

УДК 519.8

DOI: 10.30977/BUL.2219-5548.2019.85.0.132

## АНАЛІЗ МЕТОДІВ МОДЕЛЮВАННЯ В ЕКОЛОГІЇ З ПОЗИЦІЙ СИСТЕМОЛОГІЇ

Ковальова О. М.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

***Анотація.** Здійснено аналіз основних положень системології щодо підходів у дослідженні простих і складних систем. Розглянуті основні принципи системології та найбільш важливі функції пояснення та передбачення спостережуваних феноменів в досліджуваному класі систем, а також зв'язок між ускладненням поведінки об'єктів, що моделюються, і методами їх моделювання.*

***Ключові слова:** екосистеми, прості і складні системи, фізикалізм і системологія, складність системи, акт рішення, принципи системології, методи математичного моделювання.*

### Вступ

Під екологічним прогнозуванням розуміється передбачення можливої поведінки природних систем, яке визначається природними процесами і антропогенними впливами.

Для отримання прогнозу створюються моделі поведінки конкретних систем, про адекватність яких можна мати уявлення лише в межах прийнятих гіпотез. Зростання складності досліджуваного об'єкта призводить до зростання складності математичного апарата. Однак використовуваний сьогодні апарат моделювання не вирішує головну проблему збільшення невисокої (або незадовільної) передбачувальної здатності моделей досить складних систем. Екосистеми – це об'єкти складної природи, методологічною основою їх вивчення є теорія складних систем. Тому під час вирішення цього питання необхідно звернутися до аналізу основних принципів системології.

### Аналіз публікацій

Центральним поняттям системології є поняття «системи». У роботі Б. С. Флейшмана [1] під системою розуміється безліч елементів зі зв'язками між ними.

Не менш важливим є поняття складності системи. Рядом авторів було розглянуто це питання і запропоновано ознаки та властивості складних систем [2, 3]. Відомі підходи, де складність системи визначається кількістю елементів і зв'язків системи, кількістю станів системи, обсягом обчислень, необхідних для вивчення системи, кількістю двійкових розрядів, необхідних для описування системи тощо. Але ці підходи є вузькоспрямованими і не дозволяють повною мірою оцінити складність системи.

Система визначається структурою і поведінкою (функціонуванням). Структура – інваріантна в часі фіксація зв'язків між елементами системи, що формалізується математичним поняттям графа. Розрізняють неформальну структуру системи (як елементи системи тут фігурують «первинні» елементи аж до атомів) і формальну структуру (як неподільні елементи тут фігурують системи ієрархічного рівня, що знаходиться нижче). Така відносність поняття структури системи змушує Б. С. Флейшмана в роботі [1] відмовитися від нього під час визначення складності системи і використовувати для цього поняття поведінку системи.

Для визначення складності системи пропонується акт рішення як вибір альтернатив з ряду варіантів поведінки, в тому числі і за допомогою випадкового механізму. Вирішальною системою називається система, поведінці якої притаманний акт рішення. Системи, що містять як хоча б одна підсистема «вирішальну систему», називаються складними, зокрема, до них і належать вирішальні системи. Системи, які не здатні до акту рішення, називаються простими. Прагнення системи досягти бажаного для неї стану називається її цілеспрямованою поведінкою, а цей стан – її метою. Цілями володіють лише складні системи.

Важливий наслідок системного підходу до вивчення екологічних феноменів – розрізнення простих і складних властивостей екосистем.

Складні системи на відміну від простих мають велике число взаємопов'язаних якостей, серед яких слід розрізнити прості і цілісні властивості. У системології під цілісними (складними) параметрами розуміють такі ха-

рактеристики, що притаманні цілій системі, але не виводяться для останньої зі значення їх для елементів, тому що вони не є адитивними. Постановка лабораторних або натурних експериментів з метою вивчення цілісних властивостей складних систем часто неможлива. Тоді єдиний спосіб вивчення, прогнозування та управління поведінкою і структурою таких систем є моделювання. Вперше ці ідеї зустрічаються в роботі В. В. Налімова [4].

Складна система як об'єкт дослідження вимагає цілісного розгляду її частин і відмови від неможливого класичного експерименту над нею, а також розгляду категорії мети. Через специфіку досліджуваних об'єктів – складних систем – класичний експеримент над ними в цілому неможливий, зокрема для унікальних систем через їх масштабність. Експеримент над їх частинами через їх емергентність не може замінити неможливого експерименту над ними в цілому.

