

УДК 528.91:528.94

## ЗАСТОСУВАННЯ СТРУКТУРНО- ГРАФІЧНОГО ТА ГІС- МОДЕЛЮВАННЯ У КАРТОГРАФІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

**Тетяна Дудун<sup>1</sup>, Світлана Тітова<sup>1</sup>**

1. Кафедра геодезії та картографії, Київський національний університет імені Тараса Шевченка, вул. Володимирська, 64/13, Київ, Україна, 01601, e-mail: t.dudun@ukr.net

Розглянуто структурно-графічне моделювання: поняття, зв'язки, класифікація та використання у картографічних дослідженнях. Обґрунтовано використання структурно-графічних моделей для дослідження об'єкта картографування. Визначено функції структурно-графічного моделювання. Досліджено просторове моделювання та типи просторових моделей реального світу.

*Ключові слова* – карта, структурно-графічна модель, картографування, ГІС-моделювання, функції ГІС-моделювання.

Понятійна основа та проблемна орієнтація досліджень є вихідною базою для розуміння об'єкта картографування. На передкартографічному етапі для вивчення досліджуваних об'єктів застосовується системний підхід у поєднанні з методами моделювання. Це положення окремо наукової методології картографії, розроблене в Інституті географії НАНУ [6]. Серед теоретико-методичних положень, які були задіяні у дослідженні, головними були: багатоаспектне поняття моделі, видів моделювання, їх зв'язків, особливо зв'язків структурно-графічного та картографічного моделювання.

Модель (в широкому розумінні) - це образ (в тому числі умовний або мисленний), зображення, опис, креслення, графік, план, карта тощо або прообраз (зразок) будь-якого об'єкту чи системи об'єктів ("оригіналу" даної моделі), які у наукових дослідженнях використовуються для заміщення системи оригіналу з метою вивчення [3].

Виходячи з терміна, можна певною мірою вважати, що опис системи-оригіналу - це вербальна модель; схема, креслення, графік - це графічна модель; план, карта та інші геозображення - це картографічна модель. Зрозумілим є вивчення складного об'єкту на моделях. Як зазначав Chorafas D., звичайна реакція людини на очевидну складність середовища полягає в тому, що вона будує для себе спрощену картину. "Далі вона прагне замінити своєю моделлю реальний світ нашого досвіду і отримати над ним перемогу" [4].

Інший вчений зазначає, що наш розум розкладає реальний світ на ряд більш простих систем, завдяки чому зразу ж вдається "оглянути суттєві риси цілого" [1]. Отже, модель - це спрощене відтворення реальності, вона відображає у загальній формі її істотні риси та взаємозв'язки.

Skilling H. [9] стверджує, що моделлю може бути і теорія, і закон, і гіпотеза, і ідея, якій притаманна певна структура, а також роль, співвідношення, рівняння або синтез даних. Для картографії особливо важливим є те, що моделями можна вважати і судження про реальний світ, які утворюються за допомогою розгляду об'єктів в просторі (просторові моделі) і в часі (іст. моделі).

Як зазначено в роботах О. М. Берлянта [2] та Т. Козаченко, Г. Пархоменко [7] введення поняття і принципів моделювання в картографію є корисним в багатьох відношеннях. По-перше, воно дає можливість охарактеризувати картографування і використання карт за допомогою загальних гносеологічних категорій. По-друге, використання загальнонаукових принципів моделювання дає змогу ввести карти у великий клас моделей, розширити, доповнити і скорегувати картографічні методи, пов'язуючи їх з загальнонауковими методами моделювання. Є змога знайти раціональні форми і варіанти контактів з іншими видами моделювання і з іншими моделями (математичними, аерокосмічними, тощо). По-третє, етимологічна визначеність самого терміну точно вказує місце картографічного моделювання як засобу дослідження в загальній системі пізнання, дає уявлення про сукупність властивостей карти як моделі.

Таким чином, використання терміну "картографічне моделювання" є доцільним і виправданим з гносеологічної точки зору, з позицій методики і методології картографії її термінології.

