

Прогнозування соціально-економічних процесів за методологією фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі

Запропонована методологія аплікації методів фрактального росту кристалів у нечіткому потенціальному полі атрактивності для прогнозування соціально-економічних процесів. Розглянута методика побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Запропонована методика модифікації та інтеграції класичних методів фрактального росту: дифузної 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.

Ключові слова: соціальні процеси, фрактальний ріст кристалів, нечітке потенціальне поле, центр кластеризації.

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

Вкладаючи значні кошти в розвиток туризму, великий капітал вимагає максимального прибутку за найкоротші терміни. Природній ландшафт і місцеве населення сприймаються 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, витоплюються 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 складних соціально-економічних процесів

Розвиток GPS-технологій та різноманітні інтернаціональні програми космічного зондування та фотографування Землі, створення цифрових карт дозволили простій людині вільно орієнтуватись на місцевості, отримувати топографічні дані, інформацію про місцезнаходження, планувати маршрут, отримувати зображення місцевості з космосу та ін. [1]. Ці дані своєю чергою відкривають науковцям великі можливості щодо досліджень у сфері геоінформатики, геоінженерії,

архітектурі, соціології, економіки та в інших галузях наук. Відбитки більшості населених пунктів, зроблені з космосу, нагадують агрегований ріст кристалу на певних центрах (історико-культурних, розважальних, рекреаційних, промислових тощо), деформованих певним потенціальним полем. У даній роботі запропонована методологія аплікації методів фрактального росту кристалів для моделювання слабо контрольованих соціальних процесів, на прикладі прогнозування геометричної форми населених пунктів. Досліджені переваги та недоліки модифікованої теорії дифузно-обмеженої агрегації (ДОО) і «Випадкового дощу» та запропонований алгоритм поєднання даних теорій з метою усунення основних недоліків та максимального використання переваг останніх.

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

Активно зростаюча динаміка розвитку зеленого (сільського, економічного) туризму в нашій державі, обумовила необхідність на підставі використання існуючого математичного апарату, змоделювати перспективи створення кластерних полів з найбільш оптимальними параметрами очікування.

Актуальність дослідження полягає у розробці концепції прогнозування слабоконтрольованих 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 кристалів у різних умовах, еволюція сніжинки в атмосфері, спрямоване твердження у ряді процесів, що відіграють важливу роль в металургії [2].

1. Ріст населених пунктів характеризується рядом ознак, які присутні у фізичних процесах росту кристалів, зокрема:
2. Ріст фізичного кристалу починається на певному центрі. Роль такого центру можуть відігравати виробничі підприємства, історико-культурна спадщина, туристично-рекреаційні системи (ТРС), гірськолижні витяги, розважальні центри, пляжі тощо;
3. Деформація кластерів у фізичних кристалах зумовлена дифузією в потенціальному полі. Роль потенціального поля в соціальних процесах відіграє поле привабливості (атрактивності), що залежить від віддалі, інфраструктури, інноваційно-інвестиційного клімату, рельєфних, юридичних та інших аспектів. Дане поле може бути побудоване за допомогою теорії нечіткої логіки.

У процесі руху вільна частинка, що створює випадкові переміщення приєднується або до центру кластеризації, або до раніш агрегованих частинок. Згідно з маркетинговими дослідженнями [3] нові об'єкти рекреації, або новобудови з'являються в безпосередній близькості від сусідів, утворюючи квартали, аналог кластерів.

З вищесказаного стає зрозумілим, що основні процеси розбудови населених пунктів аналогічні процесам, що спостерігаються при рості кристалів. Це дає змогу використати апробовані теорії ДОО та «випадкового дощу» [4] для моделювання соціально-економічних процесів.

Прогнозування геометрії росту населених пунктів дозволить будувати відповідну інфраструктуру та комунікації з максимальною економічною вигодою. 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. У реальному житті таких центрів та областей кристалізації в межах досліджуваного об'єкта може бути декілька і вони мають, як правило, складну геометрію. Потенціальне поле атрактивності своєю чергою, теж має складну форму. У великих містах і мегаполісах стратегія розбудови формується згідно з експертними оцінками та дозволами відповідних установ. Розбудова невеликих поселень має імовірнісний характер, та визначною мірою 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 уже 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 передусім 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 сформуванню відповідну транспортну інфраструктуру тощо. Враховуючи перелічені входні параметри, величину потенціального поля можна описати за допомогою математичного апарату нечіткої логіки.

