

III. ПРИРОДНИЧА ГЕОГРАФІЯ: ТЕОРІЯ ТА ПРАКТИКА

УДК 502.2:911.5(075.8)

<https://doi.org/10.17721/2308-135X.2025.78.46-55>

Самойленко Віктор Миколайович,
доктор географічних наук, професор

Вішнікіна Любов Петрівна,
доктор педагогічних наук, професор

Діброва Іван Олександрович,
кандидат географічних наук, доцент

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Україна,
e-mail: viksam1955@gmail.com, ORCID ID: 0000-0002-0327-1477

Полтавський національний педагогічний університет імені В.Г. Короленка,
Полтава, Україна, e-mail: lpvishnikina@gmail.com,
ORCID ID:0000-0003-0976-5512

Київський національний університет імені Тараса Шевченка, Київ, Україна,
e-mail: idibrova@knu.ua, ORCID ID:0000-0003-1157-6315

ПРИРОДНИЧО-ГЕОГРАФІЧНІ МОДЕЛІ ТА ПРИНЦИПИ ЇХНЬОЇ СИСТЕМАТИЗАЦІЇ

Метою статті є відображення різноманіття природничо-географічних моделей та розкриття основних принципів їхньої систематизації.

Методика. В основі дослідження покладені теоретико-методологічні положення ландшафтно-екології та конструктивної географії. Використано методи ймовірнісного аналізу та геоінформаційного моделювання у геоєкології. Застосовано багаторічний науково-методичний досвід та прикладні розвідки авторів цієї праці в царині природничо-географічного моделювання.

Результати. Викладено теоретично-методичні засновки природничо-географічного моделювання, спрямованого на дослідження структури, динаміки та стану природничих геосистем, зв'язків і процесів усередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою природничо-географічних моделей. Зокрема, розглянуто поняття моделі та моделювання у широкому розумінні, подані дефініції понять "природничо-географічна модель", "природничо-географічне моделювання". Проаналізовано природничо-географічні моделі та обґрунтована їхня систематизація за основними принципами: за об'єктом моделювання (дослідження); за низкою ознак, насамперед за призначенням; за логікою застосування моделей; за способом побудови моделей й способом передавання відношень подібності; за певними можливими комбінаціями вказаних принципів. Вирізняє режими застосування й форми створення / відображення моделей. Перелічено та охарактеризовано методи природничо-географічного моделювання, вимоги до моделей як засобу наукового пізнання, а також розглянуто два принципові напрями природничо-географічного моделювання точно формалізованими методами.

Наукова новизна полягає у здійсненні концептуально-прикладного викладу змісту і засобів природничо-географічного моделювання, що править за інструментарій як сучасної ландшафтно-екології, так і природничої географії в цілому. Надано тлумачення понять "природничо-географічна модель", "природничо-географічне моделювання". Визначено найбільш доцільні принципи систематизації природничо-географічних моделей, які покладено в основу оптимізації управління природничими геосистемами, процесами і явищами, які в них протікають. При цьому, природничі геосистеми тлумачаться як складні вкеровні природно-натурально-антропогенні системи з експлуатацією їхніх ресурсів.

Практична значимість. Отримані результати може бути використано фахівцями у сфері збереження й відновлення довкілля на основі оптимізації ресурсокористування з урахуванням транскордонного природоохоронного співробітництва. Викладені засновки цієї праці також може бути задіяно при викладанні низки дисциплін природоохоронного спрямування, націлених на формування спеціальних компетентностей здобувачів вищої освіти (знань, вмінь, навичок, формування географічного бачення світу, емоційно-ціннісного ставлення до довкілля й людської діяльності у ньому).

Ключові слова: природничо-географічна модель, природничо-географічне моделювання, принципи систематизації природничо-географічних моделей.

UDC 502.2:911.5(075.8)

<https://doi.org/10.17721/2308-135X.2025.78.46-55>

Samoilenko Viktor,
Doctor of Sciences in Geography, Professor

Vishnikina Liubov,
Doctor of Sciences in Pedagogy, Professor

Dibrova Ivan,
Candidate of Sciences in Geography, Associate Professor

Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail:
viksam1955@gmail.com, ORCID ID:0000-0002-0327-1477

V.G. Korolenko National Pedagogic University of Poltava, Poltava, Ukraine,
e-mail: lpvishnikina@gmail.com, ORCID ID:0000-0003-0976-5512

Taras Shevchenko Kyiv National University, Kyiv, Ukraine, e-mail:
idibrova@knu.ua, ORCID ID: 0000-0003-1157-6315

NATURAL-GEOGRAPHICAL MODELS AND PRINCIPLES OF THEIR SYSTEMATIZATION

The purpose of the article is to reflect the diversity of natural and geographical models and reveal the basic principles of their systematization.

Methodology. The study is based on the theoretical and methodological provisions of landscape ecology and constructive geography. The methods of probabilistic analysis and geoinformation modeling in geoecology are

used. The authors of this work have applied many years of scientific and methodological experience and applied research in the scope of natural and geographical modeling.

Results. The theoretical and methodological foundations of natural and geographical modeling are presented, aimed at studying the structure, dynamics and state of natural geosystems, connections and processes within them, between them and with the external environment using natural and geographical models. In particular, the concepts of model and modeling in a broad sense are considered, and definitions of the concepts of "natural and geographical model" and "natural and geographical modeling" are provided. Natural and geographical models are analyzed and their systematization is justified according to the main principles: by the object of modeling (research); by a number of features, primarily by purpose; by the logic of applying models; by the method of constructing models and the method of transmitting similarity relations; by certain possible combinations of the above principles. The modes of application and forms of creating / presenting models are noted. The methods of natural and geographical modeling, the requirements for models as a means of scientific knowledge are listed and characterized, and two fundamental directions of natural and geographical modeling using precisely formalized methods are considered.