Під картографічним моделюванням розуміють створення, аналіз і перетворення картографічних тво-рів як моделей реальних об'єктів та процесів з метою їх використання для придбання нових знань про ці об'єкти та процеси. У науках про Землю та суспільство моделювання є не лише методом чи засобом, а і стилем дослідження за допомогою картографічного методу. Під стилем картографічного дослідження О. М. Берлянт розуміє стійку цілісність або єдність образної системи відображення об'єкта у геопросторі, яка містить у собі логічно пов'язані між собою образи об'єкта, втілені у різноманітні види моделей [2]. Таке твердження узгоджується з вивченими класифікаціями моделей.

Моделі поділяють на дві великі категорії: матеріальні (речові) та ідеальні. Матеріальні моделі за подібністю до системи-оригіналу розподіляють на просторо-воподібні, фізичноподібні і математично подібні, а ідеальні - на образні

(іконічні), образно-знакові та знакові (символічні) [11]. П. Хаггет і Р. Чорлі [10] розрізняють моделі в залежності від матеріальної природи: речові (в т. ч. експериментальні), теоретичні, символічні та мисленні. Серед речових виділяють репродукційні та аналогові.

Запропонована А. Д. Армандом класифікація моделей природних територіальних комплексів є придатною для характеристики картографічних моделей. Автор поділяє моделі за призначенням і логікою побудови, за ступенем відображення динаміки і використання числового матеріалу, за характером реалізації, врахуванням випадкових відхилень і фізичною сутністю модельованого об'єкта. Відомим є використання цієї класифікації для визначення різновидів картографічних моделей [7]. Карти або серії карт на одну дату розглядають як моделі статичні, різночасові карти - як моделі кінематичні, а карти, які характеризують рух явищ або розвиток процесів в часі і просторі, - як моделі динамічні. Наводилися аргументи про те, що є карти, які відображають обмін речовиною, енергією і інформацією.

Ми вважаємо, що автори [7] не стільки ставили за мету подання класифікації картографічних моделей, скільки проклали шлях до пошуку системи ознак карт як моделей. О. М. Берлянт вважає, що за точністю картографічні моделі можна поділити на точні і наближені, за часом - на ретроспективні, сучасні і прогностичні, за ступенем узагальнення інформації - на аналітичні, комплексні і синтетичні [2]. Пошук класифікаційних ознак є корисним не лише для упорядкування класифікацій карт як моделей, а, найперше, для того, щоб можна було визначити спільні ознаки з іншими видами моделей, й використати останні як допоміжні в процесі картографічних досліджень тих об'єктів, які на карті ще не відображалися.

Практикою картографічних досліджень доведено корисність застосування допоміжних структурно-графічних моделей при переході від вербальних моделей (словесних описів об'єктів, які підлягають картографуванню) й від інформаційних (інформація про об'єкт, поданий у вигляді таблиць, де зазначено зв'язки об'єкта у геопросторі та його якісні і кількісні характеристики) до картографічних.

Відомо, що спершу використовувався термін "графічна модель", введений в наукову літературу І. М. Гусевою та Ю. Г. Саушкіним [5]. В подальших дослідженнях українських вчених було обґрунтовано застосування терміна "структурно-графічна модель" [7], якому ми даємо перевагу над терміном "структурно-логічна модель", введеному в літературу пізніше І. Ю. Левицьким та В. А. Пересадько [8], тому що в останньому бракує вказівок на форму реалізації моделі, що подає структуру об'єкта у графічному вигляді

елементів (блоків) системи-оригіналу та ліній внутрішніх і зовнішніх зв'язків, які з'єднують блоки.

Створення будь-яких картографічних творів вимагає вивчення літературних джерел, що описують територіальні системи, які належить картографувати. Проміжним засобом між словесним описом реальних систем (вербальними моделями) у літ. джерелах і картографічними моделями слугують структурно-графічні моделі.

Їм притаманна така основна властивість будь-якої моделі як масштаб складності, який проявляється у відображенні структури реальних систем. Структурність є специфічною особливістю структурно-графічних моделей.

Масштаб простору в структурно-графічній моделі відображається у виборі елементів систем і підсистем стосовно конкретної території, а масштаб часу - в наборі елементів систем, які характеризують етапи розвитку системи-оригіналу у визначеному проміжку часу.

