СТОХАСТИЧНА МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМІЧНОГО ПРОЦЕСУ

О.Тадєєв
(Українська державна академія водного господарства)

Геодинамічний процес є складною динамічною системою, яка формується під сумісним впливом найрізноманітніших факторів екзогенного, ендогенного та техногенного походження. Зовнішнє вираження процесу реалізується кількісними та якісними змінами статичного стану тектонічних структур. Цілком очевидно, що його дослідження повинні носити комплексний характер, який включав би методи і підходи різних природничих наук. Пізнання процесу можливе за умови зростання об'ємів інформації про нього. Крім вдосконалення методів реєстації і накопичення результатів спостережень необхідне проведення досліджень, спрямованих на встановлення об'єктивних закономірностей внутрішньої структури процесу та його фізичного змісту. Таке завдання можна вирішити з позицій теорії систем і системного аналізу шляхом побудови теоретичних математичних моделей, які б дозволили перейти від емпіричної методології розрізнених досліджень до теоретико-фізичної. Зважаючи на складність як самого процесу, так і поставленого завдання, з практичної точки зору було б достатньо, щоб подібні моделі дозволяли описувати процес і прогнозувати його розвиток, давати відповіді на практичні питання і робити необхідні висновки.

Дані геодезичних, геофізичних, гідрогеологічних та інших натурних спостережень є результатами реєстрації окремих зовнішніх ознак геодинамічного процесу. Для його описування як системи необхідне одночасне врахування спряжених варіацій всіх можливих результатів спостережень. Зважаючи на різнофакторність першоджерел процесу, є підстави вважати його випадковим, а результати спостережень - випадковими величинами. Це означає, що моделювання досліджуваного процесу не можливе без застосування сучасного апарату математичної статистики, а його кількісне оцінювання повинно здійснюватись в рамках математичної стохастичної моделі.

Пропонується один з різновидів стохастичної моделі, в основу якого покладено відомий метод середньої квадратичної коллокації [3]. Практичне застосування методу дало позитивні результати при дослідженні різних за фізичною природою полів Землі, в тому числі поля сучасних рухів земної поверхні [2].

Основне місце в методі середньої квадратичної коллокації посідає коваріаційна функція. Методика її побудови включає:

1) описування і відокремлення тренду $f(x_i)$ з наявних числових характеристик l_i досліджуваного фізичного скалярного поля; x_i - значення деякої детермінованої змінної; $i = 1, 2, ..., n$;

n - число характеристик;

2) перевірка стаціонарності та ізотропності залишкової випадкової складової частини поля, яка описується відхиленнями $v_i = l_i - f(x_i)$;

3) побудова емпіричної коваріаційної функції $C(r)$ як функції віддалей r між точками з відомими числовими характеристиками для стаціонарного ізотропного поля відхилень v_i;

4) визначення параметрів коваріаційної функції - дисперсії C_0, довжини кореляції ξ та параметру кривизни χ;

5) вибір оптимальної модельної коваріаційної функції. Отримана функція описує, зберігає і відтворює внутрішню просторову структуру поля, за числовими характеристиками якого побудована, а також дає можливість прогнозувати характеристики в будь-які інші точки, в яких спостереження не проводились. Зауважимо, що вид модельної коваріаційної функції залежить не стільки від емпіричних значень кореляційних моментів, як від параметрів C_0, ξ, χ. Тому структуру поля відображають саме ці параметри. Методологічно побудова коваріаційної функції не має складнощів за винятком описування тренду. Визначення тренду, який відповідав би його реальному фізичному змісту, навряд чи можливе. Однак тут достатньо обмежитись такою його аналітичною формою, при якій значення відхилень v_i задовольняли б статистичній стійкості щодо нормального закону їх розподілу.

Описана методика застосовувалась раніше при описуванні та прогнозуванні числових характеристик різних за походженням фізичних полів

Землі. Внаслідок специфіки існуючих методів натурних повторних спостережень такі характеристики є дискретними не лише в просторі, але і в часі. Вони описують досліджувані фізичні поля по відношенню до тих часових епох, коли проводились спостереження.

Процедура коваріаційного аналізу може суттєво розширити наше уявлення про досліджувані фізичні поля, причому не лише в розумінні вивчення їх статичної просторової структури, а й стосовно розвитку в часі. Можна запропонувати наступні математичні прийоми розв'язування поставленого завдання.

Нехай відомо числові характеристики для n дискретних точок деякого фізичного поля D в момент часу t_j (j=1,2,..., s). Побудуємо коваріаційні функції $C_j(r$ на кожний момент часу і визначимо їх параметри C_{0j}, ξ_j, χ_j. Оскільки коваріаційна функція разом з її параметрами описує статичний стан поля в кожний з моментів t_j, то маємо залежності відповідних параметрів в часі. Такі залежності характеризують зміну статичної структури досліджуваного поля D. Форму залежності можна встановити апроксимацією відповідних значень параметрів із застосуванням способу найменших квадратів. При наявності аналітичного виразу існуючої залежності маємо можливість не лише відтворити параметри і відповідні їм функції в будь-який з моментів t_j, але й визначити вигляд коваріаційної функції в заданий проміжний момент часу чи шляхом екстраполяції - в будь-який, наступний після s, момент.