The scientific novelty lies in the implementation of a conceptual and applied presentation of the content and means for natural and geographical modeling, which is the toolkit of both modern landscape ecology and natural geography in general. The interpretation of the concepts of "natural and geographical model", "natural and geographical modeling" is provided. The most appropriate principles of systematization of natural and geographical models have been determined, which are the basis for optimizing the management of natural geosystems, processes and phenomena occurring in them. At the same time, natural geosystems are interpreted as complex controllable native-natural-anthropogenic systems with the exploitation of their resources.

Practical significance. The obtained results can be used by specialists in the scope of environmental conservation and recovery based on optimizing resource use, taking into account transboundary environmental cooperation. The principles outlined in this work are used in teaching a number of environmental disciplines aimed at forming special competencies of higher education applicants (knowledge, skills, expertise, formation of a geographical vision of the world, emotional and value-based attitude towards the environment and human activity in it).

Keywords: natural and geographical model, natural and geographical modeling, principles of systematization of natural and geographical models.

Постановка проблеми. Надмірне антропогенне навантаження та виклики сьогодення, зумовлені зокрема військовими діями, визначають збіднення біологічного й ландшафтного різноманіття та погіршення стану довкілля. Для оптимізації ситуації, яка наразі склалася, вельми значущим уявляється природничо-географічне моделювання як науковий метод пізнання довкілля, зокрема його теоретико-прикладні засновки, які потребують постійного вдосконалення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. У працях Самойленка В.М., Осадчого В.І., Вішнікіної Л.П., Білоус Л.Ф., Гавриленко О.П., Діброва І.О. наведено інформацію про наукові розробки стосовно застосування модельного апарату в предметній області природничої географії (Самойленко та ін., 2018, 2019, 2020, 2021, 2022). Зазначеними науковцями розроблено власні концептуально-прикладні засновки щодо змісту і засобів саме природничо-географічного моделювання як інструментарію дослідження стану географічних систем та їхньої структурно-функціональної організації. За такі засоби пізнання довкілля правлять різноманітні природничо-географічні моделі, які потребують науково-обґрунтованої систематизації.

Постановка завдання. Завданням цієї статті є розкриття різноманіття природничо-географічних моделей як інструментів пізнання довкілля та проведення систематизації таких моделей на основі запропонованих принципів.

Вклад основного матеріалу. Початково слід розглянути поняття про модель і моделювання, як загалом, так і в природничій географії зокрема, а також дослідити принципи класифікації моделей. Останні можуть відображати обраний об'єкт моделювання та/або метод моделювання і певні особливості процесу моделювання. Найбільш простим загальним визначенням моделі виступає наступне: **модель - це об'єкт-замінник, що у чомусь є подібним до оригіналу**. Оригінал при цьому постає як об'єкт дослідження (або об'єкт моделювання). За нього може правити природнича географічна система (геосистема), певний досліджуваний природничо-географічний процес чи явище або комбінація природничої геосистеми та процесів/явищ, які визначають її динаміку та стійкість (Самойленко, 2003; Самойленко, Діброва, 2012).

Модель у широкому розумінні можна визначити **як умовний образ географічного об'єкта досліджень, сконструйований таким чином, щоб віддзеркалити риси цього об'єкта, істотні для поставленої мети досліджень**. За таких умов міра відображення об'єкта досліджень або міра адекватності моделі об'єкту досліджень ніколи не може бути повною і визначається в залежності від мети та способів моделювання. Отже, необхідним атрибутом виконання моделлю

функцій замітника є визначені дослідником ті, які його цікавлять, відношення подібності між елементами оригінала та моделі. Звідси, у широкому розумінні, **моделювання довкілля можна кваліфікувати як вивчення об'єкта досліджень за його моделлю-замінником, яка володіє потрібними досліджуваними властивостями цього об'єкта** (Самойленко, 2003).

Виходячи з цього, надамо визначення моделі та моделювання в природничій географії. Під **природничо-географічною моделлю** в цілому слід розуміти явище, предмет, знакове утворення або умовний образ (опис, схему тощо), які знаходяться у певній відповідності із зазначеним вище об'єктом дослідження та здатні замінити його в процесі дослідження шляхом подавання інформації про цей об'єкт. **Природничо-географічне моделювання** є сенс кваліфікувати як дослідження структури, динаміки та стану, зокрема стійкості, природничих геосистем, зв'язків і процесів всередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою природничо-географічних моделей. При цьому будь-яка модель може виступати і програмою, і засобом, і результатом дослідження, яке стосується аналізу, оцінювання чи прогнозування стану природничої геосистеми, її структурно-функціональних характеристик, плину процесів у ній тощо. Природничо-географічна система постає складною вкерованою природно-натурально-антропогенною системою з експлуатацією її ресурсів (Самойленко, Діброва, 2019, 2023).

На тлі загальнометодологічного розподілу природничо-географічних моделей на теоретичні, напівемпіричні та емпіричні моделі, їхня систематизація здійснюється на основі різних принципів (рис.1).

