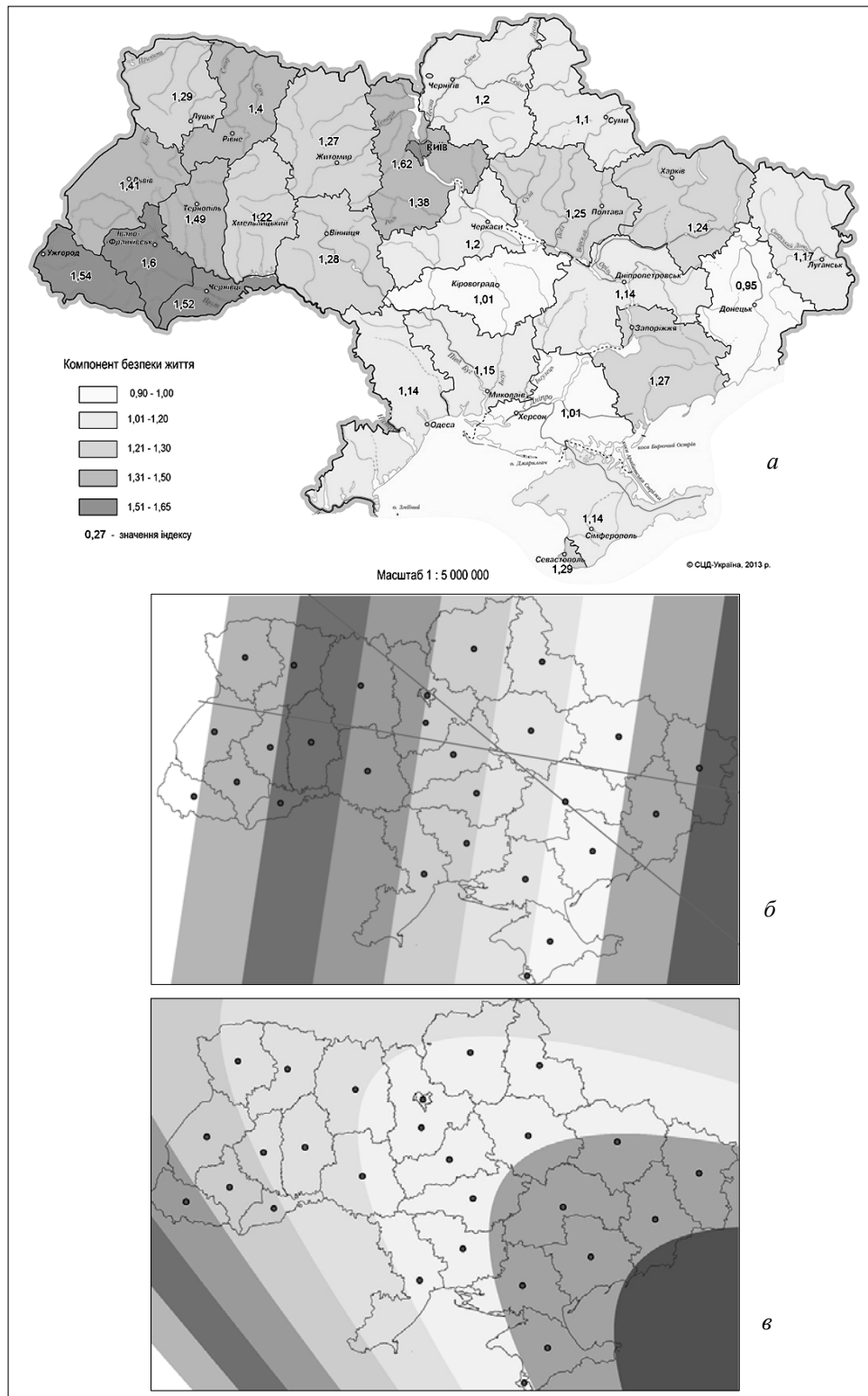


Рис. 3. Розподіл трендових моделей для індексу безпеки життя: а — картограма за регіонами; б — поліном першого порядку; в — поліном другого порядку

