

Я.Виклюк, канд. фіз.-мат. наук

Національний університет «Львівська політехніка»

МЕТОДОЛОГІЯ ПРОГНОЗУВАННЯ СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ МЕТОДАМИ ФРАКТАЛЬНОГО РОСТУ КРИСТАЛІВ У НЕЧІТКОМУ ПОТЕНЦІАЛЬНОМУ ПОЛІ

Запропоновано методологію аплікації методів фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі атрактивності для прогнозування соціально-економічних процесів. Розглянуто методику побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Запропоновано методику модифікації та інтеграції класичних методів фрактального росту: дифузно обмеженої агрегації та «випадкового дощу» з теорією молекулярної динаміки. Запропонована методологія була апробована при прогнозуванні геометричної структури населених пунктів. Отримані структури добре корелюють з експериментальними даними, отриманими за допомогою сучасних ГІС технологій.

Ya. Vyklyuk

METHODOLOGY OF SOCIO-ECONOMIC PROCESSES PROGNOSTICATION BY CRYSTALS FRACTAL GROWTH IN FUZZY POTENTIAL FIELD METHODS

Application methodology of crystals fractal growth in attractiveness fuzzy potential field methods is offered for prognostication socio-economic processes. The method of the attractiveness fuzzy potential field construction is considered. The methodology of modification and integration of classic fractal growth methods: diffusely limited aggregation and “Randomized rain” with the theory of molecular dynamics is offered. The offered methodology was approved at prognostication of geometrical structure of settlements. Structures got in the research correlate well with experimental information got by modern GIS technologies.

Бурхливий розвиток туризму всіх видів у кінці ХХ століття призвів до того, що в туристичній індустрії почав концентруватися значний капітал – виникають готельні ланцюги, починається будівництво туристичних центрів, зростає транспортна інфраструктура, ресторанне господарство.

Вкладаючи значні кошти в розвиток туризму, великий капітал вимагає максимального прибутку за найкоротші терміни. Природній ландшафт і місцеве населення сприймається лише як засоби праці для досягнення мети. Не дивно, що результатом росту масового нерегульованого відвідування видатних природних комплексів став надзвичайно негативний вплив на них, а також на місцеве соціокультурне середовище: знищуються рідкісні рослини, вирубуються дерева, забруднюються водойми, витоπτуються ґрунти, зникають чи значно скорочуються популяції багатьох видів тварин. Під загрозою опинилася як дика первозданність унікальних природних куточків, так і місцеві економічні і культурні цінності приймаючих сторін. Такий односторонньо орієнтований розвиток туризму, що отримав назву “жорсткого туризму”, мав місце в останні десятиліття в багатьох країнах.

Викладене свідчить, що стає актуальним питання програмного планування і прогнозування розвитку туризму. Ефективне вирішення цієї нагальної проблеми обумовлює залучення і використання різноманітних математичних методів і моделей. Застосування математичного апарату в економічних дослідженнях дає можливість вирішувати конкретні задачі з побудовою прогностичних сценаріїв і можливістю передбачити формування і розвиток складених соціально-економічних процесів.[1]

Метою даного дослідження є створення та апробація методології аплікації методик фрактального росту кристалів для моделювання соціальних процесів на прикладі прогнозування геометричної форми населених пунктів.

Виходячи з активно зростаючої динаміки розвитку зеленого (сільського, економічного) туризму в нашій державі, виникла необхідність, використовуючи існуючий математичний апарат, змодельовати перспективи створення кластерних полів з найбільш оптимальними параметрами очікування.

Актуальність дослідження полягає у розробці концепції прогнозування слабо контрольованих соціальних процесів, таких як розбудова міст та населених пунктів, пов'язана з активним розвитком зеленого туризму, утворення супутньої інфраструктури, розділення людей на сегменти за спільними інтересами, роботою, відпочинком тощо, на базі добре відомих у фізиці твердого тіла методів фрактального росту кристалів у поєднанні з теорією нечіткої логіки.

Формування структур з поверхнями, які ростуть, спостерігаються в широкому діапазоні явищ, які активно вивчаються наукою та технікою, зокрема ріст кристалів в різних умовах, еволюція сніжинки в атмосфері, направлене тверднення у багатьох процесах, що відіграють важливу роль у металургії[2].