Для розуміння придатності структурно-графічних моделей у картографічних дослідженнях важливою є їх класифікація, запропонована авторами монографії [7] та методичні особливості їх побудови.

Розгляд теоретичних засад і досвіду створення різноманітних структурно-графічних моделей систем різних об'єктів, дав змогу визнати, що функції структурно-графічних моделей мають для картографічного моделювання досить істотне значення, а саме дають змогу:

- провести підбір існуючих карт, необхідних для дослідження;
- виявити елементи систем, які ще не отримали відображення на картах і визначити необхідність створення нових карт для відображення істотних властивостей і зв'язків об'єктів;
- визначити тематику карт і їх розміщення в межах комплексних картографічних творів;
- використати карти інших елементів системи при створенні серії карт кожного конкретного елемента;
- забезпечити відповідність карт даного елемента картам інших елементів;
- встановити зміну комплексних карт і їх груп;
- визначити основні графі таблиць для збору інформації у реляційних чи електронних БД;
- визначити розділи легенд карт, тобто створити моделі уніфікованих легенд типових карт;
- подати легенди або окремі їх розділи у вигляді графічних моделей зв'язків елементів системи нижчих рангів.

### **Просторове моделювання та типи географічних моделей реального світу**

Географічні інформаційні системи також моделюють наш світ. Всі ГІС будуються на основі

формальних моделей, що описують розміщення у просторі об'єктів і процесів. Географічні моделі нашого світу утворюють інформаційну основу ГІС-аналізу. Моделі є корисними і використовуються в широкому спектрі застосувань ГІС від простої оцінки до передбачення майбутнього складного об'єкту дослідження. У минулому моделювання часто було необхідним в парі з ГІС зі спеціальним програмним забезпеченням, призначеним для функціонування у сфері динамічного моделювання. Моделювання в ГІС порушує низку важливих питань, включаючи питання про перевірку ролі масштабу, точності, проектування об'єктів інфраструктури з метою сприяння обміну моделями.

Термін "моделювання" використовується в декількох різних контекстах в галузі ГІС, тому доцільно роз'яснити зміст. Є два важливих значення:

- модель даних визначається як набір очікувань про дані – шаблон, у яких дані, необхідні для конкретного застосування, можуть бути вставлені. Наприклад, таблиця – дуже простий приклад моделі даних; рядки таблиці відповідають групі або класу реальних можливостей таких як округи, озера або дерева, а стовпчики відповідають різним характеристикам об'єктів, іншими словами, атрибутам. Цей шаблон таблиці виявиться дуже корисним, оскільки він забезпечує оптимальний збіг характеру даних у багатьох застосуваннях ГІС. По суті, моделі даних ГІС дозволяють користувачеві створювати уявлення про те як виглядає світ.

- модель (без кваліфікаційних даних) є представленням одного чи кількох процесів, які як вважають, відбуваються в реальному світі, іншими словами, про те як влаштований світ. Модель являє собою комп'ютерну програму, яка приймає цифрове представлення одного або декількох аспектів реального світу і перетворює їх, щоб створити нове уявлення.

При комплексному підході необхідно розрізнити такі типи географічних моделей реального світу: *аналогові й цифрові моделі; дискретні й безперервні моделі; індивідуальні й агреговані моделі; статичні й динамічні; клітинні автомати; агентні моделі.*

*Аналогові моделі* є найпоширенішим типом. Аналогова модель визначається як масштабна модель, уявлення системи реального світу, в якій кожна частина реальної системи змодельована у мініатюрі. Дуже розповсюдженими аналоговими моделями реального світу є паперові топографічні, географічні й тематичні карти. Успіх аналогових моделей залежить від ступеня розширення системи, бо робота системи в масштабі моделі ідентична роботі реальної системи.

У *цифровій або розрахунковій моделі* всі операції проводяться з використанням комп'ютера.

Дані зібрані в модель даних і закодовані з використанням різних схем кодування, які зменшують відповідні аспекти реального світу до структур з нулів та одиниць. Сама модель також кодується в такому ж обмеженому алфавіті як комп'ютерна програма або програмне забезпечення. Цифрові моделі не мають представницької фракції, оскільки немає відстані в моделі у порівнянні з відстанню в реальному світі. Замість цього рівень географічної деталізації фіксується просторовою роздільністю або розміром найменшого просторового об'єкта, представленим в базі даних.