У загальному вигляді потенціал U записується у вигляді:

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

де a_1 – 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 галузі або отриману в результаті навчання нейромережі, навчальна множина якої, своєю чергою 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 за 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].

Вхідні параметри поділяються на два типи. x координати точно визначені за допомогою GPS-технологій (вектори доріг, історико-культурні центри тощо), та тих, які потрібно визначати власноруч (русло ріки, границя моря, схили тощо). Як правило, вхідні величини другого типу мають лише локальний вплив і є актуальними тільки 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 як вхідні параметри 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» тяжіє до вже прокладених автошляхів. Це підтверджується численними знімками населених пунктів з космосу[1]. Із збільшенням віддалі до автошляхів привабливість території для забудови спадає. Тому за вхідні параметри нечіткого потенціалу привабливості запропонували вибрати віддаль до найближчої дороги та віддаль по дорозі до найближчого центра кристалізації.

Модель модифікованої теорії дифузно-обмеженої агрегації (ДОА)

На сьогоднішній день існує багато моделей, які описують незворотне об'єднання частинок у кластери. Перебіг 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 ДОА [2].

Класична модель ДОА 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 центру 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 нашому випадку частинка повинна рухатись у потенціальному полі, що має вплинути на форму фракталу. Для моделювання цього руху можна скористатись методами молекулярної динаміки [12–14].

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

Агрегація частинки відбувається у випадку, коли в процесі руху вона стикається з центром кластеру, або раніш агрегованими частинками. У випадку, якщо вхідні параметри нечіткого потенціалу, які мають зміст локальних обмежень,

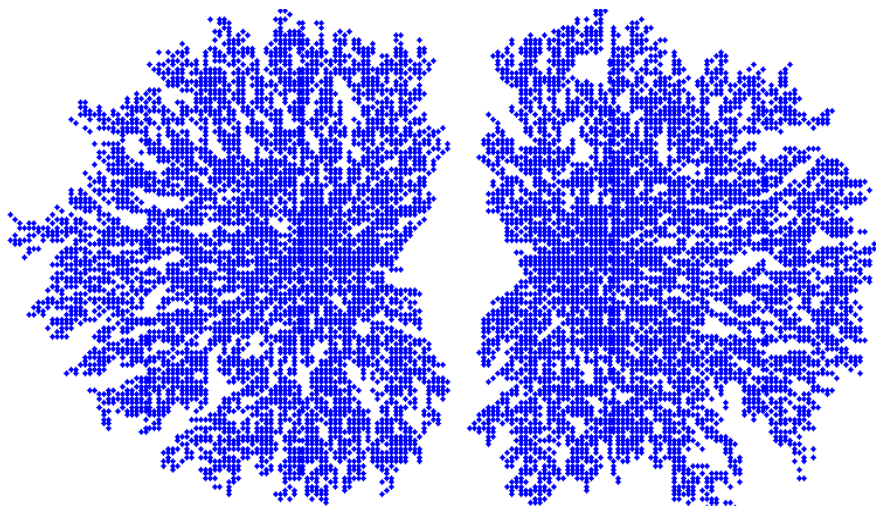


Рис. 1. Ростучий кластер в моделі ДОА у випадку наявності 2-х центрів кристалізації

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, незалежно від форми траєкторії останніх (рис. 1). А це призводить 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 по певних визначених випадкових траєкторіях. У роботі [2] було показано, що найкраще узгодження з експериментом забезпечує 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 кластера 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:

$$w_i = \frac{S_i}{\sum_{i=1,n} S_i} \quad (2)$$

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 залежно від величини нормованої ваги w_i . [17]. Для уникнення появи порожніх областей ми запропонували модифікувати алгоритм агрегації. В цілому алгоритм приєднання до кластера 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 триває 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 ймовірність агрегації частинки визначається як:

$$P(x, y) = U(x, y) \times P_a(x, y) \quad (3)$$

Ненульова ймовірність 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 ДОО згідно з наступними міркуваннями: 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 ДОО, агрегуючись на єдиному кластері. Тим самим можна уникнути проблеми порожніх областей та коректно розрахувати фронт росту фракталу.

Комп'ютерний експеримент

Як апробацію моделі ми вибрали відоме курортне містечко Українських Карпат Ворохта (рис. 2), французьке місто Альбервіль (рис. 4) та курортне приморське містечко південно-східного Криму Судак (рис. 6). Вибір цих населених пунктів мотивується їх різним рекреаційним спрямуванням, а також іншим менталітетом та законодавством України та Франції. Апробація методології дозволить підтвердити її адекватність та можливість використання її для подальших наукових досліджень.