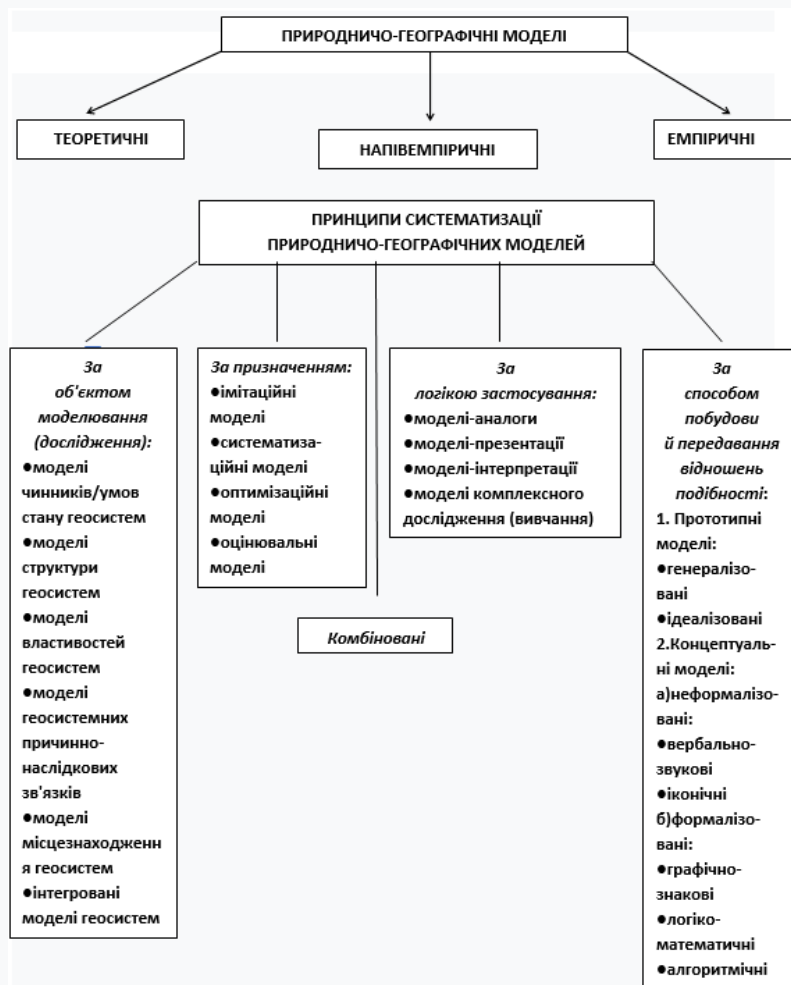


Рис.1. Систематизація природничо-географічних моделей

Найбільш доцільними постають принципи систематизації за об'єктом моделювання (дослідження), тобто стосовно власне природничої геосистеми, а також географічного процесу або явища, які визначають її стан, і певного поєднання цих складників модельного об'єкта; за низкою ознак, де насамперед домінує призначення; за логікою застосування моделей; за способом побудови моделей і способом передавання відношень подібності між оригінальним географічним

об'єктом дослідження і його моделлю-замінником; за певними можливими *комбінаціями* щойно перелічених принципів.

Досить уживаною є систематизація природничо-географічних моделей **за об'єктом моделювання (дослідження)**. На основі цього принципу систематизації виділяють *моделі чинників/умов стану природничих геосистем*, які відтворюють провідні ознаки та параметри плину або прояву цих чинників/умов; *моделі структури геосистем*, які відображають їхню будову й основні структурно-функціональні складники; *моделі властивостей (атрибутив) геосистем*, які зосереджують увагу на тих особливостях і провідних атрибутах систем, які потребують дослідження; *моделі внутрішніх і зовнішніх причинно-наслідкових зв'язків у природничих геосистемах* чи між ними та/або чинниками їхнього стану, які демонструють взаємозв'язки відповідних передумов і наслідків, які спричинюються цими передумовами; *моделі місцезнаходження геосистем*, які сприяють розумінню геопросторових закономірностей їхньої локалізації; *інтегровані моделі*, які є певними комбінаціями вищезазначених моделей, наприклад структури, властивостей та місцезнаходження об'єктів дослідження тощо.

За певним набором ознак, серед яких переважає **призначення**, природничо-географічні моделі можна диференціювати на *імітаційні* (відтворюють конкретний атрибут або характерну рису об'єкта моделювання чи набір таких атрибутів/рис), *систематизаційні* (за допомогою них створюються класифікації та інші систематизації об'єктів моделювання), *оптимізаційні* (як власне моделі оптимального або нормативного стану природничих геосистем або моделі шляхів і способів досягнення чи підтримання такого стану тощо) та *оцінювальні* з подальшим розподілом на розрахункові, прогнозні та розрахунково-прогнозні. Такий поділ може бути застосовано і для типізованих за іншими ознаками моделей.

За логікою застосування можна розрізнити *моделі-аналоги*, за допомогою яких динаміку оригінального географічного об'єкта дослідження модельно відтворюють у найбільш слушний для цього спосіб; *моделі-презентації*, які комбінаційно-послідовно сприяють створенню загального уявлення щодо географічного об'єкта-оригінала, що досліджується (вивчається); *моделі-інтерпретації*, які призначено для тлумачення й різнобічного пояснення загальної суті та/або окремих специфічних рис географічного об'єкта-оригінала; *моделі комплексного дослідження (вивчання)* обраного географічного об'єкта, процесу або явища чи їхнього певного поєднання.

Крім вищенаведених принципів, вельми доцільним є систематизація природничо-географічних моделей **за способом їхньої побудови й способом передавання відношень подібності** між оригінальним географічним об'єктом вивчання та його моделлю-замінником. З огляду на таке, *по-перше*, **за способом побудови** розрізняють *прототипні й концептуальні* моделі.