Крім *просторової роздільності, часова роздільність* також має велике значення в динамічних моделях, оскільки вона визначає довжину часового кроку моделі. Будь-яка динамічна модель походить від дискретної послідовності таких кроків, кожний з яких представляє певний проміжок часу, бо програма намагається передбачити стан системи в кінці часового кроку на основі введення на початку часового кроку. Просторова і часова роздільності повинні відповідати реальному характеру модельованого процесу.

*Дискретні моделі* імітують процеси, що відбуваються між дискретними утвореннями, такими як сили, що діють між небесними тілами і керують їх рухом, або поведінку людей або тварин при їх взаємодії в просторі. У концепції дискретних об'єктів географічний простір порожній за винятком випадків, коли він зайнятий точковими, лінійними або площинними об'єктами, які можуть перекривати один одного, необов'язково використовуючи вільний простір, і неможливо визначити їх кількість. Концепція дискретних об'єктів працює найкраще при описі та поданні біологічних організмів або створених діяльністю людини просторових об'єктів, таких як будівлі, транспортні засоби.

*Безперервні моделі*, з іншого боку, є моделями в термінах змінних, які є безперервними функціями місця, наприклад, атмосферного тиску або температури, кислотності ґрунту або вологості. Концепція безперервного поля описує географічний світ серією безперервних карт, кожна з яких представляє зміни визначеної змінної над поверхнею Землі. У покритті немає пробілів: є тільки одне значення для кожної змінної в кожному місці. Моделі безперервного поля, як правило, виражають знання роботи фізичної системи в термінах частинних похідних диференціальних рівнянь, які пов'язують значення, рівень зміни в часі, просторові градієнти і просторову кривизну у безупинно мінливих кількостях.

*Індивідуальні моделі.* В принципі можна моделювати будь-які системи за допомогою набору правил про механічну поведінку основних об'єктів системи. Поведінка натовпу, наприклад, може бути змодельована за допомогою кількох правил про поведінку кожного індивідуума, а розвиток структури землекористування на площі може бути змодельовано через низку правил, які описують

поведінку кожної особи, що приймає рішення. Але при такому підході для багатьох систем кількість основних об'єктів є занадто великою для практичного використання. Моделі безперервного поля вирішують цю проблему шляхом заміни окремих об'єктів з безперервно мінливими оцінками таких абстрактних властивостей як щільність людей в натовпі або середня швидкість і прискорення молекул води, що розглядаються як безперервні рідини.

*Агреговані моделі.* Інший підхід полягає в об'єднанні (агрегуванні) окремих об'єктів у єдине ціле і моделюванні системи через поведінку цих агрегатів. Таким чином, багато моделювань систем організму людини відбувається на агрегованому рівні ділянок перепису або шляхів, і багато моделювань гідрологічних систем відбувається з великими системами, які агрегують райони в цілісні вододіли або ділянки потоків. Великі системи ігнорують зміни (в т. ч. поведінки) і процеси всередині цілісного утворення, які знаходяться нижче просторового розділення для відображення. З часом підвищення потужності та місткості комп'ютерів зробили моделювання на індивідуальному рівні практичнішим, і сьогодні можна будувати моделі з участю мільйонів і навіть мільярдів об'єктів. Проблема визначення початкових умов залишається актуальною. Однак вона часто є результатом реальних обмежень під час збору даних, отже часто потрібне використання дорогих людських ресурсів. Така технологія як ДЗ, забезпечує часткове рішення, що надає початкові умови на великих площах, щоб охарактеризувати в хорошому просторовому розділенні, але оптичне дистанційне зондування обмежене у своїй здатності бачити крізь хмари і відрізати області на основі властивостей відповідно до дослідницької моделі.

