

Русла р. Либідь і струмків Глибочицький, Совський, Кловський і ін. укладені в колектор, засипані або забетоновані. Процеси підтоплення активізуються в заплаві лише в період повені та значних опадів.

2. Основною причиною змін рівнів ґрунтових вод в долині р. Либідь є те, що режим цієї річки цілком змінені, тому що область живлення річки знаходиться під суцільною забудовою, а русло річки практично по всій довжині спрямоване і замкнене у відкритий залізобетонний лоток або в підземний тунель. Найбільш значні коливання рівнів ґрунтових вод спостерігаються за період 1950-1980 рр. (коефіцієнт взаємної відповідності підтоплення території складає лише 29 %). Імовірно це пов'язано з активізацією антропогенного впливу (будівництво залізниці, каналізація русла) на цій території і відповідно, як наслідок, підняття рівнів ґрунтових вод. В результаті порівняльного аналізу стриманих для різних періодів часу рівнів ґрунтових вод видно, що площа ділянок з критичною глибиною залегання ґрунтових вод з часом зменшилася (коефіцієнт взаємної відповідності для періодів часу 1950-2005 рр. складає 76 %), площі підтоплення для періоду 2005 року майже співпадають з територією підтоплення в 1980 р. Можливо це пов'язано з тим що система ґрунтових вод в долині р. Либідь поступово адаптувалася до зовнішнього антропогенного втручання і рівні ґрунтових вод зазнають менших коливань.

3. Практичне врахування встановлених закономірностей змін рівнів ґрунтових вод в заплаві р. Либідь та прилеглої до неї території дозволить запобігти розвитку негативних геологічних процесів при інженерному освоєнні згаданої території на стадії проектування.

4. Запропонований підхід до вивчення підтоплення може бути застосований для інших урбанізованих територій.

1. Шестопалов В.М., Сеніна Н.С., Дробнокоп Н.И. Водообмен в гидрогеологических структурах Украины: водообмен в нарушенных условиях. – К., 1991. 2. Луцк О.Г., Коржин М.М., Кошляков О.С. Просторовий аналіз і моделювання в ГІС. Навчальний посібник за ред. акад. Гродзинського Д.М. – К., 2003. 3. Луцк А.В., Вурло М.І., Кошляков О.С. Основні зміни інженерно-геологічних умов у межах підтоплення територій та наслідки їх доведення // Екологія довкілля та безпека життєдіяльності, 2003 №5. 4. Кошляков О.С., Мокієвич З.І., Кошлякова І.С., Дімін О.В. Аналіз динаміки рівнів ґрунтових вод лівобережжя м. Києва із застосуванням геоінформаційних технологій // Вісн. Київ. ун-ту Сер. „Геологія”. – Київ. – Вип. 39. – 2005. 5. Кошляков О.С., Дімін О.В. Особливості математичного моделювання потоків ґрунтових вод в долинах малих річок м. Києва. // Вісн. Київ. ун-ту „Геологія”. – К. – Вип. 42. – 2007. 6. Кошляков О.С. Гідрогеографічне моделювання. Підручник. – К., 2003.

Надійшла до редколегії 16.01.08.

УДК 556.3 (519.21)

В. Демидов, асп.

ПАКЕТ ПРИКЛАДНИХ ПРОГРАМ GSM ДЛЯ СТАТИСТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГУ ГЕОЛОГІЧНОГО СЕРЕДОВИЩА

Наведено метод та алгоритми статистичного моделювання випадкових процесів та полів. Розроблено пакет прикладних програм GSM на основі методів спектрального розкладу та рандомізації. Алгоритм, що використовується в ППП GSM, апробований для моделювання одно-тривимірних масивів даних в задачах моніторингу геологічного середовища.

The method and algorithm for statistical modeling of random processes and fields by software package GSM, using the methods of spectral decomposition and randomization, are considered. The algorithm, which is used in PPP GSM is tested for the monitoring of the location of tectonofundamental objects.

Вступ. Сфера застосування математики в геологічних дослідженнях розширюється з кожним роком. Підвищений інтерес до математичних методів пов'язаний з необхідністю узагальнювати й аналізувати фактичний матеріал, накопичений у результаті багаторічних досліджень. Цьому сприяє також бурхливий розвиток засобів обчислювальної техніки, що дозволяє зберігати, передавати й обробляти великі обсяги інформації. Передбачається, що застосування комп'ютерних технологій у доступному для огляду майбутньому обумовить перехід геології на якісно новий рівень.

На кафедрі геофізики геологічного факультету із залученням фахівців із механіко-математичного факультету Київського національного університету імені Тараса Шевченка протягом останніх років розробляються теоретичні та методичні основи застосування методів статистичного моделювання при дослідженні екологічного стану території. Мета ведеться розробка системи моніторингу за станом геологічного середовища, зокрема теорія і методологія комплексної геодинамічної інтерпретації даних геофізичного моніторингу небезпечних геологічних процесів і екологічного стану середовища.