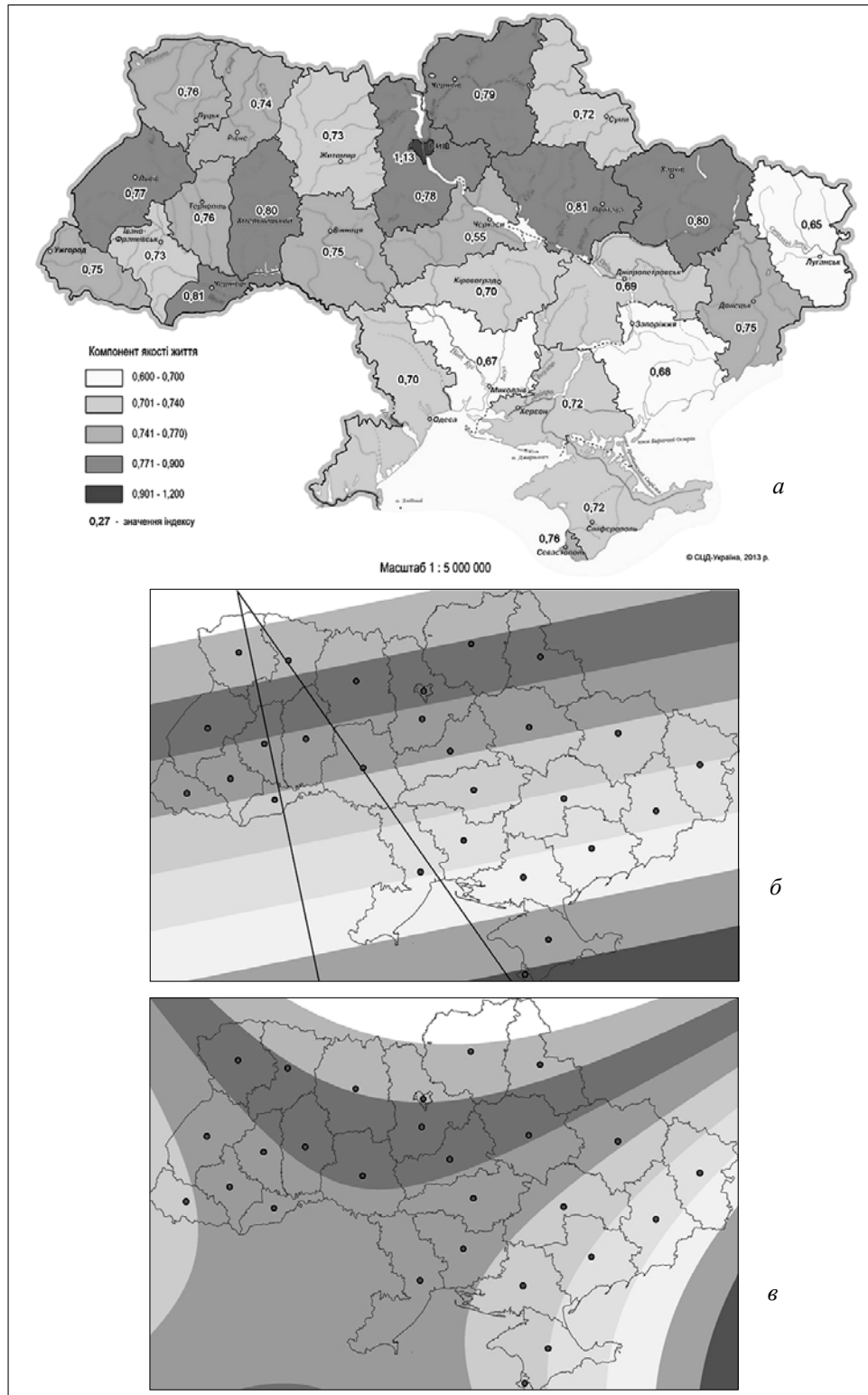


Рис. 4. Розподіл трендових моделей для індексу якості життя: а — картограма за регіонами; б — поліном першого порядку; в — поліном другого порядку