Основні процеси розбудови населених пунктів аналогічні до процесів, що спостерігаються при рості кристалів. Це дає змогу використати апробовані теорії ДЮА та «Випадкового дощу»[3,4] для моделювання соціально-економічних процесів.

Прогнозування геометрії росту населених пунктів дозволить будувати відповідну інфраструктуру та комунікації з максимальною економічною вигодою, з іншого боку – з'являється можливість передбачити структуру новобудов в околі новостворених туристично-рекреаційних систем. Це, в свою чергу, дозволить оптимізувати стратегію розбудови ТРС, визначити спеціалізацію окремих сегментів населеного пункту та передбачити грошові потоки даної системи [5].

Однак відмінною рисою росту населених пунктів є те, що кристалізація (агрегація) відбувається не на одному центрі, як спостерігається у фізичних явищах. В реальному житті таких центрів та областей кристалізації в межах досліджуваного об'єкту може бути декілька, і вони мають, як правило, складну геометрію. Потенціальне поле атрактивності, в свою чергу, теж має складну форму. У великих містах і мегаполісах стратегія розбудови формується згідно з експертними оцінками та дозволами відповідних установ. Розбудова невеликих поселень носить імовірнісний характер, та у визначній мірі залежить від атрактивності певної території. З вищевказаного стає зрозуміло, що класичні методи імітації росту кристалу, дендритного та фрактального росту потрібно суттєво модифікувати [2]. Для моделювання процесів росту фронту кристалу в умовах присутності нелокальних потенціальних полів атрактивності території необхідні нові чисельні методи та моделі, що поєднують та доповнюють вже існуючі та перевірені підходи.

Модель потенціального поля

На відміну від фізичних полів, потенціальне поле привабливості території для забудови складно формалізувати за допомогою апарату класичної математики. Це пов'язано з тим, що потенціальне поле привабливості території, в першу чергу, базується на людській логіці та людських почуттях. Крім того, величина потенціального поля атрактивності залежить від географічного розташування, рельєфу місцевості, наявності відповідної флори і фауни, температурного режиму, можливості сформувати відповідну транспортну інфраструктуру тощо. Враховуючи перелічені входні параметри, величину потенціального поля можна описати за допомогою математичного апарату нечіткої логіки.

В загальному вигляді потенціал U записується у вигляді:

$$U = F(a_1, a_2, \dots, a_n), \quad (1)$$

де a_i – входні параметри; F – функція, яка визначає вигляд потенціалу.

Вигляд функції та вибір алгоритму нечіткого виведення (Мамдані, Сугено, Цукамото та ін. [6]) залежить від механізму побудови нечітких продукційних правил, що використовуються в експертних і керуючих системах та у своїй основі мають базу

знань, сформовану фахівцями-експертами предметної області або отриману в результаті навчання нейромережі, навчальна множина якої, в свою чергу, базується на експериментальних даних у вигляді сукупності нечітких предикатних правил. Апарат нечіткої логіки добре зарекомендував себе в дослідженнях економічних і соціальних процесів, зокрема при розрахунках інтегрованих показників ефективності [7], розв'язку багатокритеріальних задач [8], визначенні конкуренції економічного зростання між регіонами в Китаї [9]. В попередній роботі [10] ми довели можливість використання алгоритмів Мамдані та Сугено для визначення рекреаційного потенціалу. Було показано, що результати, отримані цими методами, добре корелюють з оцінками експертів. Тому в подальших розрахунках ми використовували один з цих алгоритмів, а саме алгоритм Сугено з гаусівськими функціями приналежності [2]. Вибір цього алгоритму обґрунтований тим, що при наявності експериментальних баз знань доцільним стане використання гібридних нейронних мереж ANFIS (Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System), в основі яких лежить метод Сугено.