З допомогою запропонованої процедури можна описувати просторово-часову структуру окремого фізичного поля на основі наявної дискретної інформації про нього. Реалізація геодинамічного процесу в певний момент часу може бути зареєстрована результатами різного виду натурних спостережень. Кожен з них можна вважати фізичним полем з відповідними йому числовими характеристиками. Накладання таких m полів одне на одне задає їх сумарний результат, який описує статичний стан об'єкту в момент реєстації t_j. Логічно припустити: якщо в цей момент структуру кожного поля D_k (k=1,2,..., m) описує властива лише йому коваріаційна функція $C_{jk}(r$ з відповідними їй параметрами C_{0jk}, ξ_{jk}, χ_{jk}, та існує зв'язок між полями D_k, то існує також зв'язок між функціями $C_{jk}(r$, і, отже, між параметрами C_{0jk}, ξ_{jk} та χ_{jk}. Висунуте припущення легко перевірити емпіричним шляхом, вдаючись до статистичних досліджень на предмет виявлення корельованності величин, які підлягали спостереженню. Такий зв'язок слід вважати стохастичним, тому, при умові підтвердження його реального існування, можна стверджувати: описані вище процедури і математичні прийоми структурно складають основу математичної стохастичної моделі геодинамічного процесу, про необхідність побудови якої говорилось раніше.

Визначення конкретних форм встановленого зв'язку і побудова моделі не є самоціллю. В плані її практичного використання можна очікувати наступних результатів:

Параметри коваріаційних функцій утворюють матрицю розмірності $m \times 3$ для моменту часу t_j (або розмірності $m \times 3 \times s$ в загальному випадку). Матриця описує статичний (або в загаль-ному - динамічний) стан об'єкту дослідження і може розглядатись як матриця коефіцієнтів систе-ми рівнянь з невідомими величинами, які, в свою чергу, могли б характеризувати закономірності розвитку геодинамічного процесу і його фізичний зміст.

Якщо встановлений зв'язок параметрів коварі-аційних функцій виразити конкретною аналітич-ною формою, то, з точки зору числового оцінювання поточного стану об'єкту дослідження, відк-риваються можливості не лише прогнозування числових характеристик окремих полів, але і обчислення характеристик поля одного фізичного походження через характеристики полів іншого походження. Важливо, що такі характеристики обчислюються з врахуванням просторово-часової структури системи окремих фізичних полів як єдиного процесу.

Закономірно постає питання точності запропо-нованої моделі. Найбільш загальною та універ-сальною характеристикою точності моделі та похибок можливих її наслідків є критерій практики, який визначає цінність моделі через реальний ефект застосування її властивостей. Оцінка точності моделі виражається мінімумом відношення дисперсії величин, які вона дозволяє відтворити виконанням її внутрішніх обчислювальних процедур, до дисперсії величин, які підлягали безпосередній реєстрації [1]. Інший підхід полягає в дотриманні вимог до точності розв'язування окремих задач та виконання обчислювальних процедур всередині моделі, а також вимог до точності вихідних (кінцевих) результатів, які вона забезпечує. Обидва підходи доповнюють один одного і, виходячи з аналізу застосовуваних в рамках моделі математичних методів і процедур, забезпечують знаходження відповідних їм числових оцінок.

Запропонована модель дозволить розширити пізнання геодинамічних процесів, особливо локального та регіонального масштабів, виходячи з комплексного застосування всієї наявної вихідної інформації і одночасного врахування джерел їх походження.

Література

1.Методы вычислений на ЭВМ: Справочное пособие/ИвановВ.В.-Киев:Наук.думка,1986.-584 с.

2.Мещеряков Г.А., Киричук В.В., Тадеев А.А. Изучение, прогнозирование и картирование современных горизонтальных движений земной поверхности по геодезическим данным./Изучение Земли как планеты методами геофизики, геодезии и астрономии: Труды Второй Орловской конференции.-Киев, 1988.-с.189-192.

3.Мориц Г. Современная физическая геодезия. -М.:Недра, 1983.-392с.

A.Tadeyev

STOCHASTIC MODEL OF THE PROCESS OF GEODYNAMICS

Summary

Questions of the mathematics modeling of local and global processes of geodynamics are examined. The model of the process must take into account all its sources at the same time. This demand can be ensured by simultaneously calculating variations from all results of observations of geodynamic features. This task is solved by the determination and use of properties of covariance functions for fields of observation results. Mathematics procedures of proposed model allow to fulfil the spatial-time prognosis both of separate quantitative characteristic features of the process and of its state as a whole system.

А.Тадеев

СТОХАСТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ГЕОДИНАМИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА

Резюме

Рассматриваются вопросы математического моделирования геодинамических процессов локального и регионального масштабов. Модель процесса должна одновременно учитывать все возможные его источники. Такое требование можно обеспечить совместным учетом сопряженных вариаций результатов наблюдений изменения различных внешних признаков геодинамического процесса. В рамках предложенной стохас-тической модели эта задача решается построением и использованием свойств ковариационных функций полей различных результатов наблюдений. Математические процедуры, заложеные в модели, позволяют выполнить простанственно-временное прогнозирование как отдельных количественных характеристик процесса, так и его состояния в целом как системы.