Тоді поряд з сучасним розподілом природних наук виникає паралельний поділ науки на дві частини за методами дослідження систем. Це теорія простих систем: фізика в широкому сенсі зі своєю методологією фізикалізма та теорія складних систем – кібернетика – в широкому сенсі зі своєю методологією системології [1].

Математичні описи зв'язків окремих вимірюваних характеристик простих систем були настільки їм адекватні, що могли розглядатися як вичерпні закони природи.

Складні системи не допускають таких простих і в той же час настільки адекватно вичерпних описів. Замість них для опису функціонування складних систем будуються складні математичні моделі, що враховують, як правило, не все багатство істотних зв'язків між елементами системи (імітаційне моделювання). Таких моделей може бути багато, і кожна окремо не є вичерпною. На сьогодні фізикалізм і системологія використовуються як дві різні методології дослідження простих і складних систем відповідно.

Фізикалізм ґрунтується на природних законах природи, які виявляються в результаті узагальнення численних експериментів над простими системами. Закон постулюється на основі цих експериментів, як правило, у вигляді простих математичних залежностей. Це не підходить для складних систем. Прості пояснення властивостей складних систем (закони), викладені в математичній формі, можуть бути отримані лише за гіпотезою про

доцільну поведінку складних систем. Складні системи, на відміну від простих, мають велике число істотно взаємопов'язаних якостей, тому сама категорія «закону» для системології відрізняється від категорії «закону» для теорії простих систем [5–9].

#### **Мета і постановка завдання**

Метою роботи є аналіз основних положень системології для застосування моделювання в екосистемних дослідженнях.

#### **Теоретичне дослідження класифікацій методів математичного моделювання складних систем**

У роботі Б. С. Флейшмана [1, 10] серед принципів системології можна виділити основні. Принцип ієрархічної організації дозволяє підпорядкувати один одному як природні, так і штучні системи [11]. Цей принцип широко використовується під час їх моделювання у вигляді рекурентного принципу побудови моделей формальної структури складних систем [12]. У цьому випадку властивості систем деякого рівня (наприклад, популяції) виводяться у вигляді теорем (пояснюються) на основі постулювальних властивостей і зв'язків їх елементів, тобто систем нижчого рівня (для популяції – особини). У випадку кожного «сходження» на наступний ієрархічний рівень система попереднього рівня стає елементом системи вищого рівня, тому ускладнення формальної структури останньої не є обов'язковим.

Принцип здійсненності дозволяє відрізняти моделі складних систем від звичайних моделей математики. Математичні моделі вимагають тільки вказівки необхідних і достатніх умов існування рішення (логічна несуперечливість), моделі конструктивної математики – додатково до цього алгоритму знаходження конкретного рішення (наприклад, шляхом повного перебору всіх можливих ситуацій). У системології розглядаються тільки ті моделі, для яких такий алгоритм можна здійснити, тобто рішення може бути знайдено із заданою вірогідністю за заданий час. Теорія здійсненності розвинена в [12] як розділ теорії потенційної ефективності складних систем. Цей принцип досить формалізований в системології.

Принцип множинності моделей свідчить про те, що для пояснення та передбачення структури і (або) поведінки складної системи в межах помилок спостережень можлива побудова декількох моделей [13].

За вкоріненою в сучасній науці традиції розуміння явища ототожнюється з можливістю його кількісного аналізу. Принцип несумісності накладає обмеження на ці можливості: чим глибше аналізується реальна система, тим менш визначені наші судження про її поведінку [14]. Відзначається несумісність «простоти» моделі та точності рішення задачі.

Принцип контрінтуїтивної поведінки був сформульований Дж. Форрестером [15], який одним з перших звернув увагу на те, що надати задовільний прогноз щодо поведінки складної системи за досить великий проміжок часу, спираючись тільки на власний досвід та інтуїцію, практично неможливо. Наша інтуїція «вихована» на спілкуванні з простими системами, де зв'язки елементів практично завжди вдається простежити «від початку до кінця». Контрінтуїтивна поведінка складної системи полягає в тому, що вона реагує на дії зовсім по-іншому, ніж це нами інтуїтивно очікувалося.

Будь-яка природно-наукова теорія здійснює декілька функцій, серед яких найбільш важливими є функції пояснення і передбачення спостережуваних феноменів в досліджуваному класі систем [6].