Для розрахунку форми потенціального поля привабливості можна скористатись методом побудови карт рекреаційних потенціалів [11]. Для цього карта території T покривається прямокутником $\Pi = [a, b] \times [c, d]$. Очевидно, що прямокутник Π містить множину (територію) T ($T \subset \Pi$). Прямокутник Π розбивається сіткою $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$, де:

$$\Delta_x = \bigcup_{k=0}^N \{x_k\}; \quad (2)$$

$$\Delta_y = \bigcup_{l=0}^M \{y_l\}; \quad (3)$$

$$x_k = x_0 + kh_x, \quad k = \overline{0, N}; \quad (4)$$

$$y_l = y_0 + lh_y, \quad l = \overline{0, M}; \quad (5)$$

$$h_x = \frac{b-a}{N}; \quad (6)$$

$$h_y = \frac{d-c}{M}. \quad (7)$$

Для кожного вузла сітки визначаються значення вхідних параметрів. Отримані матриці слугують вхідними параметрами нечіткої функції потенціального поля привабливості (1). Результатом розрахунку є матриця, яка визначає форму потенціалу території T .

Вхідні параметри поділяються на два типи. Їх координати точно визначені за допомогою GPS технологій (вектори доріг, історико-культурні центри тощо), та ті, які потрібно визначати власноруч (русло ріки, границя моря, схили тощо). Як правило, вхідні величини другого типу мають лише локальний вплив і є актуальними лише в межах прямокутної області $\Delta = \Delta_x \times \Delta_y$, та, в більшості випадків, можуть розглядатись як обмеження на можливість побудови будинку в даному околі.

Вхідні величини першого типу можна поділити на підгрупи: локально зосереджені та визначені за допомогою векторів.

Локально зосереджені об'єкти (лікувальні води, історико-культурні центри, гірськолижні витяги, парки тощо) відіграють роль центрів кристалізації. А в якості вхідних параметрів для визначення потенціалу привабливості використовуються не координати даних об'єктів, а віддаль до них.

За допомогою векторів визначаються, як правило, транспортні мережі. Беззаперечним є той факт, що розбудова житла, особливо того, що спеціалізується на зеленому туризмі, тяготить до вже прокладених автошляхів. Це підтверджується численними світлинами населених пунктів з космосу [1]. Із збільшенням віддалі до автошляхів привабливість території для забудови спадає. Тому в якості вхідних

параметрів нечіткого потенціалу привабливості нами запропоновано вибрати віддаль до найближчої дороги та віддаль по дорозі до найближчого центра кристалізації.

Модель модифікованої теорії дифузно-обмеженої агрегації (ДОВА)

На сьогоднішній день існує багато моделей, які описують незворотне об'єднання частинок в кластери. Хід агрегації описується нелінійними диференціальними рівняннями в частинних похідних. Розв'язок цих рівнянь як аналітичними, так і числовими методами наштовхується на великі складності. Один з можливих способів вивчення таких питань полягає у вивченні модельних систем, які в змозі породжувати такі структури. До найбільш відомих методів можна віднести модель ДОВА [2].

Класична модель ДОВА дуже проста: частинки, що здійснюють випадкові переміщення, в результаті агрегації утворюють кластер. Тобто частинка, починаючи рух з випадково вибраної віддаленої точки, приєднується або до точкового центра кластеризації, або до раніш агрегованих частинок. Інтенсивні комп'ютерні дослідження показали, що в результаті такого процесу утворюються складні розгалужені фрактали [2, 4], що мають сферичну форму.

В даному випадку частинка повинна рухатись в потенціальному полі, що має вплинути на форму фракталу. Для моделювання цього руху можна скористатись методами молекулярної динаміки [12 – 14].

Нехай в момент часу t частинка знаходиться в точці $(x(t), y(t))$ та рухається зі швидкістю $(v_x(t), v_y(t))$. Тоді в проекції на осі на частинку буде діяти сила:

$$F_x(t) = -\frac{\partial U}{\partial x(t)}; \quad (8)$$

$$F_y(t) = -\frac{\partial U}{\partial y(t)}. \quad (9)$$

Вважаючи, що протягом малого часу Δt сила залишається незмінною, розраховуються положення та швидкості частинки в момент часу $t + \Delta t$:

$$a_x(t) = \frac{F_x(t)}{m}; \quad (10)$$

$$a_y(t) = \frac{F_y(t)}{m}; \quad (11)$$

$$v_x(t + \Delta t) = a_x(t)\Delta t + v_x(t); \quad (12)$$

$$v_y(t + \Delta t) = a_y(t)\Delta t + v_y(t); \quad (13)$$

$$x(t + \Delta t) = \frac{a_x(t)\Delta t^2}{2} + v_x(t)\Delta t + x(t); \quad (14)$$

$$y(t + \Delta t) = \frac{a_y(t)\Delta t^2}{2} + v_y(t)\Delta t + y(t). \quad (15)$$

де m – маса частинки [15, 16].