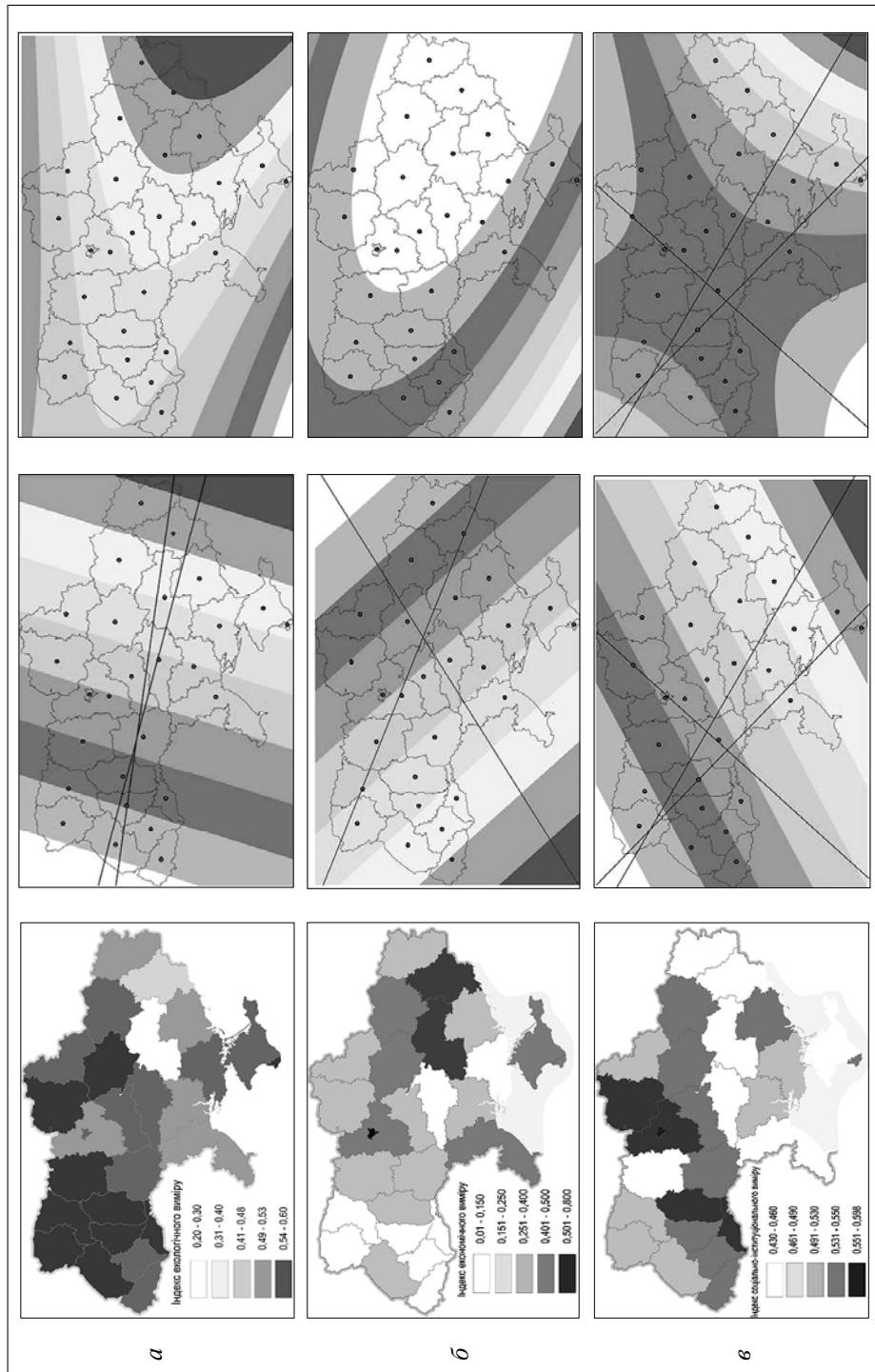


Рис. 5. Розподіл трендових моделей для: а — екологічного виміру; б — економічного виміру; в — соціально-інституціонального виміру

Трендові поверхні індексу економічного виміру демонструють зміну з південного заходу на північний схід, що пов'язано зі збільшенням економічних показників на сході країни, де сконцентровано більші виробничі потужності. Проте у випадку аналізу трендових поверхонь першого та другого ступенів існують певні розбіжності. Значною мірою це викликано впливом

столичного статусу Києва, який дає найбільший внесок в економічний розвиток (рис. 5б).