*Статистичні моделі.* Моделі можуть бути статичними, якщо вхід і вихід відповідають одному й тому ж моменту часу, або динамічними, якщо вихід представляє пізніший момент часу, ніж вхід. Спільним елементом у всіх цих моделях є робота ПС в кілька етапів, чи будуть вони використані для створення комплексних показників від вхідних шарів або для представлення часових кроків у роботі динамічного процесу. Статичні моделі часто набувають форми показників, поєднуючи різні матеріали для створення корисного виходу. Наприклад, універсальне рівняння втрати ґрунтів комбінує шари, що відображають інформацію про схили, якості ґрунту в сільськогосподарській практиці, а та-кож інші властивості для оцінки кількості ґрунту, яка буде втрачена в результаті ерозії з одиниці площі в одиницю часу.

*Динамічні моделі,* з іншого боку, становлять процес, який змінює або перетворює деякі аспекти поверхні Землі з перебігом часу. Сучасні прогнози погоди створюються на основі динамічних моделей атмосфери. Динамічні моделі річкового стоку використовуються для прогнозування повеней, а

динамічні моделі людської поведінки використовуються для прогнозування заторів.

У *клітинному автоматі* просторові варіації представлені у вигляді растра фіксованої роздільності, кожній чарунці якого призначено один з кінцевої безлічі певних станів. Для роботи клітинного автомата потрібні завдання початкового стану всіх чарунок і правила переходу чарунок з одного стану в інший. На кожній ітерації, використовуючи правила переходу і стану сусідніх чарунок, визначається новий стан. Зазвичай, правила переходу однакові для всіх чарунок і застосовуються відразу до всієї ґратки. Такі моделі часто використовуються для вивчення процесів розширення міст, і в цьому випадку можливі стани, які будуть обмеженими двома показниками: нерозвинені та розвинені. На кожному часовому кроці наступний стан кожного осередку визначається числом правил, заснованих на властивостях і на стані чарунки та її сусідів. Наприклад, правила для моделі простого міського розширення можуть бути наступними: якщо чарунка в даний час нерозвинена, то її потрібно перетворити в розвинену чарунку з ймовірністю, яка залежить від нахилу чарунки та близькості до основних транспортних зв'язків, зонінгу чарунки, числа її найближчих сусідів, які вже розвинені; якщо чарунка в даний час розвинена, залишити без змін.

*Агентна модель* – це ряд взаємодіючих активних об'єктів, які відображають об'єкти і відносини в реальному світі. З точки зору практичного застосування агентне моделювання можна визначити як метод імітаційного моделювання, який досліджує поведінку децентралізованих агентів і те як ця поведінка визначає поведінку всієї системи в цілому. При розробленні агентної моделі інженер вводить параметри агентів (це можуть бути люди, транспортні засоби, міста, тварини і т. д.), визначає їх поведінку, розміщує їх у деяке навколишнє середовище, встановлює можливі зв'язки, після чого запускає моделювання. Індивідуальна поведінка кожного агента утворює глобальну поведінку моделюваної системи. У агентної моделі динамічна поведінка системи представлена через правила, що регулюють дії низки автономних агентів. Такі моделі можна розглядати як узагальнення клітинного автомата, в якому агенти можуть пересуватися у просторі, а не обмежуватися чарункою растра, але в інших випадках розташування агентів може бути нерелевантним до моделі. Агент-орієнтоване моделювання знайшло багато цікавих застосувань для географічних явищ. Наприклад, були прикладені деякі зусилля, щоб застосувати агент-орієнтоване моделювання в галузі землекористування та земельного покриву з особливим акцентом на процеси, які призводять до більшої фрагментації ґрунтового-рослинного покриву. Одним із чинників, який призвів до недавнього

підвищення інтересу до агентних моделей, є поява об'єктно-орієнтованої парадигми в розроблені програмного забезпечення. Відомий науковець Бетті (Batty) описав концепцію моделювання дії індивідуумів в складних географічних ландшафтах шляхом будівництва безлічі паралельних, незалежних програмних модулів, кожен з яких представляє дію і рішення одного об'єкта в системі. Об'єктно-орієнтована мова зробили його набагато легшим для осмислення і побудови таких систем моделювання, які дуже відрізняються в архітектурі ПЗ від традиційного серійного підходу до обчислень.