Недоліком такого підходу є те, що негативну роль відіграє закон збереження енергії. При наближенні до центру кристалізації в частинки зростає кінетична енергія, а відповідно і швидкість. За рахунок дискретного часу в багатьох випадках частинка пролітає скрізь центр кристалізації не агрегуючи на ньому. Виходом з цієї ситуації є зменшення часу дискретизації, що приводить до різкого підвищення часу розрахунку. Іншим шляхом є нормування швидкості частинки після кожного кроку ітерації. Однак, як показали комп'ютерні експерименти, в багатьох випадках частинка виходить на стаціонарну орбіту навколо центрів акреції.

В молекулярній динаміці температура розглядається як міра кінетичної енергії і виступає в якості важеля зміни середньої швидкості частинок. Тобто, зменшуючи температуру, можна зменшити швидкість частинок [16]. В нашому випадку треба

розробити та обґрунтувати механізм поступового зменшення температури частинки. Зрозуміло, що це сторонній вплив, який не має аналогів в природі.

Для коректного впливу потенціального поля та запобігання різкому зростанню швидкості ми пропонуємо розглядати рух частинок в середовищі, що володіє в'язким тертям. Аналогом є рух тіл у повітрі, сила опору якого при дозвукових швидкостях пропорційна швидкості:

$$F_i = -\beta v; \quad (16)$$

де β – коефіцієнт опору.

Тоді:

$$a_x(t) = \frac{F_x(t) - \beta v_x(t)}{m}; \quad (17)$$

$$a_y(t) = \frac{F_y(t) - \beta v_y(t)}{m}. \quad (18)$$

Як показали експерименти, врахування в'язкого тертя дозволяє уникнути вищезгаданих недоліків.

Агрегація частинки відбувається у випадку, коли в ході руху вона стикається з центром кластера або раніш агрегованими частинками. У випадку, якщо вхідні параметри нечіткого потенціалу, які несуть зміст локальних обмежень, перешкоджають агрегації (узбережжя, болото, водойма), частинка вилучається з розрахунку.

Як показали наші дослідження, запропонований метод достатньо точно описує геометрію фронту росту населеного пункту. Однак даний метод має суттєвий недолік: ріст кристалів, для моделювання чого і був розроблений ДОА, в більшості випадків відбувається або на одному центрі акреції, або на пластині чи дроті. Схожа ситуація спостерігається при моделюванні населеного пункту, розташованого вздовж певної кривої (узбережжя моря, дорога). В цьому випадку теж отримується добре узгодження з наявними експериментальними даними. Однак більшість населених пунктів має розгалужену мережу інфраструктури та множину територіально розподілених центрів привабливості, навколо яких і відбувається ріст населеного пункту. Як показали наші розрахунки, наявність навіть двох розподілених центрів акреції призводить до появи порожніх областей, в які не можуть потрапити частинки ззовні, не залежно від форми траєкторії останніх. А це приводить до того, що в центрі міста утворюються порожні області, в яких відсутня забудова, чого насправді не спостерігається. Вказаний недолік легко усувається за допомогою моделі «Випадкового дощу».

Модифікована модель «випадкового дощу»

Модель «випадкового дощу» (ВД) була запропонована Марджорі Волдом та Сазерландом [2]. В моделі ВД частинки рухаються за певними визначеними випадковими траєкторіями. В роботі [2] було показано, що найкраще узгодження з експериментом показує модель, в якій центр кластеризації розташовується в центрі досліджуваної області, а частинки (кандидати на агрегацію) починають рухатись з великого околу всередину кола. Кожна частинка стартувала з випадкової точки і рухалась по випадковій хорді, з'єднуючись при зіткненні або з лінією основи, або з ростучим кластером. Модель ВД породжує розгалужені структури, схожі на отримані за допомогою моделі ДОА.

Основною перевагою моделі ВД над ДОА є суттєво менший час розрахунку, причому розмірність кластеру Хаусдорфа-Безиковича D має тривіальне значення $D = 2$ [2].