Звичні для традиційної науки, що спирається на методологію фізикалізму, поняття пояснення, передбачення та їхнє ставлення до теорії і експерименту реформовані в системології. Це пов'язано з такими обставинами: чим адекватніше складній системі її імітаційна модель, тим вище її передбачувальні якості, але тим нижче пояснювальні (модель за складністю наближається до оригіналу). Таким чином, в системології, на відміну від фізикалізму, теорія не є єдиним носієм і передбачувального і пояснювального елементів. Фізикалізм, як і редуccionізм, має тенденцію пояснювати явища на конкретному системному рівні явищами на гранично нижчих системних рівнях аж до атомного.

На відміну від цього, основним принципом пояснення системології слід вважати рекурентний однокроковий принцип. Він полягає у тому, що як постулати приймаються властивості та взаємодії систем безпосередньо нижчого рівня і виведення з них теорем властивостей систем цього рівня.

Що стосується передбачувального елемента, то фізикалізм надає йому звичного значення, що пов'язане з поняттям фізичного закону, що передбачає майбутню поведінку простої системи або його ймовірність.

«Експериментальний» метод передбачення за допомогою імітаційного моделювання в

системології полягає в «розіграші» різних ситуацій в прискореному порівнянні з реальним перебігом «машинного» часу. Однак на шляху цього методу стоїть так зване «прокляття розмірності» простору, в яке занурена модель. Цей ефект супроводжується швидким переповненням пам'яті комп'ютера і значним збільшенням часу рішення задачі, як тільки робляться спроби розумної деталізації моделі.

Найчастіше класифікації моделей складних систем ґрунтувалися на природі системи, що моделюється (наприклад, за характером тих, що переважають в системі та виділяються для моделювання зв'язків між елементами – речовинні, енергетичні та інформаційні [5]), або на способах моделювання (наприклад, ймовірні або детерміновані, дискретні або безперервні, з післядією або без післядії, що змінюють, залежно від умов характеру функціонування, і незмінні). Однак в першому випадку процеси в складних системах настільки переплетені, що «вичленення» їх – операція складна, а іноді і просто нездійсненна.

Використання моделі того чи іншого класу в другому випадку, за висловом В. В. Налімова, «багато в чому залежить від рівня інтелектуального естетизму» [4]. Дійсно, дослідник швидше буде будувати вірогідну модель, якщо він краще знає імовірнісний апарат, ніж апарат диференціальних рівнянь (незалежно від властивостей модельованої системи). Тому вибір «техніки» моделювання не повинен передувати вибору його методу, який визначається цілями дослідження і ступенем повноти емпіричної інформації про досліджувану систему.

Більш конструктивними є запропоновані Б. С. Флейшманом в роботі [10] класифікації методів математичного моделювання, що пов'язані з внутрішніми властивостями складних систем. Методи математичного моделювання, як і принципи ускладненої поведінки, що з'явилися на цьому рівні складності і зберігаються для систем більш високого рівня, відповідають певному рівню складності. Зв'язок між ускладненням поведінки об'єктів, що моделюються, і методами їх моделювання наведено в табл. 1.

Так, прості системи найбільш адекватно представляються аналітичними моделями. Ці ж моделі можуть застосовуватися і для моделювання більш складних систем, однак їх передбачувальна здатність буде значно нижче.

Таблиця 1 – Відповідність систем і їх моделей [10]

Системи	Принципи ускладнювальної поведінки систем (за Б. С. Флейшманом)	Стани, що визивають поведінку систем (за Р. Акоффом)	Моделі
Прості	Речовинно-енергетичний баланс (на основі законів збереження) Гомеостазіс на основі зворотних зв'язків	Системи, що зберігають стан Системи пошуку одного результату	Аналітичні моделі (закони); самоорганізувальні моделі (у формі відкриття законів)
Складні	без інтелекту	Системи пошуку декількох результатів Спрямовані системи	Аналітичні моделі (феноменологічні та моделі потенційної ефективності); імітаційні моделі; самоорганізувальні моделі
	з інтелектом	Цільові системи та системи, які прагнуть до ідеалу	Евристичне програмування

Для складних систем, не наділених інтелектом, найбільш ефективними будуть імітаційні, самоорганізувальні та аналітичні моделі потенційної ефективності. Нарешті, для складних систем з інтелектом виділений спеціальний клас методів моделювання – евристичне програмування.