Прототипні моделі, в свою чергу, вже **за способом передавання відношень подібності** поділяють на *генералізовані*, що забезпечують компактне відображення інформації про об'єкт моделювання у вигляді, наприклад, матеріального його макета, та *ідеалізовані*, які є модифікацією оригінала, втіленої в елементах однорідного чи різнорідного субстрату. Останні побудовано за певними, теоретично обґрунтованими правилами таким чином, що зазначена модифікація має за прообраз лише певні властивості реального об'єкта. За приклад може правити фізична модель штучного дощування обраних ділянок природничих геосистем з фіксацією в процесі дощування певних параметрів цих геосистем тощо. Частково спорідненими з прототипними ідеалізованими моделями є т.зв. електричні моделі, за допомогою яких вивчаються процеси іншої фізичної природи (механічні, гідродинамічні, акустичні тощо). Сюди відносяться, наприклад, метод електродинамічних аналогій, який модельно відтворює динаміку підземних вод тощо.

Концептуальні моделі **за способом передавання відношень подібності** додатково диференціюються на *концептуальні неформалізовані* та *концептуально формалізовані* моделі. Серед концептуально неформалізованих виокремлюють *вербально-звукові* моделі (словесні описи географічних об'єктів дослідження з можливим додатковим тематичним звуковим супроводом або самостійні звукоряди, які характеризують зазначені об'єкти) та *іконічні* моделі (зарисовки, малюнки, листівки, картини, слайди, фото, зокрема у визначеному спектрі, та інші фрагментарно-відбиткові зображення об'єктів моделювання, а також відеоряди). Варто відзначити, що інколи концептуальні неформалізовані разом з прототипними генералізованими моделями об'єднують в одну **групу портретних моделей**.

Натомість концептуальні формалізовані моделі поділяються на *графічно-знакові* моделі (подаються за допомогою знакових утворень – графічної й семантично-знакової символіки), *логіко-математичні*, серед них *власне математичні* моделі (будуються за допомогою формул і математичних або логіко-математичних операцій зі змінними, відображають певні параметри

стану й динаміки географічних об'єктів, процесів і явищ тощо (Самойленко, 2002)) та *алгоритмічні* моделі (подаються у вигляді алгоритмічних схем різноманітного спрямування тощо та містять обґрунтований порядок виконання певних модельних операцій).

Також слід зазначити, що концептуальні формалізовані моделі принципово можна розділити на *слабко формалізовані* (відповідають слабко формалізованим методам математичного аналізу та моделювання – теоріям нечітких множин (лінгвістичної змінної), графів тощо) та *точно формалізовані* моделі. У свою чергу точно формалізовані моделі у природничій географії і стосовно геопараметрів у цілому можна диференціювати на *детерміновані (факторні або генетичні), суто ймовірнісні (суто стохастичні)* та *детерміновано-стохастичні (факторно-ймовірнісні)* моделі. Перші з них визначають практично єдині, детерміновані значення геопараметрів за їхніми чинниками, генезисом, теоретичною моделлю відповідного процесу тощо. Способи побудови таких моделей вважаються максимально наближеними до комплексу умов детермінованого експерименту (дослід). За допомогою других моделей отримуються величини, які аналізуються та оцінюються як суто випадкові складники випадкових геопараметрів або як випадкові геопараметри певної ймовірності без вирізнення їхніх детермінованих складників чи абстрагування від них. Треті ж моделі вважаються найбільш перспективним і обґрунтованим видом моделей для геопараметрів за повною їхньою структурою як випадкових величин. Побудова таких моделей у цілому ґрунтується на різних комбінаціях засобів факторних (генетичних) і суто ймовірнісних моделей.

За умов інтегрування певних викладених вище принципів систематизації та/або рис моделей, досить часто оперують *комбінованими* природничо-географічними моделями. За найбільш характерні приклади таких моделей можуть правити: глобус як генералізовано-картографічна модель, що є комбінацією прототипної генералізованої моделі та різновиду графічно-знакових моделей; тематичний відеофільм про виверження вулкана як комбінація вербально-звукових і іконічних моделей; модель-презентація кругообігу води в природі як інтегрована за об'єктом дослідження модель, яка реалізована через слайд-шоу мультимедійного проєктора й містить практично всі різновиди концептуальних моделей.

Практично всі природничо-географічні моделі може бути реалізовано в різних *режимах застосування* (статичному, кінематично-анімаційному, динамічному, поєднаному з певними етапами процесу, інтерактивному або неінтерактивному, комбінованому, зокрема кінетично-анімаційному та інтерактивному тощо) та *формах створення/відображення* (нецифрова (неелектронна), цифрова (електронна), плоска (двовимірна), тривимірна, зокрема стереогографічна, комбінована).

Варто зосередитись детальніше на графічно-знакових моделях як різновиду концептуальних формалізованих природничо-географічних моделей. Серед них можна вирізнити моделі *аналітично-ілюстративні, картографічно-геоінформаційні, структурно-логічні та комбіновані* (рис.2).

Практично всі складники чотирьох груп графічно-знакових моделей, як і природничо-географічні моделі загалом, може бути реалізовано у певних режимах застосування й формах створення/відтворення. Ці групи моделей, у свою чергу, поділяються на їхні відповідні типи, види й підвиди.

Зокрема, до **групи аналітично-ілюстративних моделей** належать такі типи моделей, як *зображувальні* (з різновидами - схематичними малюнками, простими схемами тощо), *графіко-діаграмні* (з різновидами – графіками, діаграмами, некартографічними перетинно-секційними моделями, зокрема поперечними профілями, вертикальними розрізами й блок-діаграмами та комбінованими графіко-діаграмними моделями), *табличні* (з різновидами – числовими, текстовими моделями та текстово-числовими таблицями), *комбіновані аналітично-ілюстративні* (можуть бути варіаційним поєднанням трьох попередніх зазначених типів на рівні їхніх видів, наприклад певних видів табличних моделей з певними видами графіко-діаграмних або зображувальних тощо).