Як показали наші дослідження, класична модель ВД має суттєві недоліки, а саме: наявність порожніх областей, у випадку наявності декількох центрів кластеризації; модель не передбачає наявності потенціального поля, яке деформує сферичні структури. Нами було запропоновано усунути ці недоліки наступним чином.

Врахування декількох центрів кластеризації

Нехай існує n центрів кластеризації. Для кожного центру визначається його нормована вага w_i . У випадку, якщо населений пункт має декілька центрів привабливості, вагові множники можуть бути розраховані як відносна кількість туристів, які відвідали дані об'єкти за визначений період часу:

$$w_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1,n} S_i} \quad (19)$$

де S_i – кількість туристів, які відвідали i -й рекреаційний об'єкт.

Згідно з алгоритмом ВД, частинка рухається по випадковій хорді до одного з центрів кластеризації. Центр кластеризації для кожної частинки вибирається випадковим чином в залежності від величини нормованої ваги w_i [17]. Для уникнення появи порожніх областей ми запропонували модифікувати алгоритм агрегації. В цілому алгоритм приєднання до кластеру аналогічний ВД, але після агрегації створюється копія частинки («прозора частинка»), що продовжує свій рух до центру, не реагуючи на кристалізовані частинки. Як тільки вона потрапляє в область, де в невеликому радіусі R немає агрегованих частинок (тобто частинка потрапила в порожню область), «прозорій частинці» присвоюється статус «звичайна частинка», і алгоритм акреції продовжується за класичними правилами. Як показали наші дослідження, запропонована методика дозволяє уникнути першого недоліку моделі ВД.

Врахування потенціального поля

Як відомо [12-16], потенціальне поле деформує траєкторії тіл. Однак, згідно з теорією ВД, траєкторії частинок залишаються незмінними протягом всього руху частинки. Тому ми запропонували інтерпретувати потенціальне поле привабливості як потенціальне поле імовірності агрегації частинки. Для цього початкове потенціальне поле досліджуваного регіону необхідно нормувати. Імовірність агрегації визначається як імовірність настання двох незалежних подій, а саме наявність поруч агрегованої частинки та «можливість» агрегації в даній точці збоку потенціального поля $U(x, y)$.

В наших розрахунках достовірність $P_a(x, y)$ знаходження поруч з рухомою частинкою агрегованого кластера приймалась рівною 1, якщо в сусідній по грані з частинкою клітинці знаходиться агрегований атом, 0,5, якщо агрегований атом знаходиться поруч по діагоналі, та 0,01 – в іншому випадку. Тоді імовірність агрегації частинки визначається як:

$$P(x, y) = U(x, y) \cdot P_a(x, y). \quad (20)$$

Ненульова імовірність агрегації $P_a(x, y)$ в зоні, де в найближчому околі відсутні агреговані частинки, підсилює вплив потенціального поля на форму утвореного кластера, однак сприяє появі відокремлених центрів агрегації.

Запропонований метод модифікації ВД дійсно дозволяє позбавитись порожніх областей та врахувати вплив потенціального поля при моделюванні росту населеного пункту. Однак фронт отриманого фракталу характеризується розмитою структурою та наявністю великої кількості відособлених точок агрегації, які експериментально не спостерігаються.

Для усунення недоліків кожного із розглянутих методів нами було запропоновано об'єднати ВД та ДОА відповідно до наступних міркувань: розрахувати фрактальну структуру населеного пункту згідно з моделлю ВД; виокремити центр населеного пункту; отриманий кластер вважати єдиним центром агрегації; частинки, які не потрапили до кластера, вважаються вільними і продовжують рух в потенціальному полі згідно з ДОА, агрегуючись на єдиному кластері. Тим самим можна уникнути проблеми порожніх областей та коректно розрахувати фронт росту фракталу.

Комп'ютерний експеримент

В якості апробації моделі ми вибрали відоме курортне містечко українських Карпат Ворохту (рис.1). Апробація методології дозволить підтвердити її адекватність та можливість використання для подальших наукових досліджень.

На наведених нижче рисунках представлені результати запропонованої методології на прикладі Ворохти.