Як перше наближення при розрахунку потенціального поля вхідними параметрами нечіткої моделі, основана на алгоритмі нечіткого виводу Сугено, були вибрані віддалі до вищезгаданих об'єктів, до доріг, шлях дорогою до найближчого об'єкта та геометрія морського узбережжя (Судак). Особливості рельєфу не враховувались.

При побудові нечітких продукційних правил використовувались експертні оцінки надані відділом з питань туризму Чернівецької обласної державної адміністрації.



Рис. 2. Ворохта (світлина з космосу)

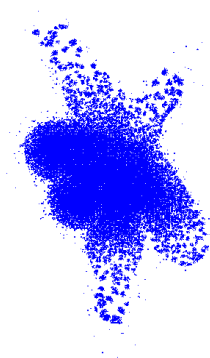


Рис. 3. Прогнозована фрактальна структура населеного пункту Ворохта побудована в нечіткому потенціальному полі привабливості згідно із запропонованою методологією

Розрахунки методом модифікованого ВД проводились у наближеннях, описаних вище. Всього під час експериментів досліджувався рух 10 000 частинок.

Розрахунки методом модифікованого ДОА проводились у 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 і, відповідно, зменшується вплив потенціального поля. Зменшення маси приводить до втрати фрактальної структури, а агрегований кластер повністю повторює геометрію потенціального поля.

На наведених нижче рисунках представлені результати прогнозування згідно із запропонованою методологією.

На рисунку 3 представлена прогнозована фрактальна структура Ворохти згідно із запропонованою методологією, що складається з близько 21 000 агрегованих частинок, порівняно зі світлиною даної місцевості з космосу (рис. 2). За рахунок модифікації моделі ВД кількість агрегованих частинок перевищує кількість ініційованих.

З рисунку видно, що отримана фрактальна структура досить добре повторює основні особливості досліджуваного регіону. Найбільш щільнонаселеними є центр міста та зона, що прилягає до гірськолижних витягів. Забудови розташовуються вздовж елементів інфраструктури та тяжіють до центру міста. Віддаляючись від центру, щільність поселень спадає і вони групуються в квартали або турбази, що займають значну площу. Схожа тенденція дійсно спостерігається в структурах населених пунктів. З рисунку 3 видно, що поєднання методів ВД та ДОА згідно із запропонованою методологією дозволяє використати переваги та позбавитись недоліків даних методів.



Рис. 4. Альбервіль (світлина з космосу)

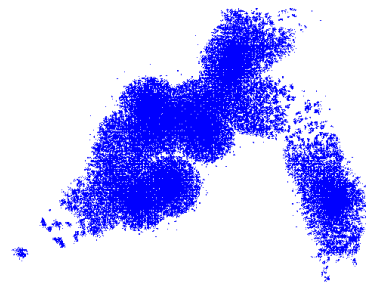


Рис. 5. Прогнозована фрактальна структура Альбервіля згідно із запропонованою методологією

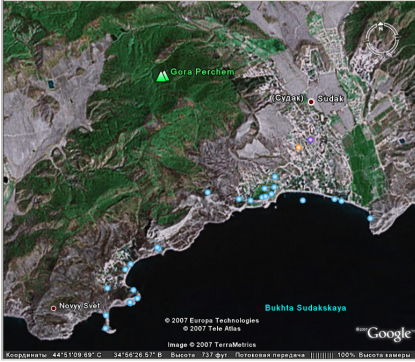


Рис. 6. Судак, Новий Світ (світлина з космосу)

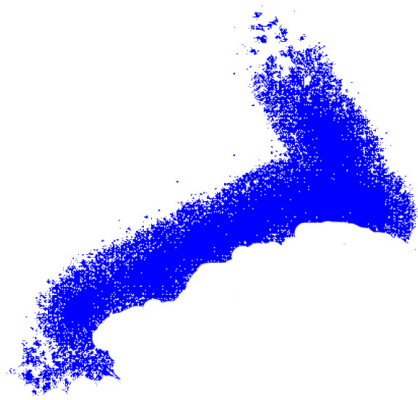


Рис. 7. Прогнозована фрактальна структура Судака та Нового Світу згідно із запропонованою методологією (крок 6)

Добра кореляція отриманих результатів з експериментальними дозволяє використати її для прогнозування фрактальних структур вищезгаданих населених пунктів.