До **групи структурно-логічних моделей** належать такі типи моделей, як *структурно-інформаційні схематичні* моделі (з графами як найбільш характерним їхнім видом), *структурно-логічні графічно-зображувальні* моделі (з досить показовим видом – фреймами), *комбіновані структурно-логічні* моделі (можуть бути поєднанням певних видів структурно-інформаційних схематичних і структурно-логічних графічно-зображувальних типів моделей, наприклад, фреймів із графами тощо). При цьому, граф як структурно-інформаційна схематична графічно-знакова модель може бути представлено у вигляді двох структур: ієрархічної (деревоподібної) або

мережевої (наприклад граф екологічної мережі). У свою чергу, фрейм слід тлумачити як структурно-логічну графічно-зображувальну модель, яка за формою є графічно-знаковим образним зображенням обраних змістово-цілісних фрагментів географічної інформації та/або її різновидів (наприклад, фрейм "Будова платформи").

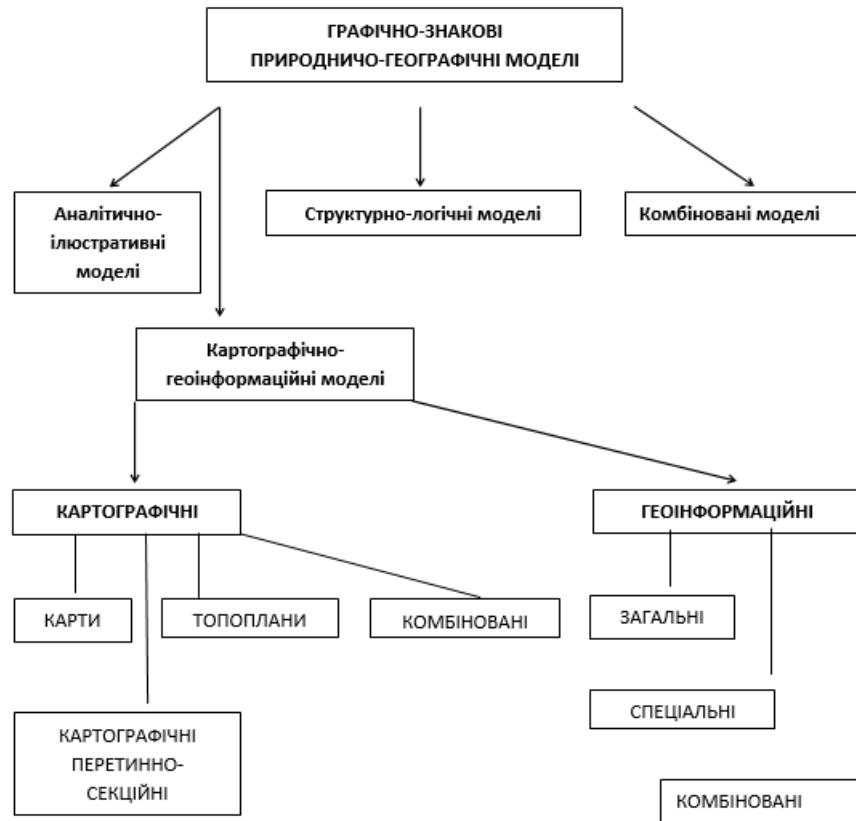


Рис.2. Систематизація графічно-знакових природничо-географічних моделей

До **картографічно-геоінформаційних моделей**, як найбільш застосовної для природничо-географічного моделювання групи графічно-знакових моделей, належать такі типи моделей, як *картографічні* (містять такі різновиди – географічні карти, картограми, топоплани, картографічні перетинно-секційні моделі – поперечні профілі, вертикальні розрізи й блок-діаграми та комбіновані моделі), а також *геоінформаційні* моделі як комплекс різноманітних растрових і/або векторних багатопланних моделей, що створюються за допомогою комп'ютеризованих просторово-аналітичних програмно-спеціалізованих засобів, передусім ГІС-інструментарію.

Квінтесенцією **картографічних моделей** є такий їхній вид, як *географічні карти*, які посідають провідне і домінуюче місце у природничій географії. Ці карти можна систематизувати за багатьма їхніми принциповими ознаками, наприклад за змістом, зокрема як загальногеографічні й тематичні, за аудиторним призначенням, за масштабом тощо. На відміну від карт, *топоплани (топографічні плани)* є вельми великомасштабними моделями, зазвичай більшими за 1:10 000. Вони використовують лише власні прямокутні координати й не базуються на певній картографічній проекції чи визначеній системі координат. Ці моделі відзначаються також нескладною легендою та й загалом неускладненою компоновкою. *Картографічні перетинно-секційні* моделі є наступним видом моделей, які безпосередньо поєднано з географічними та/або прямокутними координатами визначених географічних карт чи топопланів, зважаючи на особливості математичної основи цих карт і планів, зокрема наявність певних викривлень на картах тощо. Вони об'єднують такі підвиди моделей, як картографічні поперечні профілі, картографічні вертикальні розрізи й картографічні блок-діаграми. Найбільш характерними прикладами *комбінованих* картографічних моделей, як ще одного виду, згідно з назвою цього виду є доповнення основних карт тематичними чи допоміжними "картами-врізаннями", зокрема у вигляді картограм, комбінація карт чи топопланів з картографічними перетинно-секційними моделями тощо.

Геоінформаційні моделі можна розділити на такі їхні види, як *загальні, спеціальні* (з такими підвидами, як моделі рендерингу, "драпування", кінематично-анімаційної або динамічної інтерактивної візуалізації тривимірних зображень, маршрутно-оптимізаційні, дослідницькі, тренінгові, мультимедійних засобів накопичення просторових даних й інші спеціальні) та *комбіновані*.

