

ІСТОРІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЕКОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ І ПРОЦЕСІВ

У зв'язку із складністю безпосереднього вивчення деяких екологічних систем і процесів, обмеженістю можливостей натурних спостережень важливу роль у екологічних дослідженнях відіграє моделювання — загальнонауковий метод пізнання, що дозволяє вивчати об'єкт за допомогою посередника — моделі. Це уявна чи матеріалізована система, яка відображає реальну екосистему чи процес так, що її дослідження дає нам про нього нову інформацію. Якщо модель досить точно імітує існуючу дійсність, зберігаючи принципову структуру реального явища, то виникають необмежені можливості для експериментування: вводячи необхідні дані в модель, ми можемо передбачати результати тих чи інших впливів людини на екологічний процес, отримувати потрібні характеристики при зміні параметрів моделі, і, що важливо, — на основі прогнозів стану довкілля — розробляти заходи із запобігання негативним наслідкам антропогенного впливу.

Тому доречно з'ясувати особливості розвитку різних видів моделювання в екології та проаналізувати ефективність їх застосування на різних етапах формування науки, що й зумовило мету даної роботи.

Деякі спроби розкрити становлення математичного моделювання ми знаходимо у дослідженнях М.П. Федорова, М.В. Романова (1998), В.І. Лаврик, висвітлюючи у своїх роботах засади математичного моделювання, згадує імена відомих природодослідників, зазначаючи роки їх відкриттів у даній галузі. Деякі відомості про внесок античних філософів та вчених епохи Відродження є в працях В.В. Богобояшого та співавторів (2004). Цікава історична інформація щодо створення штучних систем в екології висвітлена у посібнику С.С. Руденко, С.С. Костишина, І.О. Ситнікової (2006). Проте детального огляду історії моделювання стану довкілля із періодизацією розвитку даної науки на сьогодні немає.

Результати дослідження показали, що розвиток моделювання екологічних систем і процесів чітко корелюється з формуванням самої науки екології.

Узагальнюючи опрацьовану інформацію, можна виділити три основні етапи становлення моделювання в екологічних дослідженнях:

1) **донауковий**, коли зароджувались логічні основи моделювання та накопичувались знання екологічного змісту, але самої науки екології ще не існувало;

2) **класичний**, який характеризується становленням екології як науки, зародженням математичної екології, застосуванням математичного моделювання переважно в біоекологічних дослідженнях (кінець XIX – середина XX ст.);

3) **сучасний**, під час якого відбулось формування широкого спектру видів моделювання та активний розвиток прикладної екології, активне використання методів моделювання в енвайронментологічних дослідженнях (друга половина XX ст. – наш час).

Найдавнішим можна вважати картографічне моделювання – зображення на скелях, стінах печер, бивнях мамонтів тощо. Картографічні рисунки з'явилися ще задовго до писемності і супроводжують людство з початку його зародження. На даний момент найдавнішою з відомих карт вважають глиняну табличку із зображенням рельєфу і поселень, накреслену декілька тисячоліть тому в Месопотамії. В Україні (в Черкаській області) було знайдено бивень мамонта з нанесеним на ній картографічним малюнком: річка, дерева, будови тощо. Звісно такі знахідки надто віддалено нагадують екологічні моделі, проте й з них ми дізнаємось про ставлення первісних людей до навколишнього світу живої та неживої природи, характер взаємодії людини й довкілля.

Що стосується наукового моделювання, то воно у своїй початковій формі з'явилося уже в античній науці, а потім відродилось у XV-XVI ст. і отримало подальший розвиток у різних галузях знань. Щоправда науки екології в той час ще не існувало, проте інформація екологічного змісту потроху накопичувалась. Так, в працях древньогрецьких філософів-

природознавців Гішпократа, Аристотеля, Теофраста Ерезійського, Плінія Молодшого містяться екологічні відомості про спосіб життя, залежність від навколишнього середовища, характер розподілу тварин і рослин, їх пристосувальні особливості тощо.