### Висновки

На сьогодні можна із впевненістю говорити про те, що моделювання - це метод дослідження різних явищ і процесів, вироблення варіантів управлінських рішень. Методом моделювання описуються структура об'єкта (статична модель), процес його функціонування і розвитку (динамічна модель). У моделі відтворюються властивості, зв'язки, тенденції досліджуваних систем і процесів, що дає змогу оцінити їх стан, зробити прогноз, прийняти обґрунтоване рішення. Форми моделювання різноманітні і залежать від видів структурних моделей та сфери застосування. Виділяють предметне і знакове моделювання. Предметне допускає створення моделей, що відтворюють просторово-тимчасові, функціональні, структурні й інші властивості оригіналу (конкретно-наукові моделі). Знакове полягає в репрезентації параметрів об'єкта за допомогою символів, схем, формул, пропозицій мови (логіко-математичні моделі). Гносеологічний зміст моделювання утворює основу для переносу результатів, одержаних у ході вивчення моделей, на оригінал. На сьогодні, моделювання систем управління земельними ресурсами є одним з найважливіших напрямів процесу пізнання управлінської діяльності й управлінських відносин і тому виступає як найважливіша функція управління поряд з нормативно-ціннісним регулюванням й інформаційним забезпеченням. Під управлінським моделюванням розуміється процес по-будови і дослідження аналогів реальних явищ, об'єктів, процесів, у яких відображені найважливіші, з погляду мети управління або дослідження, властивості й опущені другорядні, малоістотні. Одна із головних стратегічних цілей геоінформаційного моделювання – «бачити ціле». Завдяки геоінформацій-ному моделюванню за умови введення до системи великої кількості достовірних і точних даних користувач може виявити глибинні системні зв'язки і тенденції, які недоступні для пізнання з використанням традиційних методів пізнання. Стратегічна ціль ГІС-моделювання – «керувати місцеположенням». Геоінформаційне моделювання в такому випадку може забезпечити низку важливих аналітичних

можливостей: аналіз місцеположення об'єктів; побудова моделей щільності явищ; пошук об'єктів всередині певної області; аналіз найближчого сусідства; моделювання змін; визначення просторових атрибутів об'єктів; розподіл об'єктів по категоріях; пошук та визначення закономірностей розподілу просторових та атрибутивних даних; тривимірна візуалізація кінцевих результатів геосистем.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Apostel L., Towards the formal study of models in the non-formal sciences. 1961.- P. 1-37.
2. Берлянт А.М. Образ пространства: карта и информация. - М.: Мысль, 1986. - 240 с.
3. Chorafas D. N., Systems and simulation, New York, 1965. -P.167.
4. Гусева И.Н., Саушкин Ю.Г. Вопросы комплексности региональных атласов и пути их решения. - М.: 1968. - С.17-50.
5. Еколого-географічне картографування території (досвід робіт, обґрунтування структури і змісту атласу) Руденко Л.Г., Бочковська А.І., Горленко І.А., Пархоменко Г.О., Шевченко В.О. – К.: Препринт, 1992
6. Козаченко Т.І., Пархоменко Г.О., Молочко А.Н. Картографічне моделювання: Навчальний посібник. -Вінниця: Антекс - УЛТД, 1999. - 328 с.
7. Skilling H., An operation view, "American Scientist", 52, 338A-396A.
8. Чорли Р., Хаггет П. Общая теория систем. Модели в географии: Перевод с англ. - М.: Прогрес 1971. - 380 с.
9. Руденко Л.Г., Пархоменко Г.О., Молочко А.Н. и др. Картографические исследования природопользования. Теория и практика работ. – К.: Наукова думка, 1991. – 212 с.

### APPLICATION OF STRUCTURAL-GRAPHIC AND GIS-MODELING IN THE CARTOGRAPHIC RESEARCHES GEOSYSTEMS

Tetyana Dudun<sup>1</sup>, Svitlana Titova<sup>1</sup>

1. Department of geodesy and cartography, Kyiv Taras Shevchenko National University, Volodymyrs'ka str. 64/13, Kyiv, Ukraine, 01601, e-mail: t.dudun@ukr.net

Structural-graphic modeling is considered: concepts, connections, classification and use in cartographic research. The use of structural and graphic models for the study of the mapping object is substantiated. The functions of structural-graphical modeling are defined. Investigated spatial modeling and types of spatial models of the real world.

*Keywords* – map, structural-graphic model, GIS-modeling, GIS-modeling functions.