Аналіз третього соціального виміру в структурі індексу якості життя населення показав відсутність єдиного тренду в даних соціальної складової для території України. Це демонструє досить строкату структуру соціального розвитку України, яка має плато значень у центральній частині України та два тренди до зменшення показників на північному заході та південному сході країни (рис. 5в). Таким чином, гіпотеза про наявність вираженого географічного тренду в даних про соціальний розвиток не пройшла перевірку. У даних існують тільки окремі тенденції, які можуть бути визначені за допомогою локальних методів інтерполяції.

У результаті можна зазначити, що аналіз складових індексу якості життя населення показує достатньо різноманітну структуру глобальних та локальних географічних трендів в структурі даних. Найбільш виражений тренд наявний в даних екологічного виміру, що пов'язано з особливостями природокористування в різних регіонах країни. Більш складну структуру має трендова поверхня другого ступеня для економічного виміру, яку детерміновано регіональними диспропорціями в економічному розвитку та промисловому виробництві. При цьому дані екологічного та економічного вимірів мають протилежні за напрямом змін тренди. Перевірка соціального виміру на наявність глобальних трендів показала, що для соціального виміру в Україні глобальні просторові тренди відсутні і є тільки локальні регіональні тенденції, які можуть бути описані за допомогою локальних методів інтерполяції.

МЕТОДИ ДЕТЕКЦІЇ ГЕОПРОСТОРОВИХ ТРЕНДІВ В ІЄРАРХІЧНИХ МОДЕЛЯХ ДАНИХ

На основі картографічних методів аналізу встановлено ступінь впливу складових індексу сталого розвитку на формування тренду інтегрального показника. Табл. 2 демонструє сукупний аналіз складових індексу сталого розвитку з використанням трьох методів: картографічний, трендова поверхня 1 ступеня, трендова поверхня 2 ступеня. Усю сукупність станів розподілу даних зведено до розмірності $f(x) \in [0; 1]$, де $f(x)$ — функція наявності тренду даних. У цьому діапазоні $y = 0 \Rightarrow f(x) = 0$, $y = 0,5 \Rightarrow f(x) \approx 1$, $y = 1 \Rightarrow f(x) = 1$.

Це означає, що значення 0 вказує на відсутність глобального географічного тренду, 0,5 — можливість наявності анізотропії у розподілі географічних даних, 1 вказує на виражений географічний тренд у даних.

Обрахування середніх значень для складових індикаторів за формулою

$$T = \frac{\sum_{n=1}^n y}{n}, \quad (5)$$

де $T = \{I_{sd}, C_{sl}, C_{ql}\}$, y — вірогідність наявності просторового тренду даних, n — кількість складових індикаторів тренду. У результаті отримано значення для індексу сталого розвитку, безпеки та якості життя, відображені в табл. 3.

Таблиця 2. Визначення географічного тренду у розподілі даних

Показник	Картографічний метод	Поліном 1 ступеня	Поліном 2 ступеня
Індекс сталого розвитку	1	1	1
Якість життя	0,5	1	1
Економічний вимір	0,5	1	0,5
Екологічний вимір	1	1	1
Соціальний вимір	0,5	1	0
Безпека життя	1	1	1
Злочинність	1	1	1
Зниження тривалості життя	0,5	1	0,5
Корупція	0	1	0
Соціальна нерівність	0	1	0
Рівень безробіття	1	1	1
Зношеність технологічної інфраструктури	0,5	1	1
Техногенна небезпека	0,5	1	0
Зниження добробуту населення	1	1	1
Забруднення довкілля	1	1	0,5
Дефіцит водних ресурсів	1	1	1
Смертність населення	1	1	1
Вплив на змінювання клімату	1	1	0,5

Таблиця 3. Порівняльний аналіз вірогідності наявності просторового тренду

Назва індексу	Середній вклад тренду при картографічному аналізі	Середній вклад тренду при поліномі 2 порядку
I_{sd}	0,72	0,66
C_{sl}	0,70	0,625
C_{ql}	0,66	0,50

З табл. 3 можна побачити, що індекс сталого розвитку має найбільші значення присутності тренду, а значення для індексу безпеки життя перевищують відповідні показники для індексу якості життя за обома видами аналізу, що вказує на переважання просторових тенденцій у даних індексу безпеки життя. У структурі індексу безпеки життя найбільший внесок до складових тренду роблять такі соціальні загрози як злочинність, рівень безробіття, зниження добробуту населення та смертність населення; економічний фактор зношеності технологічної інфраструктури та екологічні фактори дефіциту водних ресурсів, забруднення довкілля та впливу на зміну клімату. Наявність геопросторових трендів у цих даних пов'язано зі зміною природних умов по території України та диспропорціями регіонального розвитку в економічному та соціальному аспектах.