Слід зазначити, що вже древньогрецькі вчені застосовували у своїх дослідженнях деякі принципи і прийоми моделювання. Так, принцип аналогії, який лежить в основі методу моделювання екологічних систем та процесів, був вперше запропонований Аристотелем. Вчений розглядав аналогію як функціональну і морфологічну подібність органів у різних організмів. Пізніше Евклід визначив аналогію як подібність відносин [2] (слід зауважити, що Евклідову метрику простору використовують в сучасних екологічних дослідженнях для групування екологічних об'єктів за комплексом показників – таксономічний аналіз).

Аналогія дозволяла робити умовиводи там, де логіка виявилася неспроможною через брак достовірних знань, і ставала підґрунтям для наукових відкриттів. Так, Демокрит і Левкіп намагалися зрозуміти структуру макрокосму, тобто Всесвіту, проводячи аналогію між ним і мікркосмом (зокрема, спостерігаючи рух порошин у повітрі) [2].

Однак труднощі, пов'язані з переносом отриманої інформації з допомогою моделі на об'єкт пізнання, довгий час не дозволяли широко застосовувати цей метод у наукових дослідженнях.

Широке поширення метод аналогії одержав у епоху Відродження. Так, Галілео Галілей і Леонардо да Вінчі у своїх теоретичних роботах не тільки користувалися моделями, але й з'ясували межі їх застосування [2].

У цей час особливо активізувався розвиток картографічного моделювання. Великі географічні відкриття супроводжувалися створенням карт, на яких зображались берегова лінія, рельєф місцевості, ліси, гідрологічна мережа, поселення тощо – цінний матеріал для порівняння ступеня антропогенної трансформації природних систем у різні історичні періоди, вивчення динаміки екосистем і оцінки масштабів впливу людини на довкілля.

Вагомий внесок у теорію моделей, а саме в розробку логічних основ моделювання і теоретичного обґрунтування застосовності моделей уніс І. Ньютон (1643-1727), який почав користуватися цим методом для потреб науки і техніки уже цілком свідомо [2].

В цей час ми знаходимо зародки математичного моделювання екологічних процесів у праці відомого англійського вченого Томаса Мальтуса „Про народонаселення” (1802р.), в якій він представив математичну модель експоненціального типу росту популяцій. Логістичне рівняння вперше було запропоноване Ферхюльстом в 1838 р. Проте ці розробки випереджали свій час. Так, праці Ферхюльста були забуті і його модель аж через сто років перевідкрили Перл та Рід [6].

Розширюється спектр підходів до аналогового моделювання. Так, англійський природодослідник Ч. Лайель (1871) розробив метод актуалізму, який полягає в перенесенні результатів спостереження над сьогодишніми об'єктами на аналогічні або тотожні об'єкти в минулому. Вчений також розробив критерії, за якими об'єкт може бути визнаний моделлю.

Отже, перший тривалий період в історії розвитку екології (його часто називають описовим) полягав у накопиченні інформації про багатство тваринного та рослинного світу на нашій планеті, відкритті нових континентів, кругосвітніх подорожах. Він характеризується також формуванням загальних логічних основ моделювання, в тому числі деяких принципів та прийомів аналогового, картографічного, математичного моделювання. Цей етап ми назвали донауковим у розвитку моделювання стану довкілля і його відтік ведеться від зорі людуства – аж до середини XIX ст.

У 1866 р. Е. Геккель вперше вживає термін „екологія” у праці „Загальна морфологія організмів”. У цей час формується нова галузь екології – біоценологія (К. Мебіус, 1877 р.), у 30-х рр. XX ст. сформувалась популяційна екологія, основоположником якої є англійський вчений Ч. Елтон. У 1935 р. А. Тенслі висунув поняття екосистеми, а у 1942 р. В. Сукачов обґрунтував уявлення про біогеоценоз. Розвиток екосистемного аналізу привів до появи

вчення про біосферу, автором якого став український академік В. Вернадський. Вчення про ноосферу В.І. Вернадського (1944р.) додатково узагальнило численні дані про нерозривність зв'язку людини з природним середовищем [8].

На початку ХХ ст. екологія сформувалась як самостійна наука та набула наукового визнання. У 20-х роках ХХ ст. в Європі та Америці були організовані екологічні товариства, засновані журнали, екологію почали викладати в університетах.