За загальні геоінформаційні моделі правлять одиничні або поєднані й подані в цифровому вигляді картографічні моделі всіх видів і комбіновані графічно-знакові географічні моделі певних видів (картосхеми, картодіаграми тощо), створені для всіх типів просторових об'єктів чи їхніх сполучень.

Першим з підвидів спеціальних геоінформаційних моделей є моделі рендерингу – комплексної побудови тривимірних зображень. Серед них у сфері природничої географії домінує такий різновид, як візуальні цифрові моделі рельєфу (ЦМР, англ. Digital Elevation Model, DEM). Цифрова модель рельєфу – цифрове відображення топографічної поверхні, яке здійснюється, насамперед, за допомогою растрової моделі рельєфу у вигляді набору висотних відміток поверхні в точках регулярної мережі за DEM як стандартом Геологічної служби США та векторної моделі TIN – нерегулярної триангуляційної мережі (англ. triangulated irregular network), яка початково використовує зазначений набір у точках нерегулярної мережі.

За наступний, поєднаний з попереднім, підвид спеціальних геоінформаційних моделей правлять т.зв. моделі "драпування" – накладання (проекування) на тривимірне зображення, зазвичай ЦМР, плоских цифрових шарів. Ними можуть бути векторні й растрові тематичні географічні карти тощо, а у результаті такого накладання отримується оптимальне за унаочненням тривимірне подавання таких карт.

Моделі кінематично-анімаційної або динамічної інтерактивної візуалізації тривимірних зображень як підвид спеціальних геоінформаційних моделей зазвичай теж будуються на основі ЦМР. Утім вони імітують пересування "глядачів" (дослідників) певною географічною місцевістю, що вивчається, з можливістю зупинок у потрібних місцях такої віртуальної подорожі. Остання досить часто імітується з висоти пташиного польоту або борту літального апарата у т.зв. інтерактивних "моделях обльоту", зокрема і з відтворенням погодних умов тощо для посилення ефекту присутності.

Наступний підвид моделей, які розглядаються, кваліфікується як маршрутно-оптимізаційні моделі. Вони загалом вирішують т.зв. геоінформаційну задачу з маршрутизації. Ці моделі можуть бути досить корисними у прикладній природничій географії. Вони потрібні, зокрема, під час визначення оптимального за дослідницькими цілями і іншими чинниками маршруту й регламенту пересування реальними географічними об'єктами вивчення, зокрема автотранспортом, туристськими або екологічними стежками тощо, як і власне для вибору таких маршрутів і стежок. Вельми доцільним в процесі роботи з маршрутно-оптимізаційними геоінформаційними моделями безпосередньо на місцевості буде й одночасне застосування мобільних комп'ютерних і позиційно-навігаційних засобів дослідження. Це, до того ж, може сприяти безпосередньому використанню *in situ* наявної й накопиченню нової цифрової географічної і супутньої до неї дослідницької інформації.

Застосування сучасних дослідницьких геоінформаційних моделей забезпечує відстеження, вивчення й дослідження вельми специфічних рис плину процесів і явищ, які визначають стан природничо-географічних систем або безпосередніх чинників погіршення цього стану тощо.

За характерний приклад тренінгових моделей, як підвиду спеціальних геоінформаційних, править растрова модель даних MAP. Її успішно використовують у всьому світі як засіб навчання у геоінформатиці. Водночас ця модель є вельми застосовною для комп'ютеризованої побудови (організації) геопросторових баз даних. Серед таких спеціальних геоінформаційних навчальних моделей, як моделі мультимедійних засобів накопичення просторових даних, домінують географічні електронні карти. Вони правлять за складники відповідних електронних атласів, бібліотек і баз даних тощо. Електронна карта є цифровою картою і/або набором тематичних цифрових шарів даних і програмні засоби їхньої візуалізації з розміщенням такої карти (шарів) і засобів на певному носії-накопичувачу інформації, зокрема й накопичувачах інформаційних мереж. Електронний атлас же ідентифікується як мультимедійний інтегрований інформаційний засіб, який розміщено на носії-накопичувачу інформації, зокрема й інформаційно-мережному. Він містить систематизовану збірку електронних карт, створених за єдиною програмою й обраною тематичною спрямованістю, а також цифрову інформацію інших типів і необхідні засоби візуалізації атласу.

До інших спеціальних геоінформаційних моделей можна віднести не розглянуті вище моделі, зокрема моделі накладання цифрових шарів, моделі інформаційно-мережного перегляду геопросторових даних (забезпечуються ресурсами Інтернету, зокрема таким її картографічно-геоінформаційним сервісом з тривимірної візуалізації земної поверхні, як проект "Google Earth"), інші геоінформаційні моделі.

Комбіновані геоінформаційні моделі, як третій вид, поєднують корисні властивості загальних і спеціальних геоінформаційних моделей. Найбільш цікавими прикладами такого поєднання є, зокрема, модельне комбінування загальних цифрових карт точок і ізоліній та спеціальних візуальних ЦМР у вигляді цифрової блок-діаграми із заданим кутом огляду, а також загальної цифрової карти топографічної поверхні, поданої в горизонталях, з візуальною ЦМР.

До **комбінованих графічно-знакових моделей** саме як четвертої групи останніх належать різноманітні "міжгрупові" поєднання відповідних видів трьох вже розглянутих груп. Зокрема, за такі моделі правлять картосхеми, картодіаграми, картографічні ескізи, а також інші доцільні комбінації моделей, наприклад, графів з картами, карт з графіками чи діаграмами, карт з таблицями тощо.

Окремо слід зауважити, що, *по-перше*, **моделі** загалом, а точніше адекватні **методи моделювання**, можна принципово розділити на *симплексні* або *сингулярні* та *комплексні*.