Отримана карта потенціалу привабливості, наведена на рисунку 3, наочно відображає найбільш привабливі для забудови райони Ворохти. Однак не дає відповіді про реальну геометрію та густину міських кварталів. При побудові нечітких продукційних правил використовувались експертні оцінки, надані відділом з питань туризму Чернівецької обласної державної адміністрації.

Розрахунки методом модифікованого ВД проводились в наближеннях, описаних вище. Всього в ході експериментів досліджувався рух 10 000 частинок. На рис.4. відображена прогнозована фрактальна структура Ворохти. З рисунку видно, що центр міста, який є привабливим для забудови, дійсно має більшу густину, ніж «рукава», розташовані вздовж доріг. Однак велика кількість поодиноких будинків, розташованих на великих відстанях від центру, та комунікацій не відповідає наявним даним (рис.1).

Відповідно до запропонованої методології виокремлюються агрегований кластер та «вільні частинки» (рис.5,6).

Розрахунки методом модифікованого ДОА проводились в наступних наближеннях. Початкова швидкість частинки вибиралась випадковим чином. Використовувались дзеркальні граничні умови [16]. Тобто, покинувши досліджуваний регіон на одній грані, частинка з'являлась з протилежного боку при збереженні всіх інших динамічних показників. Найбільша кореляція отриманих результатів з даними супутникової зйомки була досягнута при масі частинки $m = 0.05$ та коефіцієнті в'язкого тертя $\beta = 10^{-4}$. При збільшенні маси прискорення спадає (17, 18) і відповідно зменшується вплив потенціального поля. Зменшення маси приводить до втрати фрактальної структури, а агрегований кластер повністю повторює геометрію потенціального поля.



Рисунок 1 – Ворохта (світлина з космосу)

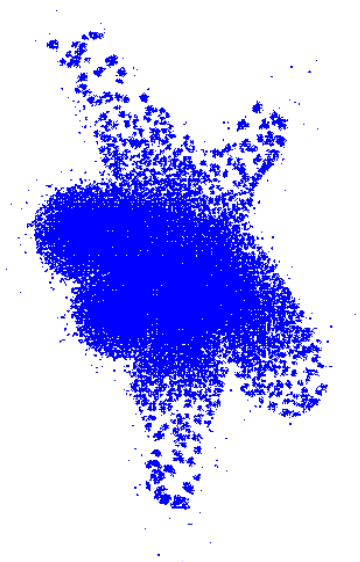


Рисунок 2 – Прогнозована фрактальна структура населеного пункту Ворохти, побудована в нечіткому потенціальному полі привабливості згідно з запропонованою методологією

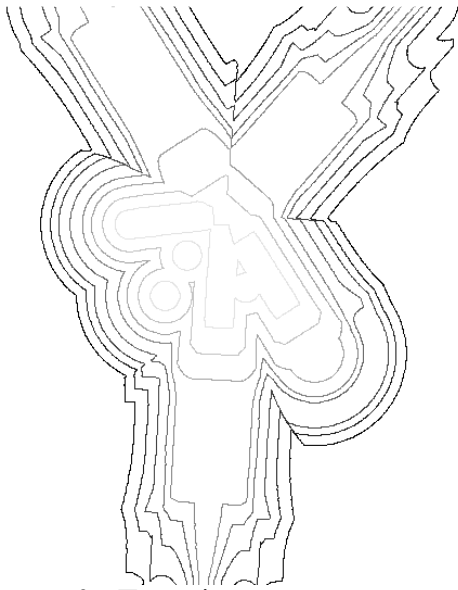


Рисунок 3 – Потенціальне поле атрактивності Ворохти, що базується на алгоритмі нечіткого виведення Сугено

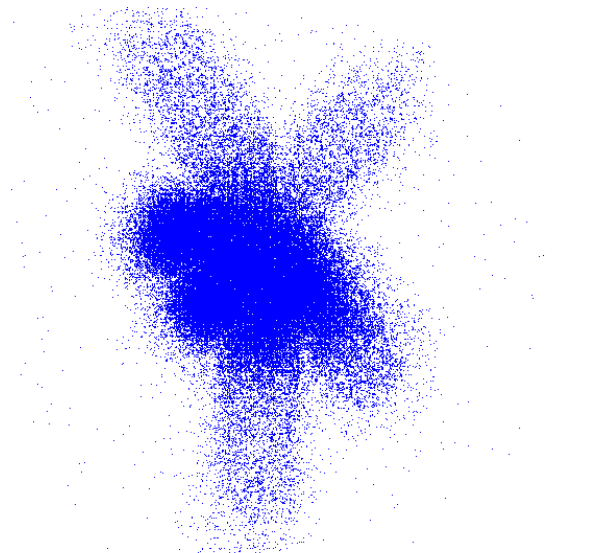


Рисунок 4 – Прогнозована фрактальна структура населеного пункту Ворохта, побудована в нечіткому потенціальному полі привабливості згідно з модифікованим методом ВД