Тоді ж (на початку ХХ ст.) виникла математична екологія, чому сприяли праці видатного італійського математика Віто Вольтерра і його сучасників А. Лотки и В.А. Костицина, які розробили математичні моделі росту окремих популяцій і динаміки взаємодіючих популяцій, взаємопов'язаних відносинами конкуренції та хижацтва. Побудована В. Вольтерра модель біоценозу, в якій особини однієї популяції були їжею для особин другої, пояснила періодичні коливання чисельності, які жодним чином не були пов'язані з періодичними коливаннями абіотичних факторів (в першу чергу кліматичних) [11].

Цінність вольтеррівських екологічних моделей полягає в тому, що вони стали основою, на якій швидкими темпами почала розвиватись математична екологія. Наприклад, математична модель, що дозволяла враховувати реальну поведінку популяції і разом з тим проводити її якісний аналіз, була запропонована А.Н. Колмогоровим (1936 р.); принцип конкурентного виключення (сформульований Г.Ф. Гаузе) підтверджувався моделлю А.А. Вітта; дослідженням біологічної рівноваги під час епідемії займався Е. Мартіні, який вивів рівняння, що описують хід хвороб при імунізації, тощо.

У 30-х роках ХХ ст. була сформульована теорія графів, що дозволила моделювати графи мережі харчування та конкуренції, виділяючи слабкі ланки у біоценозі екосистеми, а також оцінювати стійкість екосистем.

Отже, кінець ХІХ ст. – перша половина ХХ ст. відзначається становленням теоретичних засад екології як науки та формуванням нової галузі знань – математичної екології, що займається створенням та дослідженням математичних моделей екологічних систем і процесів. Слід зазначити, що більшість моделей в цей час розроблялись для досліджень в популяційній екології.

У результаті науково-технічного прогресу у середині ХХ ст. метод моделювання набирає важливого ґносеологічного значення. Антропогенний вплив на довкілля зростає, актуальність дослідження масштабів впливу діяльності людини на навколишнє середовище та прогнозування його наслідків, призводить до потреби формування прикладних напрямів екології: техноекологія, соціоекотологія (60 рр.), геоекотологія (Троль, 1970), що й ознаменувало початок нового етапу в розвитку екології, яка уже розглядається як комплексна, інтегральна наука.

У цей час моделювання проникає в усі галузі екології, де вивчення визначених об'єктів дуже утруднене без побудови й оперування моделями. Значно розширюється спектр видів моделювання.

У 60-х рр. праці Ю. Одума та його учнів Ч. Хоскінса та Р. Бейерса поклали початок використанню в екології так званих „мікроекосистем” чи „мікрокосмів” – моделей, створених у спеціальних скляних місткостях, що максимально точно відтворюють структуру та умови функціонування реальної екосистеми [10].

Пізніше екологи (наприклад, С. Ніксон та Ф. Тауб, 1980 р. та інші) почали експериментувати з більш складними культурами в пошуках шляхів побудови автономних екосистем – мезокосмів. Тоді ж Ван Воріс (1980 р.) вперше запропонував використовувати пляшкову систему для моделювання процесів у екосистемах, щоб частково утилізувати головний забруднюючий матеріал міських та сільських ландшафтів [10].

У 1969-71 рр. Ван-Дайном (1969) і Патенном (1971) були описані основні принципи створення та застосування блокових моделей в екології. Тепер жоден підручник з

екологічної проблематики не обходиться без ілюстрування інформації за допомогою таких моделей. Особливо відомими блоковими моделями є прикладні промислові моделі, що будуються для вироблення стратегії мисливських, рибальських та інших промислів з метою оптимізації стратегії користування природними ресурсами (модель Пікчера і Харта (1982 р.) для морського рибальського промислу та інші) [2].

У середині 60-х років у Канаді та США були створені перші геоінформаційні системи (ГІС) – комп'ютерні моделі. Термін ГІС вперше з'явився у дискусійній статті вчених Північно-Західного Університету США (1965 р.). Тепер темпи росту кількості реально діючих геоінформаційних систем вражаючі. Так, до початку 80-х років було створено близько 90 повномасштабних географічних інформаційних систем, а вже у середині 80-х років їхня кількість перевищувала 500; зараз їх вже кілька сотень тисяч [3].