Серед найбільш застосованих **симплексних методів** природничо-географічного моделювання вирізняють наступні:

1) група методів кореляційного та регресійного аналізів, а також спектрального аналізу;
2) метод групового урахування аргументів (МГУА), який розроблено на основі подальшого розвитку методів регресійного аналізу. Метод реалізує задачі синтезу оптимальних моделей високої складності, яка є адекватною складності досліджуваного природничо-географічного об'єкта або процесу;

3) група методів прогнозної екстраполяції реалізації (реалізацій) випадкового процесу певного геопараметра. Зміст застосування кожного з цих методів зводиться до моделювання розвитку такого процесу у майбутньому за його значеннями у минулому, базуючись на гіпотезі про стійкість рис процесу на період прогнозу. Завдяки такій гіпотезі модель, найбільш вдала для апроксимації вже наявних значень реалізації випадкового процесу або значень, усереднених для заданих перетинів у випадку оперування декількома реалізаціями, буде найкращою і для прогнозу. За таких умов вихідні для екстраполяції значення реалізації досліджуваного процесу може бути перетворено шляхом згладжування (вирівнювання) часового ряду різними способами. Серед методів прогнозної екстраполяції, які власне і призначено для підбору та оцінки параметрів апроксимувальної і, одночасно, прогнозної залежності (тренду), найбільш розповсюдженими є, по-перше, метод найменших квадратів і його модифікація, по-друге, метод експоненційного згладжування, по-третє, метод ймовірнісного моделювання (прогнозного моделювання ймовірностей), по-четверте, метод адаптивного згладжування;

4) група методів факторного аналізу різних модифікацій, а також змістово сполучна з нею група методів, заснована на теорії розпізнавання образів, зокрема методи кластерного аналізу. Факторний аналіз спрямовано на дослідження зв'язків між змінними об'єкта чи процесу моделювання та вибір оптимальної і репрезентативної кількості таких змінних. Натомість кластерний аналіз орієнтовано на класифікацію і виявлення однорідних змінних в їхніх підмножинах (кластерах). У географічних і поєднаних з ними дисциплінах досить часто факторний і кластерний аналізи об'єднуються в одну принципову групу методів багатомірного статистичного аналізу;

5) інструментарій матричного методу моделювання та аналізу призначено для ідентифікації факторів досліджуваного природничо-географічного процесу або явища, вирізнення однорідних комплексів факторів за характером їхнього впливу на процес, формування матриць впливу комплексів факторів один на одного та на процес досліджень і певні операції з такими матрицями з метою власне моделювання заданих показників процесу;

6) метод графів, які вже розглядалися як структурно-інформаційні схематичні графічно-знакові моделі.

Перелічені симплексні методи 1-4 базуються зазвичай на точно формалізованих моделях, як і метод імітаційного моделювання. Методи 5-6 ґрунтуються на слабко формалізованих моделях. До останніх методів також належать вже згадані й досить перспективні для природничої географії методи моделювання, які засновано на теорії нечітких множин. Їхнє застосування для природничо-географічних систем наразі знаходиться в стадії розвитку.

По-друге, можна вирізнити декілька послідовних етапів розробки визначеної **комплексної природничо-географічної моделі**, враховуючи можливість часткової перестановки цих етапів і із забезпеченням кожного з них вже розглянутими адекватними симплексними моделями. Такими етапами є: словесний (вербальний) опис моделі; графічне або картографічно-геоінформаційне подання моделі; опис моделі за допомогою блок-схем або матриць рішень без послідовності останніх; математичний опис, який виконується у вигляді формул і математичних операцій над змінними; алгоритмічний опис моделі, який вже зазвичай враховує послідовність рішень і подається у вигляді алгоритмічних схем. Алгоритмічний опис моделі або процесу моделювання найчастіше застосовується для упорядкування логіки математичного опису, подання моделі об'єкта, яка не має аналітичного опису, та у випадку, коли аналітичний опис моделі є вельми складним, для підготовки опису моделі з метою програмування. Програмний опис моделі призначено для безпосереднього застосування комп'ютеризованих технологій із заданою алгоритмічною мовою тощо.

Слід зазначити також, що згідно з міжнародним стандартом ISO 19109 і іншими відповідними документами наразі застосовними для роботи з географічно координованими (геопросторовими) даними передусім через інформаційні мережі є, по-перше, мова UML (абр. від англ. Unified Modeling Language – Універсальна Моделювальна Мова) – мова моделювання, яка використовується для розробки комп'ютеризованих моделей даних. По-друге, це мова GML (абр. від англ. Geography Markup Language – Географічна Мова Розмітки) – програмувальна мова розмітки, яка застосовує XML-кодування для передавання та зберігання геопросторових даних.

Також треба зважати на те, що природничо-географічне моделювання точно формалізованими методами можна в загальних рисах розділити на два принципові **напрями**:

1) моделювання загального змісту та принципової структури обмінно-потоків процесів у природничих геосистемах, а саме обміну енергією, речовиною тощо;

2) моделювання просторово-часової динаміки чинників і параметрів стану природничих геосистем різного рангу та типу або певних складників цих геосистем. Важливим постулатом при цьому є те, що за умов неможливості виявлення всіх чинників просторово-часових змін геопараметрів, тобто чинників т.зв. параметричних збурень природничих геосистем як динамічних систем, існують способи моделювання, які спираються лише на об'єктивно чинні закономірності, властиві безпосередньо цим параметричним збуренням.

Перший напрям моделювання забезпечується, зазвичай, функціональними (детермінованими) прийомами загальної та вищої математики, насамперед за допомогою використання диференціальних рівнянь тощо. Другий же напрям підтримується передусім імовірнісними методами математичного аналізу.

