УДК 332

Бурачек В., Зацерковний В., Тестова О., Нисторяк І.

Чернігівський державний інститут економіки і управління

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ГІС ПРИ ВИРІШЕННІ ЗАДАЧ РАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ

Постановка проблеми. Зростання антропогенного навантаження на навколишнє середовище в другій половині XX століття призвело до загострення багатьох екологічних проблем. Перспективи їхнього вирішення пов'язані з реалізацією концепції "стійкого розвитку" - стабільного співіснування людства й природи. Важливими елементами даної концепції є збереження та відтворення ресурсної бази сільського господарства, оптимізація застосування засобів хімізації землеробства, поліпшення структури землекористування на основі об'єктивної характеристики агроекологічної ситуації. Це вимагає:

а) розробки алгоритмів оцінки стійкості екосистем;

б) вивчення закономірностей їхньої динаміки;

в) удосконалювання методики оцінки впливу на навколишнє середовище (ОВНС), що включає еколого-економічний прогноз.

Провідна роль у перерахованих дослідженнях належить чисельним методам. Варто підкреслити роль ГІС як основного інструмента дослідження геоекологічних систем різного рівня, коли проведення широкомасштабних натурних досліджень й експериментів найчастіше неможливе або ускладнене.

Постановка завдання. У статті розглядається поточний стан досліджень в області математичного моделювання для рішення агроекологічних завдань й оптимізації природокористування. Проведено аналіз числових методів опису динаміки екологічних систем, показані можливості агроекологічних моделей при складанні агроекологічних прогнозів.

Методологія моделювання й класифікація агроекологічних моделей. Ідея моделювання полягає в заміщенні досліджуваного об'єкта його аналогом. Математичне моделювання - один з основних аналітичних інструментів ГІС, який дозволяє у ряді випадків уникнути трудомістких і дорогих натурних експериментів. На основі результатів прогнозування динаміки геосистем, можна вирішити питання раціонального застосування добрив і засобів захисту рослин, проведення комплексної меліорації й окультурення полів, оптимізації структури землекористування й інші.

Діапазон і масштаб модельованих процесів може бути досить широким - від глобальної екології до прогнозування динаміки окремих компонентів агроценозів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Аналіз літератури показує, що найбільше поширення набули статичні й динамічні моделі. Статичні моделі формалізують зв'язок між показниками без обліку

змінної часу. Динамічні моделі використаються для оцінки явищ у їх розвитку. При описанні невизначених процесів у природних системах (агрометеорологічні умови, міграція речовин по профілю ґрунтів, трансформація пестицидів, виділення границь ґрунтових ареалів, виникнення спалахів хвороб рослин, динаміки чисельності шкідників й інших) переважно використовуються імовірнісні підходи. Найважливішим завданням моделювання є прогнозування й керування об'єктом, серед них виділяються некеровані моделі та оптимізаційні (за участю однієї або декількох сторін).

Виклад основного матеріалу. Статистичні моделі агроекосистем. Статистичні моделі будуються на основі допущення, що досліджуваний процес випадковий і може бути вивчений за допомогою статистичних методів аналізу систем. Вони включають: емпіричні і динамічні статистичні моделі, кореляційний і факторний аналіз, аналіз часових рядів. Для зниження розмірності статистичних моделей використовується ряд методів, наприклад виділення головних компонентів у регресійних рівняннях і гармонічних рядах.

Емпіричні моделі продуктивності агроценозів в основному представлені так званими виробничими функціями. Вони представляють регресійні рівняння, що зв'язують кінцевий результат (урожай і показники його якості) з діючими величинами. До виробничих функцій пред'являється ряд вимог: модель повинна враховувати основні фактори, що впливають на врожай; охоплювати широкий діапазон їхніх значень; апроксимуюча функція повинна максимально відповідати реальним біологічним закономірностям.

Динамічні моделі призначені для прогнозування й оперативного керування продукційним процесом з обліком складної агрометеорологічної обстановки. В основі динамічного моделювання лежить опис системи за допомогою звичайних диференціальних рівнянь і рівнянь у часткових похідних, параметри яких визначають за емпіричним даними.

Комплексні імітаційні моделі покликані підвищити адекватність агроекологічних прогнозів за рахунок якісно більш повного використання емпіричних даних. Імітаційні моделі покликані формалізувати за допомогою ЕОМ будь-які емпіричні дані про об'єкт. Причинно-наслідкові зв'язки в імітаційних моделях простежуються не до кінця. Це дозволяє аналізувати системи в умовах великої розмірності й неповної інформації про їхню будову, більш результативно використовувати знання предметної області. Структура імітаційних систем, як правило, включає аналітичний опис об'єкта, блоки експертних оцінок, імітації й обробки результатів обчислювального експерименту.

Розпізнавання образів (РО) - напрямок досліджень, пов'язаний з розробкою процедур визначення приналежності об'єкта до одного із заздалегідь виділених класів (образів). РО застосовується для дешифрування аеро- і космічних фотознімків, при дистанційній індикації ґрунтів. Дистанційна діагностика використається для ідентифікації

вогнищ засолення, нафтового забруднення, змісту гумусу, дослідження неоднорідності ґрунтів і т.п. Результати діагностики використаються при складанні екологічних карт різного масштабу.