Хоча картографічне моделювання одне з найдавніших видів моделювання, терміни „екологічна карта”, „екологічне картографування” вперше були застосовані у 1970-і роки французькими вченими і стосувалися карт стану рослинності і антропогенних впливів на неї. Тобто за змістом це були біоекологічні карти.

Одні з найперших праць з картографування оцінки стану і якості природного середовища України з'явилися ще у 60-х рр. ХХ ст. Це розробки співробітників Відділення географії ГІФ АН УРСР А.П. Золовського, М.А. Корольової, І.П. Підоплічка, Л.Г. Руденка, Г.О. Пархоменко [4], основна увага в яких зосереджувалась на оцінці впливу суспільства на природу, а також прогнозі її змін. Крім цього, автори запропонували зміст карт комплексної медико-географічної оцінки природного середовища, впливу господарського використання території на її „медико-географічну” ситуацію [9].

Запровадження системи екологічного моніторингу (1974 р.) висунуло нові завдання перед математикою (особливо у сфері моделювання та статистики), – селекція інформації, її зберігання, оптимізація мережі спостережень і моделювання екологічних процесів з метою їх прогнозування.

Поява потужних електронно-обчислювальних машин та розділів кібернетики, що стосуються системного аналізу, створили надійні передумови принципово нового вирішення проблеми наукових прогнозів майбутнього. Так, у 1968 році за ініціативою Ауреліо Печчеї був заснований Римський клуб, як незалежна експертна група для оцінки довгострокових наслідків існуючих проблем та перспектив розвитку людства.

Вперше членами Римського клубу була запропонована методологія оцінювання можливостей природи не з точки зору потреб розвитку суспільства, а з позиції врахування можливостей природи витримати антропогенний тиск. Члени Римського клубу наголосили на існуванні реальних екологічних меж в науково-технічному розвитку людства.

Перша доповідь Римського клубу була представлена професорами з США Д. Медоузом і Дж. Форрестером "Межі зростання" (1972 р.) у вигляді математичної моделі розвитку світової ситуації на засадах врахування таких взаємозалежних змін, як капіталовкладення, використання ресурсів, забруднення середовища, виробництво продуктів харчування та інших. За висновком авторів доповіді, за умови збереження існуючих тенденцій науково-технічного прогресу, неконтрольованих демографічних процесів, забруднення середовища на людство в першій половині ХХІ ст. чекає глобальна катастрофа [12]. Доповідь і особливо її висновки викликали величезний суспільно-політичний резонанс в усьому світі.

Згодом члени Римського клубу представили ґрунтовні та яскраві доповіді, які підсумували дослідження в галузі глобальних проблем людства і пропонували шляхи виходу з кризового становища, в якому воно опинилося. Це доповідь М. Месаровича (США) та Е. Пестеля (Німеччина) "Людство на поворотному рубежі", Е. Ласло (США) "Цілі людства" та інші.

Доповідь "Межі зростання" фактично заклала основи сучасної концепції „сталого розвитку”. До речі, наприкінці 2004 р. Деніс Медоуз опублікував результати оновленого

дослідження "Межі зростання – 30 років потому", що базуються на останніх даних про тенденції розвитку людської цивілізації на планеті, удосконаленій моделі й новітній методології системної динаміки [12].

Прогнози все органічніше входять у системи планування, програмування, проектування, управління. Відповідно в закладах і установах сфери управління створюються підрозділи прогнозування і проектування.

Прикладами регіонального математичного моделювання є моделі, що описують взаємодію суспільства з природою на регіональному рівні, їх можна представити імітаційною моделлю (наприклад, модель Азовського моря, озера Онтаріо, еколого-економічна модель річки Дніпро та забруднення озера Байкал). Так, у 1972-1975 рр. в Інституті кібернетики АН України було проведено моделювання процесів забруднення озера Байкал на основі даних натурних спостережень за новим принципом — алгоритмами самоорганізації, що базуються на методі групового врахування аргументів (МГВА) [5]. Подальші спостереження за озером Байкал до 1990 р. підтвердили справедливність зроблених висновків на основі дослідження моделі.