Також слід зазначити, що будь-яка природничо-географічна модель **повинна**:

- *по-перше*, задовольняти умовам повноти, адаптивності та еволюційності. Модель має забезпечувати можливість уведення в неї достатньо широкого діапазону змін і доповнень з метою послідовного наближення до моделі, що задовольняє її розробника за точністю відтворення об'єкта моделювання;

- *по-друге*, бути достатньо абстрактною, щоб сприяти варіюванню великою кількістю змінних, але не настільки абстрактною, щоб виникли сумніви у надійності і практичній користі отриманих за моделлю результатів. Ця вимога не стосується певних простих моделей;

- *по-третьє*, задовольняти умови, які обмежують час вирішення обраної для моделювання задачі;

- *по-четверте*, орієнтуватися на реалізацію за допомогою наявних технічно-технологічних, насамперед комп'ютеризовано-мережних засобів;

- *по-п'яте*, забезпечувати отримання корисної інформації про об'єкт моделювання в аспекті поставленої мети його дослідження;

- *по-шосте*, будуватися з використанням усталеної термінології та/або достатньо обґрунтованої нової термінології з розкриттям зв'язку останньої з усталеною;

- *по-сьоме*, передбачати можливість перевірки справедливості моделі та відповідності її оригіналу, зокрема згідно з обґрунтованими дослідником принципами моделювання.

Висновки. Розглянуто та охарактеризовано природничо-географічні моделі як засоби пізнання стану довкілля та його структурно-функціональної організації. На основі науково-обґрунтованих принципів запропоновано систематизацію природничо-географічних моделей, яка наразі є застосовною для розв'язання проблем оптимізації природокористування та підтримання його екологічної безпеки з усталеним розвитком довкілля.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- Самойленко, В., Діброва, І. (2023). Оцінка антропоізації ландшафтів. https://drive.google.com/file/d/1kexz3czg0V2KDBrfMBmg9TZBId2_hKkQ/view
- Самойленко, В., Вішнікіна, Л., Діброва, І. (2022). Природничо-географічне моделювання як аналітично-технологічний інструмент сучасної ландшафтної екології. <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-84-101>
- Самойленко, В., Білоус, Л., Гавриленко, О., Діброва, І. (2021). Геоінформаційна модель причинно-наслідкового аналізу антропогенного впливу в Подільсько-Придніпровському регіоні. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521006>
- Самойленко, В., Білоус, Л., Гавриленко, О., Діброва, І. (2021). Моніторинг антропогенного впливу в регіонах Лівобережного Дніпра та Східної України. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2013>
- Самойленко, В., Осадчий В., Вішнікіна, Л., Діброва, І. (2020). Форма розподілу площ систем сукупного землекористування як параметр антропогенного впливу на ландшафти. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-20>
- Самойленко, В., Діброва, І. (2019). Природничо-географічне моделювання. https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/sam_dibrova_pg_model_2019.pdf
- Самойленко, В., Діброва, І. (2019). Геоекологічна ситуація у землекористуванні. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.75.2.22253>
- Самойленко, В., Осадчий В., Вішнікіна, Л., Діброва, І. (2018). Методика моделювання ступеня антропоізації ландшафту: впровадження для фізико-географічних таксонів України. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.20646>
- Самойленко, В., Діброва, І. (2012). Модельна ідентифікація берегових геосистем.
- Самойленко, В. (2003). Математичне моделювання в геоекології. https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/samojlenko_mat_mod.pdf
- Самойленко, В. (2002). Ймовірнісні математичні методи в геоекології.

REFERENCES

- Samoilenko, V., Dibrova, I. (2023). Assessment of landscape anthropization. https://drive.google.com/file/d/1kexz3czg0V2KDBrfMBmg9TZBId2_hKkQ/view
- Samoilenko, V., Vishnikina, L., Dibrova, I. (2022). Natural-geographic modeling as an analytical-technological tool of modern landscape ecology. [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31652/2786-5665-2022-2-84-101>
- Samoilenko, V., Bilous, L., Havrylenko, O., Dibrova, I. (2021). Geoinformation model cause-effect analysis of anthropogenic impact in the Podilsko-Prydniprovskiy region. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.20215521006>
- Samoilenko, V., Bilous, L., Havrylenko, O., Dibrova, I. (2021). Monitoring of anthropogenic impact in the Left Bank Dnipro and the Eastern Ukrainian regions. <http://dx.doi.org/10.3997/2214-4609.20215K2013>
- Samoilenko, V., Osadchyi, V., Vishnikina, L., Dibrova, I. (2020). Shape of cumulative land use systems' area distribution as a parameter of anthropogenic impact on landscapes. <https://doi.org/10.26565/2410-7360-2020-53-20>
- Samoilenko, V., Dibrova, I. (2019). Natural-geographic modeling. [in Ukrainian] https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/sam_dibrova_pg_model_2019.pdf
- Samoilenko, V., Dibrova, I. (2019). Geoecological Situation in Land Use. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.75.2.22253>
- Samoilenko, V., Osadchyi, V., Vishnikina, L., Dibrova, I. (2018). Procedure of Landscape Anthropization Extent Modeling: Implementation for Ukrainian Physic-Geographic Taxons. <http://dx.doi.org/10.5755/j01.erem.74.2.20646>
- Samoilenko, V., Dibrova, I. (2012). Model identification of coastal geosystems. [in Ukrainian]
- Samoilenko, V. (2003). Mathematical modeling in geoecology. [in Ukrainian] https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/06/samojlenko_mat_mod.pdf
- Samoilenko, V. (2002). Probabilistic mathematical methods in geoecology. [in Ukrainian]

Отримано редакцією журналу / Received: 09.03.25

Прорецензовано / Revised: 11.04.25

Схвалено до друку / Accepted: 14.04.25