Основне завдання емпірико-статистичного моделювання – упорядкувати великий обсяг емпіричної інформації про структуру і поведінку складної системи і надати оброблену інформацію для побудови інших математичних моделей. Методи емпірико-статистичного моделювання дуже різноманітні (від найпростішої статистичної обробки до регресійного, факторного і кластерного аналізів), вони використовуються на першому етапі математизації тієї чи іншої галузі знання. Однак емпірико-статистичні моделі не дозволяють розкривати причинно-наслідкових зв'язків систем, що моделюються; вони необхідні тільки для перевірки різного роду гіпотез про ці зв'язки.

Аналітичні моделі складних систем в силу своєї «спрощеності» (свідомий вибір лише найістотніших елементів і зв'язків) здійснюють лише пояснювальну функцію теорії за умови, що гіпотези, які лежать в їх основі, справедливі і несуперечливі. Аналітичні моделі реалізуються без комп'ютера і дозволяють побудувати якісну картину явища або об'єкта, що аналізується.

У цьому випадку розрізняють дві групи аналітичних моделей [16]: феноменологічні (будуються в результаті безпосереднього спостереження за системою) і моделі потенційної ефективності складних систем.

(Останні можна використати лише до складних систем, які вже достатньо наблизилися до своїх оптимальних прототипів. Вони мають оціночний характер і визначають деякі «заборони» на кінцеві результати [12]).

Імітаційні моделі відображають відомі досліднику уявлення про структуру та динаміку складної системи. Адекватність (з точки зору виконання певної мети) імітаційної моделі досягається за рахунок наближення числа її параметрів до числа параметрів системи; складність моделі виявляється порівняно зі складністю самої системи [17–20]. Реалізація такої моделі здійснюється на комп'ютері у вигляді комплексу програм з використанням «блочного» принципу побудови (розбиття вихідної системи на ряд слабозалежних підсистем, моделі яких неможливо перевірити окремо до їх включення в загальну модель). Позитивними рисами імітаційних моделей є висока точність прогнозів (за умов адекватності моделі досліджуваної системи), можливість опису поведінки системи (побудова діаграм причинно-наслідкових зв'язків), гнучкість моделі відповідно до нових ситуацій (можливість її швидкого підстроювання в силу блокового принципу побудови). До негативних рис імітаційного моделювання належать низька можливість пояснення поведінки системи, необхідність мати досить великий обсяг емпіричної інформації для ідентифікації та верифікації моделі і дуже висока вартість розробки моделі.

Самоорганізувальні моделі, як і імітаційні, є прогнозувальними, проте для їх комп'ютерного синтезу необхідно значно менше емпіричної інформації і фінансових

витрат (в силу значної спільності алгоритмів самоорганізації). Їх алгоритмічна реалізація – еволюційне моделювання і метод групового обліку аргументів [21, 22]. В останньому випадку функція дослідника зводиться тільки до завдання списку вихідних змінних і «критерію селекції». Останній висловлює уявлення дослідника про якість одержуваної моделі. Наприклад, як критерій селекції може виступати помилка прогнозу перевіркою послідовності експериментальних даних після того як модель побудована на основі іншої послідовності – навчальної. Саму модель буде комп'ютер шляхом перебору різних окремих моделей і вибору для подальшого аналізу кращих з них (з точки зору введеного критерію селекції).

Нарешті, евристичне програмування – область переходувальними моделями. Мета його – побудова таких моделей, які відтворювали б процес мислення людини [23]. Найбільш ефективно евристичне програмування для побудови моделей систем, наділених інтелектом, складність поведінки яких визначається їх здатністю до рефлексії. До евристичних методів належить ситуаційне управління великими соціально-економічними системами.

### Висновки

Під час побудови математичної теорії в системології необхідно відзначити використання принципу множинності моделей. У цьому випадку жоден зі способів моделювання не володіє одночасно всім набором функцій моделей, тому неможливо побудувати уніфіковану теорію. Принцип здійсненості моделей полягає в блоковому способі побудови імітаційних моделей, що дозволяє подолати «прокляття розмірності», і в моделях потенційної ефективності, за допомогою яких можуть бути відкинуті деякі неможливі для реальних систем ситуації. Принцип несумісності полягає в тому, що жоден з методів моделювання не реалізує одночасно пояснювальну і передбачувальну функції теорії. Нарешті, принцип контрінтуїтивної поведінки складних систем враховується під час побудови моделей, що самоорганізуються (відмова від дедуктивного підходу до моделювання, за яким відбувається «нав'язування» уявлень дослідника про структуру і механізми динаміки систем, що моделюються).