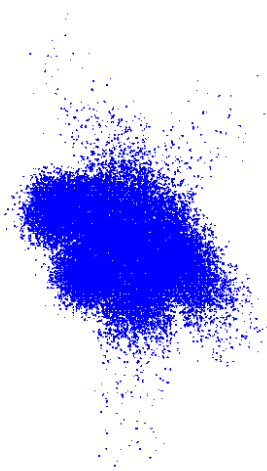


Рисунок 5 – Отриманий центр агрегації

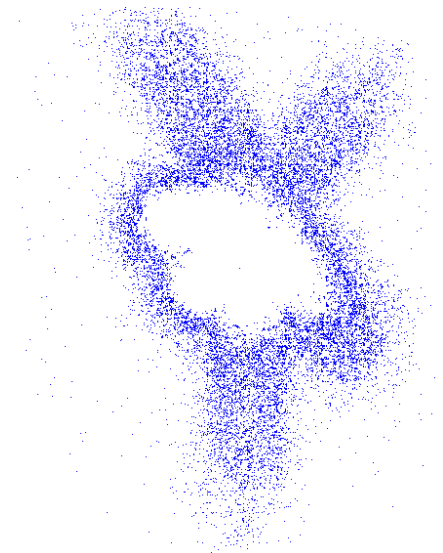


Рисунок 6 – Вільні частинки

На рисунку 2 представлена прогнозована фрактальна структура Ворохти згідно із запропонованою методологією, що складається з близько 21 000 агрегованих частинок, в порівнянні зі світлиною даної місцевості з космосу (рис.1). За рахунок модифікації моделі ВД кількість агрегованих частинок перевищує кількість ініційованих.

З рисунка видно, що отримана фрактальна структура досить добре повторює основні особливості досліджуваного регіону. Найбільш густонаселеними є центр міста та зона, що прилягає до гірськоколичних витягів. Забудови розташовуються вздовж елементів інфраструктури, та тяжіють до центру міста. Віддаляючись від центру, густина поселень спадає, і вони групуються в квартали, або турбази, що займають значну площу. Схожа тенденція дійсно спостерігається в структурах населених пунктів. З рисунка 2 видно, що поєднання методів ВД та ДОО відповідно до запропонованої методології дозволяє використати переваги та позбавитись недоліків даних методів.

Схожість теоретичних та експериментальних структур підтверджує справедливість судження, що основну роль у формуванні геометрії населеного пункту відіграють існуючі шляхи сполучення та наявні центри кристалізації, а також є показником достовірності запропонованої методології.

Висновки

Розглянуто та обґрунтовано можливість застосування апарату фрактального росту кристалів для моделювання слабоконтрольованих соціальних процесів на прикладі прогнозування геометричної форми населених пунктів при розвитку туризму.

Розглянуто методіку побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Визначено та структуровано типи вхідних параметрів та обмежень. Запропоновано алгоритм розрахунку вхідних параметрів нечіткої моделі.

Наведено детальний опис та обґрунтування запропонованої автором модифікованої моделі дифузно-обмеженої агрегації. Показано, що врахування елементів апарату молекулярної динаміки, сили в'язкого тертя та обмежень у моделі ДОО дозволяє адекватно описувати рух акреційованої частинки в нечіткому потенціальному полі.

Наведено детальний опис та обґрунтування запропонованої автором модифікації моделі фрактального росту «випадковий дощ». Показано, що методіка врахування декількох центрів кластеризації та визначення імовірності агрегації частинки дозволяють адекватно описувати рух акреційованої частинки в нечіткому потенціальному полі.

Запропоновано алгоритм поєднання методів ВД та ДОО з метою усунення недоліків та отримання максимальної адекватності моделі.