В останні десятиліття розвиток усіх видів моделювання набирає якісно нового характеру у формі все масштабніших і досконаліших проектів.

Так, у 1991 р. в американському штаті Аризона побудували унікальну систему „Біосфера-2” з метою дослідження мезоекосистем, в тому числі замкнутих систем життєзабезпечення людини, задля їх раціонального використання. У 1996 р. НАСА виявило цікавість до безвідходних мініатюрних аквасистем, розроблених вченими – „жителями” „Біосфери-2”.

Все активніше використовуються в екологічних дослідженнях комп’ютерні моделі. Так, в Україні у 1991 р. був створений перший „Електронний атлас України”. Згодом були розроблені окремі спеціалізовані програми, зорієнтовані на вирішення вузьких завдань для території міста, адміністративного району чи області.

Залишається актуальним у еколого-географічних дослідженнях картографічне моделювання. Одними із найновіших картографічних моделей є серія екологічних карт, запропонована В.А. Барановським (2001 р.), та блок карт „Екологічний стан природного середовища” у „Національному атласі України” за редакцією Л.Г. Руденка (2008 р.).

У кінці ХХ ст. моделювання екологічних систем і процесів уже розглядається як окрема екологічна дисципліна, яка займається вивченням особливостей структури, функціонування, стану та динаміки реальних екологічних систем, зв’язків і процесів всередині них, між ними та із зовнішнім середовищем за допомогою відповідних їм моделей. Основним завданням даної науки є розробка методів та принципів створення моделей екологічних систем і процесів, а також методів їх подальшого дослідження. Моделювання екологічних систем та процесів відносять до розділу загальної екології (поряд із теоретичною, експериментальною та математичною екологією) [1].

Отже, на сьогодні сформована методологічна база багатьох видів моделювання, що успішно використовуються в екологічних дослідженнях.

Цікавим у цьому контексті є також детальне вивчення історії становлення та застосування в екології кожного із вище згаданих видів моделювання.

Література

1. *Акимова Т.А., Хаскин В.В.* Екологія. Учебник для вузов. – М.: ЮНИТИ, 1998. – 455 с.
2. *Богобояцький В.В. та ін.* Принципи моделювання та прогнозування в екології: Підручник. – К.: Центр навчальної літератури, 2004. – 216 с.
3. *Вольська С.Ю. та ін.* Геоінформаційна технологія: етапи розвитку, стан в Україні // Український географічний журнал, 1993. - № 4. – С.6-14.
4. *Золовський А.П., Маркова Е.Е., Руденко Л.Г.* Разработка карт для изучения охраны природы и рационального природопользования в Украинской ССР. – К.: Наукова думка, 1976.
5. *Ковальчук П. І.* Моделювання і прогнозування стану навколишнього середовища – К.: Либідь, 2003 – 208 с.
6. *Лаврик В.І.* Методи математичного моделювання в екології. – К.: Фітосоціоцентр, 1998 – 132 с.

7. *Мариняк Я.О.* Основи моделювання стану довкілля. Навчальний посібник. Ч.1. – Тернопіль, 2000. – 132с.
8. *Потіш А.Ф. та інші.* Екологія: основи теорії і практикум. – Львів: „Новий Світ-2000”, 2004. – 296с.
9. *Руденко Л.Г., Бочковская А.И.* Становление и развитие эколого-географического картографирования // География и природные ресурсы - 1992. - № 3. – С. 13-21.
10. *Руденко С.С., Костишин С.С., Ситнікова І.О.* Штучні системи в екології: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. – Чернівці: Рута, 2006. – 200с.
11. *Федоров М.П., Романов М.В.* Математические основы экологии. – Санкт-Петербург, 1999. – 156с.
12. <http://www.greenparty.ua/about/green-ideologists/Ryms-club/>

Summary:

Lyubov Yankov's'ka. THE HISTORY OF THE CONSTRUCTING OF THE ECOLOGICAL SYSTEMS AND PROCESS.

The main periods of the development of the constructing in ecology are characterized. The using models such as mathematical, physical, analogical, cartographical, computer and others for ecological investigations is analyzed. The contribution of different scientists in practical constructing ecological models is grounded.

Надійшла 01.05.2009р.