Математичне моделювання складних систем має розглядатися як розширення тра-

диційного природничо-наукового експерименту. Під час аналізу екологічних систем, як і під час аналізу будь-якої іншої складної системи, експеримент має замінити сила абстракції і комп'ютерне моделювання.

### Література

1. Fleishman B. S. Philosophy of systemology. *Cybernetica*. 1976. Vol. 19. № 4. P. 261–272.
2. Ludwig von Bertalanffy. *General System theory: Foundations, Development, Applications*. 1st ed. N. Y.: George Braziller. Inc. 1968. 289 p.
3. Розенберг Г.С. Экология и системология: синтез теории. 2011. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologiya-i-sistemologiya-sintez-teorii>
4. Налимов В. В. Теория эксперимента. М.: Наука, 1971. 208 с.
5. Розенберг Г. С. Введение в теоретическую экологию: в 2-х т. Тольятти: Кассандра, 2013.
6. Шитиков В. К., Розенберг Г. С., Зинченко Т. Д. Количественная гидроэкология: методы системной идентификации. Тольятти: ИЭВБ РАН, 2009. 463 с.
7. Г. С. Розенберг Модели потенциальной эффективности популяций и экологических систем. *Вестник Нижегородского ун-та им. Н. И. Лобачевского*. Сер. Биол. 2009. Вып. 1(9). С. 164–180.
8. Маргалеф Р. Перспективы в экологической теории: Под ред. Г.С. Розенберга. Тольятти: ИЭВБ РАН; Кассандра, 2011. 122 с.
9. Розенберг Г. С., Рянский Ф. Н., Лазарева Н. В., Саксонов С. В., Симонов Ю. В., Хасаев Г. Р. Общая и прикладная экология. 2016. URL: <https://docplayer.ru/58341733-Obshchaya-i-prikladnaya-ekologiya.html>
10. Флейшман Б. С., Брусиловский П. М., Розенберг Г. С. О методах математического моделирования сложных систем. *Системные исследования*. Ежегодник. М.: Наука, 1982. С. 5–79.
11. Odum Eugene P. *Fundamentals of ecology*. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 383 P.
12. Fleishman B.S. The state of theory of potential efficiency of complex systems. *Cybernetica*, 1970. Vol. 13. № 4. P. 199–210.
13. Fleishman B. Stochastic Theory of Complex Ecological Systems. *Complex Ecology*. Chap. 6. P. 166–224. B. Patten, S. Jorgensen (ed). Prentice Hall PTR, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 2000.
14. Zadeh L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. *IEEE Trans. Syst. Man Cybern.*, SMC-3, 1973. P. 28–44.
15. Форрестер Дж. Антиинтуитивное поведение сложных систем. *Современные проблемы кибернетики*. М.: Знание, 1977. С. 9–25.
16. Pielou E. *Mathematical ecology*. N. Y.: Wiley, 1977. 385 p.