В ході проведених комп'ютерних розрахунків було отримано фрактальні структури, які добре узгоджуються з наявними експериментальними даними. Це підтверджує наше припущення, що вирішальну роль у формуванні населених пунктів відіграє наявна інфраструктура, а саме – шляхи сполучення та наявні центри привабливості. З іншого боку, добре корелювання експериментальних та отриманих в ході розрахунку даних доводить адекватність запропонованої методології і дозволяє використовувати її для подальшого прогнозування геометричної форми населених пунктів. Це дасть змогу при формуванні програм розвитку туризму в регіоні, місті, населеному пункті планувати центри туристичної привабливості і створювати відповідну інфраструктуру.

Запропонована методологія дозволить в подальшому проводити сегментацію населених пунктів з метою визначення якісного та кількісного складу й обсягу послуг, що надаються сегменту, в залежності від побажань туристів та рекреантів. Інтегрування за об'ємом дозволить визначити середню кількість рекреантів і відповідно передбачити грошові потоки модельованої системи.

Література

1. А.Н. Крючков, С.В.Абламейко, Г.П.Апарин, Л.Н.Соболь Создание тематических карт на основе данных дистанционного зондирования и цифровых карт // Штучний Інтелект, 2006. – №2. – С.328-331.
2. Фракталы в физике Труды VI международного симпозиума по фракталам в физике Под.ред Л.Пьетронеро. - М.: Мир, 1988. – 670с.
3. Маркетинг в туризме: Учеб. пособие / А.П. Дурович. – 3-е изд., стереотип. – Мн.: Новое знание, 2003. – 496 с.
4. Р.Кроновер Фракталы и хаос в динамических системах. – М.:Техносфера, 2006. – 488с.
5. Ткаченко Т.І. Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу: Монографія. – К.:КНТЕУ, 2006. – 537с.
6. Леоненков А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH // СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.
7. Петренко В.Р, Кашуба С.В. Нечітка модель аналізу ефективності бізнес-процесів підприємства // Складні системи і процеси, 2006. – №2. – С.18-26.
8. Tsung-Yu Chou, Mei-Chyi Chen, Chia-Lun Hsu. A fuzzy multi-criteria decision model for international tourist hotels location selection // International Journal of Hospitality Management. In Press.

9. Shengquan Ma, Jing Feng, Huhua Cao. Fuzzy model of regional economic competitiveness in GIS spatial analysis: Case study of Gansu, Western China // *Fuzzy Optim Decis Making*, 2006. – #5, p.99–111.
10. Виклюк Я.І. Побудова fuzzy-моделі для визначення рекреаційного потенціалу євро регіону „Верхній прут” // *Вестник НТУ "ХПИ"*. Сборник научных трудов. Тематический выпуск "Системный анализ, управление и информационные технологии". - Харьков: НТУ "ХПИ", 2007. - №41. – С. 193-201.
11. Кифяк В.Ф., Виклюк Я.І., Кифяк О.В. Визначення оптимальних рекреаційно-туристичних зон в умовах транскордонного співробітництва // *Формування ринкових відносин в Україні*, 2007. – №1 (68). – С.132-136.
12. A. Mari Carmen Perez-Martin, Jose. J. Jimenez-Rodriguez, Jose. Carlos Jimenez-Saez Shallow boron dopant on silicon An MD study // *Applied Surface Science*, 2004. – #234, – p. 228–233.
13. Gustavo J. Sibona, Sascha Schreiber, Ronald H.W. Hoppe, Bernd Stritzker, Adrian Revnic Numerical simulation of the production processes of layered materials // *Materials Science in Semiconductor Processing*, 2003. – #6, – p.71–76.
14. Won Ha Moon, Ho Jung Hwang Atomistic study of elastic constants and thermodynamic properties of cubic boron nitride // *Materials Science and Engineering*, 2003. – # B103, – p.253–257.
15. Гулд Х., Тобочник Я. Компьютерное моделирование в физике: Пер. с англ.: В 2-х ч. – М.: Мир, 1990. – Ч.1. – 349 с.
16. Каплан И.Г. Введение в теорию межмолекулярных взаимодействий. – М.: Наука, 1982. - 311с.
17. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група BHV, 2005. – 352с.

Одержано 17.03.2008 р.