На рисунках 4, 5 приведена прогнозована фрактальна структура Альбервіля, що складається з близько 28000 агрегованих частинок. Оскільки центри кластеризації у Ворохті розташовані більш компактно, ніж в Альбервілі, в процесі росту фракталу останнього утворюється більша кількість порожніх областей (рис. 1). За рахунок цього кількість агрегованих частинок фракталу Альбервіля майже в 1,5 разу перевищує їх чисельність у Ворохті. Отримані результати теж показують добру кореляцію з наявною структурою досліджуваного регіону і повторюють аналогічні висновки стосовно Ворохти.

При дослідженні регіону Судак-Новий Світ отримана фрактальна структура складалась з близько 24000 агрегованих частинок. Отримані результати теж показують добру кореляцію з наявною структурою регіону (рис. 6, 7). Ріст фракталу при моделюванні із даного регіону нагадує проекцію росту фізичного кристала на площині. Основні об'єкти привабливості розташовані вздовж узбережжя та поблизу дороги. Як видно з рисунку, врахування обмежень перешкоджає росту фракталу в зоні моря. Схожість теоретичних та експериментальних структур підтверджує справедливості твердження, що основну роль у формуванні геометрії населеного пункту відіграють існуючі шляхи сполучення та наявні центри кристалізації, а також вона є показником достовірності запропонованої методології.

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

Розглянута методика побудови нечіткого потенціального поля привабливості. Визначені та структуровані типи вхідних параметрів та обмежень. Запропонований 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 ДОА 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 методика 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 ДОА з метою усунення недоліків та отримання максимальної адекватності моделі.

У ході 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 у процесі 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 та обсягу послуг сегмента, що надаються залежно від побажань туристів та рекреантів. Інтегрування по об'єму дозволить визначити середню кількість рекреантів і, відповідно, передбачити грошові потоки модельованої системи.

Список використаних джерел

1. Крючков А.Н., Абламейко С. В., Апарин Г.П., Соболев Л.Н. 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. – 670 с.
3. Маркетинг в туризме: Учеб. пособие / А.П. Дурович. – 3-е изд., стереотип. – Мн.: Новое знание, 2003. – 496 с.
4. Кроновер Р. Фракталы и хаос в динамических системах. – М.: Техносфера, 2006. – 488 с.
5. Ткаченко Т.І. Сталий розвиток туризму: теорія, методологія, реалії бізнесу. Монографія. – К.:КНТЕУ, 2006. – 537 с.
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. Картографічне моделювання рекреаційного потенціалу єврорегіону Верхній Прут на основі нечіткої логіки // Відбір і обробка інформації, 2008. – №28(104).
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. – 311 с.
17. Томашевський В.М. Моделювання систем. – К.: Видавнича група BVH, 2005. – 352 с.

Школа И.Н., Выклюд Я.И. Прогнозирование социально-экономических процессов по методологии фрактального роста кристаллов в нечетком потенциальном поле.

Предложена методология аппликации методов фрактального роста кристаллов в нечетком потенциальном поле аттрактивности для прогнозирования социально-экономических процессов. Рассмотрена методика построения нечеткого потенциального поля привлекательности. Предложенная методика модификации и интеграции классических методов фрактального роста: диффузно ограниченной агрегации и «случайного дождя» с теорией молекулярной динамики. Предложенная методология была апробирована при прогнозировании геометрической структуры населенных пунктов. Полученные структуры хорошо коррелируют с экспериментальными данными, полученными с помощью современных ГИС технологий.

Ключевые слова: социальные процессы, фрактальный рост кристаллов, нечеткое потенциальное поле, центр кластеризации.

Shkola I.M., Vykylyuk Ya.I. Prognostication of Socio-Economic Processes on Methodology of Fractal Growth of Crystals in the Potential Field.

Methodology of application of methods of fractal growth of crystals in fuzzy potential field of attractiveness for prognostication of socio-economic processes has been offered. Methods of construction of fuzzy potential field of attractiveness has been considered. Methods of modification and integration of classic methods of fractal growth: diffusely limited aggregation and «casual rain «with the theory of molecular dynamics has been offered. The offered methodology was approbated during prognostication of geometrical structure of settlements. The obtained structures correlate well with experimental information got by modern GIS technologies.

Key words: social processes, fractal growth of crystals, fuzzy potential field, center of clasterization.

Надійшло 06.03.2008 р.