17. Лоу А., Кельтон В. Имитационное моделирование. СПб: Издательство: Питер, 2009. 848 с.
18. Gonway G. R. Mathematical models in applied ecology. Nature, 1977. Vol. 269. № 5626, P. 291–297.
19. Mankin J. B., O'Neill R. V., Shugart H.H., Rust B.W. The importance of validation in ecosystem analysis, 2011. 412 p.
20. Levins R. The search for the macroscopic in ecosystems. Simu-lat. Counc. Proc. Ser., 1975. Vol. 5. № 2. P. 213–222.
21. Волкова В. Н., Денисов А. А. Теория систем и системный анализ. М.: Юрайт, 2010. 679 с.
22. Lucas S., Reynolds T. Learning Deterministic Finite Automata with a Smart State Labelling Evolutionary Algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation Volume 27. Issue 7. June 2009.
23. Рассел С., Норвиг П. Искусственный интеллект: современный подход. М.: Вильямс, 2009.
13. Fleishman B. Stochastic Theory of Complex Ecological Systems. *Complex Ecology*. Chap. 6. P. 166–224. B. Patten, S. Jorgensen (ed). Prentice Hall PTP, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 2000.
14. Zadeh L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., SMC-3, 1973. P. 28–44.
15. Forrester J. Anti-intuitive conduct of complex systems. Modern problems of cybernetics. M.: Knowledge, 1977. P. 9–25 [in Russian].
16. Pielou E. Mathematical ecology. N. Y.: Wiley, 1977. 385 P.
17. Low A., Kelton B. Simulation modeling. St. Petersburg: Publisher: Piter, 2009. 848 p. [in Russian].
18. Gonway G. R. Mathematical models in applied ecology. Nature, 1977. Vol. 269. № 5626. P. 291–297.
19. Mankin J. B., O'Neill R. V., Shugart H. H., Rust B. W. The importance of validation in ecosystem analysis, 2011. 412 p.
20. Levins R. The search for the macroscopic in ecosystems. Simu-lat. Counc. Proc. Ser., 1975. Vol. 5. № 2. P. 213–222.
21. Volkova VN, Denisov AA Theory of systems and system analysis. M.: Yurait, 2010. 679 p. [in Russian].
22. Lucas S., Reynolds T. Learning Deterministic Finite Automata with a Smart State Labelling Evolutionary Algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation Volume 27. Issue 7. June 2009.
23. Russell S., Norwig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. M.: William, 2009 [in Russian].

### References

1. Fleishman B. S. Philosophy of systemology. Cybernetica, 1976. Vol. 19. № 4. P. 261–272.
2. Ludwig von Bertalanffy. General System theory: Foundations, Development, Applications. 1st ed. N. Y.: George Braziller, Inc, 1968. 289 p.
3. Rosenberg G. S. Ecology and systemology: synthesis of the theory. 2011. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologiya-i-sistemologiya-sintez-teorii> [in Russian].
4. Nalimov V. V. Theory of the experiment. M.: Science, 1971. 208 c. [in Russian].
5. Rosenberg G. S. Introduction to theoretical ecology: In 2 Vol. Tolyatti: Cassandra, 2013 (in Russian).
6. Shitikov V. K., Rosenberg G. S., Zinchenko T. D. Quantitative hydroecology: methods of system identification. Tolyatti: IEVB RAS, 2009. 463 p. [in Russian].
7. G. S. Rosenberg, Models of Potential Efficiency of Populations and Ecological Systems, *Vestn. Nizhny Novgorod un-ta them. N.I. Lobachevsky*. Ser. Biol. 2009. Vol. 1 (9). P. 164–180 [in Russian].
8. Margalef R. Perspectives in Ecological Theory: Ed. G. S. Rosenberg. Tolyatti: IESB RAS; Cassandra, 2011. 122 p. [in Russian].
9. Rosenberg G. S., Ryansky F. N., Lazareva N. V., Saksonov S. V., Simonov Yu. V., Khasaev G. R. General and applied ecology. 2016. URL: <https://docplayer.ru/58341733-Obshchaya-i-prikladnaya-ekologiya.html> [in Russian].
10. Fleishman B. S., Brusilovsky P. M., Rosenberg G.S. On the methods of mathematical modeling of complex systems. *System Studies. Yearbook*. M.: Science, 1982. - P. 5–79 [in Russian].
11. Odum, Eugene P. Fundamentals of ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 383 p.
12. B. S. Fleishman. The state of theory of potential efficiency of complex systems. *Cybernetica*, 1970. Vol. 13. № 4. P. 199–210.
13. Fleishman B. Stochastic Theory of Complex Ecological Systems. *Complex Ecology*. Chap. 6. P. 166–224. B. Patten, S. Jorgensen (ed). Prentice Hall PTP, Englewood Cliffs, New Jersey 07632, 2000.
14. Zadeh L. A. Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes. IEEE Trans. Syst. Man Cybern., SMC-3, 1973. P. 28–44.
15. Forrester J. Anti-intuitive conduct of complex systems. Modern problems of cybernetics. M.: Knowledge, 1977. P. 9–25 [in Russian].
16. Pielou E. Mathematical ecology. N. Y.: Wiley, 1977. 385 P.
17. Low A., Kelton B. Simulation modeling. St. Petersburg: Publisher: Piter, 2009. 848 p. [in Russian].
18. Gonway G. R. Mathematical models in applied ecology. Nature, 1977. Vol. 269. № 5626. P. 291–297.
19. Mankin J. B., O'Neill R. V., Shugart H. H., Rust B. W. The importance of validation in ecosystem analysis, 2011. 412 p.
20. Levins R. The search for the macroscopic in ecosystems. Simu-lat. Counc. Proc. Ser., 1975. Vol. 5. № 2. P. 213–222.
21. Volkova VN, Denisov AA Theory of systems and system analysis. M.: Yurait, 2010. 679 p. [in Russian].
22. Lucas S., Reynolds T. Learning Deterministic Finite Automata with a Smart State Labelling Evolutionary Algorithm. IEEE Transactions on Evolutionary Computation Volume 27. Issue 7. June 2009.
23. Russell S., Norwig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. M.: William, 2009 [in Russian].