Аналіз часових рядів - ще одна область застосування статистичних методів. Для прогнозу періодичних процесів по відомому спектру частот використається аналіз за допомогою рядів Фур'є. В агрометеорології прийняті розрахунки багаторічних циклів продуктивності агроценозів по повторюваним астрономічним явищам.

До статистичних моделей в агроекології можна також віднести банки даних, що містять параметри статистичних розподілів показників стану ґрунтів (морфологічних, хімічних, фізичних й інших), а також результатів польових агрохімічних експериментів. Є досвід використання агрохімічних банків даних при побудові моделей продуктивності агроценозів.

Динамічні моделі (моделі математичної фізики, балансові й інші). "Дифузійні" моделі використовують апарат рівнянь переносу (дифузії). Область їхнього застосування - розрахунок потоків речовини й енергії у відносно гомогенні, або наближені до них середовищах. У ґрунтознавстві рівняння дифузії використовуються для розрахунку температурних, концентраційних й інших полів у ґрунтовій масі.

Балансові моделі описують динаміку систем як сукупність процесів переносу речовини й енергії. В якості математичного апарату використовуються звичайні диференціальні рівняння. Частковим випадком є так звані компартментні моделі. Вони представляють об'єкт у вигляді резервуарів (компартментів) і зв'язуючи їх каналів.

Концептуально-балансове (компартментне) моделювання має важливе значення у вивченні біологічного круговороту елементів у ґрунтознавстві й геохімії. Моделі геохімічних циклів описують міграцію й нагромадження зольних елементів у системі "ґрунт-рослина", формування біомаси й зміна запасів органічної речовини ґрунту

Органічна речовина ґрунтів має ключове значення в забезпеченні буферности, стійкості й безпеці агроекосистем. Запропонована І.М. Рижовою модель описує баланс вуглецю в системі "ґрунт-рослина" за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь. Розглядається зміна запасу гумусу в ґрунті, підстилці, щорічна продукція, швидкості гуміфікації, мінералізації рослинних залишків і гумусу. Показано, що модель коректно описує зміну змісту гумусу в зональних типах ґрунтів.

Матричні моделі представляють динаміку об'єкта у вигляді послідовної зміни станів:

$$a(t+1)=A*a(t),$$

де а - вектор характеристик об'єкта, А-квадратна матриця впливів, t-час.

У загальному випадку матриця А може бути змінної і її елементи будуть залежати від часу. Матричні моделі застосовні, якщо динаміка властивостей об'єкта може бути представлена у вигляді лінійної рекурсії. Це справедливо для квазістаціонарних станів, коли режим

функціонування системи не змінюється. Розглянутий тип моделей використовується переважно для опису динаміки популяцій в екології популяцій і фітопатології.

Моделі теорії дослідження операцій (ТДО) вирішують завдання оптимального керування в умовах, коли доступні ресурси обмежені, тобто регламентовані значення змінних. Оптимізаційні моделі основа автоматизованого проектування сільськогосподарських технологій. Відомі модельні розробки планування господарського використання земель в умовах радіоактивного забруднення, оптимізації агротехнологій за принципом "ігор із природою".

Специфічні індивідуальні моделі служать для опису вузького кругу процесів, наприклад взаємодій типу "хижак-жертва". Спроби їхнього узагальнення для прогнозування динаміки великих систем стикаються з істотними труднощами. Популяційне моделювання використовуються у фітопатології, епізоотології.

Інформаційне забезпечення агроекологічних моделей. Інформаційне забезпечення математичних моделей включає системи підтримки прийняття рішень (СППР), геоінформаційні системи (ГІС), системи управління базами даних (СУБД), системи засновані на знаннях (СЗЗ), автоматизовані системи управління (АСУ), системи автоматизованого проектування (САПР), середовища імітаційного моделювання. Для персональних комп’ютерів і робочих станцій запропоновані системи, що реалізують мови імітаційного моделювання (SLAM II, GPSS, SIMULA, DINAMO). Для зберігання й подання картографічної інформації використовуються геоінформаційні системи (ГІС). Версії для ПК мають картографічні системи: ARC/INFO, pMAP, IDIRSI (США), TERRASOFT, PAMAP, SPANS, COMPUGRID/STRINGS (Канада), CLIMEX (Австрія), SICAD (Німеччина) і інші. Є досвід використання електронних картографічних матеріалів при складанні довгострокових агроекологічних прогнозів.

Набули популярність інтегровані банки моделей, де на єдиній методичній основі узагальнюються різні розрахункові методи. Це істотно підвищує ефективність агроекологічного прогнозування.

Висновки. Кількісний опис динаміки агроекосистем пов’язаний із труднощами методичного, інформаційного й алгоритмічного характеру. Методичні проблеми викликані недосконалістю засобів і методів агроекологічних досліджень. Алгоритмічні проблеми пов’язані із труднощами створення математичних моделей агроекосистем на основі результатів натурних досліджень. Використання агроекологічних моделей має ряд особливостей: екстраполяція прогнозних оцінок у ряді випадків утруднена, хоча інтерполяція може виконуватися з необхідною точністю. Викликає труднощі оцінка якісних величин. Це змушує вдосконалювати засіб прогнозування й принципи інтерпретації його результатів. В ідеальному випадку при прийнятті конкретних рішень на практиці можуть знайти застосування практично всі розглянуті вище типи моделей.