ВИСНОВКИ

Трендовий аналіз є важливим інструментом інтелектуального аналізу геопросторових даних, який ґрунтується на використанні глобальних методів інтерполяції даних на основі регресійних моделей. Прикладне значення трендового аналізу полягає у можливості виявлення просторових закономірностей

у розподілі даних та встановлення загального закону їх розподілу. Експериментальне застосування моделей трендового аналізу для ієрархічної математичної моделі сталого розвитку регіонів України довело доцільність застосування геопросторових трендів під час аналізу комплексних соціальних, економічних та екологічних явищ. Було встановлено доцільність застосування для виявлення просторових тенденцій трендових поверхонь 1–3 порядків. Специфіка застосування трендових поверхонь під час аналізу геопросторових даних полягає у можливості використання додаткових методів аналізу отриманих поверхонь на основі загальноприйнятих картометричних методів визначення куту нахилу поверхонь та експозиції схилів.

Трендовий аналіз даних сталого розвитку дозволив встановити наявність загального тренду у розподілі показників індексу сталого розвитку на території України, який у подальшому може бути розкладено за складовими ієрархічної моделі. У результаті було встановлено значний вплив екологічних факторів на формування геопросторового тренду даних, а також таких соціальних загроз як злочинність, рівень безробіття, зниження добробуту та смертність населення. Використання математичного апарату для порівняння внеску складових сталого розвитку у тренд даних дозволило встановити переважання індексу безпеки життя.

Подальші дослідження можуть бути пов'язані з дослідженням інтеграції трендових моделей до системи підтримки прийняття рішень на базі ІАГД.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З., Акімова О.А., Болдак А.О., Вавулін П.Л., Джигирей І.М., Єфремов К.В., Путренко В.В. Аналіз сталого розвитку: глобальний і регіональний контексти: монографія / Міжнар. рада з науки (ICSU) та ін.; наук. кер. проекту М.З. Згуровський. — К.: НТУУ «КПІ», 2014. — Ч. 2. Україна в індикаторах сталого розвитку (2013). — 172 с.
2. Згуровський М.З., Болдак А.О., Єфремов К.В. Интеллектуальный анализ и системное согласование научных данных в междисциплинарных исследованиях // Кибернетика и системный анализ. — 2013. — № 4. — С. 62–75.
3. Згуровский М., Панкратова Н. Системный анализ: Проблемы, методология, приложения. — К.: Наук. думка, 2005. — 743 с.
4. Петренко А.І. Grid та інтелектуальна обробка даних Data Mining // Систем. дослідж. та інформ. технології. — 2008. — № 4. — С. 97–110.
5. Ashkan Zarnani, Masoud Rahgozar Mining Spatial Trends by a Colony of Cooperative Ant Agents // Spatial Data Mining: Consolidation and Renewed Bearing, April 22, 2006. — P. 64–72.
6. Blackmore B.S. The interpretation of trends from multiple yield maps // Computers and Electronics in Agriculture. — 2000. — 26(1). — P. 37–51. — http://www.researchgate.net/publication/223399377_The_interpretation_of_trend_from_multiple_yield_maps.
7. Blackmore I Simon, Godwin Richard J., Fountas Spyros The Analysis of Spatial and Temporal Trends in Yield Map Data over Six Years Biosystems Engineering (2003) 84 (4). — P. 455–466.
8. Shekhar Shashi, Zhang Pusheng, Huang Yan, Vatsavai Ranga Raju. Trends in Spatial Data Mining, as a chapter to appear in Data Mining: Next Generation Challenges and Future Directions, H. Kargupta, A. Joshi, K. Sivakumar, and Y. Yesha (eds.), AAAI/MIT Press, 2003. — http://www.spatial.cs.umn.edu/paper_ps/dmchap.pdf.
9. Burrough P.A., McDonnel, R.A. Principles of Geographical Information Systems for land resources assessment. — Oxford University Press, 1998. — 333 p.

Поступила 15.05.2015