**Ковальова Ольга**, к.т.н., доц. кафедри екології, Харківський національний автомобільно-дорожній університет, вул. Ярослава Мудрого (Петровського), 25, 61002 Харків, Україна, тел: +38 (057) 707 37 41, e-mail: [olgagoog64@gmail.com](mailto:olgagoog64@gmail.com)

### Анализ методов моделирования в экологии с позиций системологии

**Аннотация.** Для получения прогноза создаются модели поведения конкретных систем, об адекватности которых можно судить лишь в рамках принятых гипотез. Рост сложности исследуемого объекта приводит к росту сложности математического аппарата. Однако используемый сегодня аппарат моделирования не решает главную проблему увеличения невысокой (или неудовлетворительной) предсказательной способности моделей достаточно сложных систем. Экосистемы – это объекты сложной природы, и методологической основой их изучения служит теория сложных систем. Поэтому при решении этого вопроса необходимо обратиться к анализу основных принципов системологии.

**Ключевые слова:** экосистемы, простые и сложные системы, физикализм и системология, сложность системы, акт решения, принципы системологии, методы математического моделирования.

**Ковалева Ольга Николаевна**, к.т.н., доц. кафедры экологии, Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет, ул. Ярослава Мудрого (Петровского), 25, 61002 Харьков, Украина, тел: +38 (057) 707 37 41, e-mail: olgagoog64@gmail.com

#### **Analysing modeling methods in the ecology from the systemology positions**

**Abstract.** To obtain a forecast, models of behavior of specific systems are created, whose adequacy can be judged only within the framework of accepted hypotheses. The increase in the complexity of the object under study causes an increase in the complexity of the mathematical apparatus. However, today's modeling device does not solve the main problem of increasing the low (or unsatisfactory) predictive ability of models of rather complicated systems. Ecosystems are the objects of complex nature, and the methodological basis for their study is the theory of complex systems. Therefore, when solving this issue, it is necessary to turn to the analysis of the basic principles of systemology. Goal: analysis of the main provisions of systemology for the application of modeling in ecosystem research. The methodological basis for the study of the ecosystem is the theory of complex systems. As a result of the work the analysis of the basic positions of systemology concerning the approaches in the study of simple and complex systems was carried out. The basic principles of systemology and the most important functions of explanation and predic-

tion of the observed phenomena in the studied class of systems are considered, as well as the connection between the complications of the behavior of simulated objects and the methods of their modeling. It is determined that in the study of complex systems, the principle of multiplicity of models is used. In this case, none of the methods of modeling has all sets of model functions at the same time. The principle of feasibility of models is manifested in the block method of constructing simulation models. This to overcome allows to some extent the "pro-oath of dimension" in models of potential efficiency, where impossible situations can be rejected for real systems. The principle of incompatibility manifests itself in the fact that none of the methods of modeling realizes simultaneously the explanatory and predictive functions of the theory. Finally, the principle of counter-intuitive behavior of complex systems is taken into account when constructing self-organizing models. It is noted that mathematical modeling of complex systems should be considered as an extension of traditional natural science experiment. With regard to the analysis of environmental systems, as well as the analysis of any other complex system, the experiment should replace the power of abstraction and computer simulation.

**Key words:** ecosystems, simple and complex systems, physicalism and systemology, complexity of the system, act decision, principles of systemology, methods of mathematical modeling

**Kovalova Olga**, Ph.D, Assoc. Prof. of the Ecology Department, Tel.: +38 (057) 707 37 41, e-mail: olgagoog64@gmail.com, Kharkiv National Automobile and Highway University, str. Yaroslava Mudrogo (Petrovsky), 25, 61002 Kharkiv, Ukraine.

---