Актуальність. Розроблена теорія, методика та алгоритми статистичного моделювання випадкових процесів, двохвимірних та тривимірних полів. В той же час для реалізації окремих задач в загальному об'ємі процедур, які необхідно виконати для проведення швидкого статистичного моделювання, використовується цілий ряд прикладних пакетів і програм, що орієнтовані на вирішення широкого класу задач в різних галузях знань. Автором поставлена задача розробити пакет прикладних програм ППП GSM (Geological Statistic Modeling), що дозволяє моделювати знадана розробити пакет прикладних програм ППП GSM (Geological Statistic Modeling), що дозволяє моделювати знадана чення параметрів в проміжках режимної сітки спостережень та за її межами, адекватно описувати реальні геологічні процеси. Це дає змогу створити основу для прогнозу розвитку небезпечних геологічних процесів та створити методи оцінки їх поведінки за глибиною, в часі та в просторі в межах одного програмного комплексу.

Теоретичні основи. В ППП GSM використовується метод статистичного моделювання (метод Монте-Карло), що забезпечує можливість доповнити експериментальні реалізації додатковими даними, які неможливо отримати геофізичними та іншими дослідженнями при вирішенні поставленої задачі (нерегулярність мережі спостережень, неможливість проведення прямих спостережень під фундаментами споруд при вирішенні задач інженерної геології, необхідність виявлення закономірностей та тенденцій і зміні напруженості глибини свердловин при спостереженнях, необхідність виявлення закономірностей та тенденцій і зміні напруженості глибино-деформованого стану гірських масивів при відсутності можливості проводити регулярні спостереження, розробка систем пасивного та активного моніторингу небезпечних геологічних процесів та інше).

Теоретичні аспекти можливостей застосування статистичного моделювання в задачах геології розглядалися в роботах [1-6], практична апробація на реальних даних була проведена для процесів та полів на площині – в роботах [2,3], а для тривимірних випадкових полів «методом спектральних коефіцієнтів» - в роботі [7], методом рандомізації [2,3], а для тривимірних випадкових полів «методом спектральних коефіцієнтів» - в роботі [7], методом рандомізації [2,3].

© В. Демидов, 2008

зації в роботі [8]. Теоретичні аспекти можливостей застосування статистичного моделювання розглянуті в працях Ядренко М.Й. [9].

Таблиця 1. Порівняння можливостей для статистичного моделювання випадкових процесів та полів методом спектральних коефіцієнтів пакетами програм Statistika

Назва операції	Пакети програм		
	Statistika	GeoR	GSM
Допоміжні операції при статистичному моделюванні			
Побудова гістограм	+	+	+
Моделювання нормальних випадкових величин	+	+	+
Обрахунок спектральних коефіцієнтів	+	-	-
Побудова варіограм (корелограм)	+ (лише одновимірний варіант)	+	+ (лише одновимірний варіант)
Обрахунок спеціальних функцій (Бесселева функція, поліном Лежандра)	-	-	+
Статистичне моделювання	-	-	+

Для реалізації запропонованого підходу було розроблено алгоритм та проведена його реалізація у програмному середовищі Delphi. Розробка власного програмного забезпечення є вимушеним кроком, тому що для створення надійної та практичної методики статистичного моделювання випадкових процесів та полів для задач моніторингу геологічного середовища необхідно, щоб програмний продукт виконував певну кількість операцій. Основні операції з даними продемонстровано в таб 1, де показано, які стадії обробки інформації необхідні, які наявні програмні продукти найбільш зручні для реалізації поставлених задач. Розглянуті обмеження найбільш поширених програмних продуктів, що на даний час використовуються. В ППП GSM вже реалізована значна частина операцій, які проводилися різними програмними засобами (Statistika, GeoR). Крім цього реалізоване моделювання випадкових величин, побудова варіограм, обрахунок функцій Бесселя та поліномів Лежандра, власне статистичне моделювання (1-3D).

Реалізація окремих задач в єдину методику, яка реалізується в одному програмному продукті, в одному програмно-алгоритмічному комплексі (пакеті прикладних програм) є кінцевою метою розробок та досліджень, які проводяться, хоча область застосування розробленої методики та програмного продукту може бути більш широкою ніж задачі моніторингу геологічного середовища. Демонстрація розробленої методики, яка реалізована у ППП GSM, наведено на рис 1, де показаний весь основний цикл моделювання – вихідні дані (1), їх можлива попередня обробка (2), перевірка на нормальність (3), пошук кореляційної функції (4), моделювання (5), перевірка на адекватність моделювання (6).

Для даного програмного продукту використовуються вхідні дані, які формуються у стандартний dat файл, де застается певна кількість необхідних параметрів та точки моделювання. Моделювання можливе як для рівномірної сітки спостережень, так і для нерівномірної. Для полегшення процесу моделювання, більшість моментів автоматизовано та представлено у Windows інтерфейсі (рис.2). Формат вихідних даних представляє собою також стандартний dat файл, що дозволяє досить легко використовувати ці дані в інших програмних засобах, та дозволяє у подальшому можливість інтеграції розробленого продукту в інші програмні засоби з метою їх подальшого використання.

Перевагою ППП GSM є те, що в ньому реалізується велика кількість операцій, які необхідні для статистичного моделювання. Таким чином нема необхідності використовувати декілька програмних пакетів та спеціально їх вивчати. Особливо це стосується математичного апарату та математичних обрахунків, які для кінцевого користувача можуть представляти певні складності.

Особливо застосування. ППП GSM дозволяє проводити статистичне моделювання для процесів, двох- та тривимірних полів.

З точки зору коректного застосування математичного моделювання необхідним є виконання декількох умов. Одним з етапів статистичного аналізу даних є перевірка згенерованих даних на адекватність кореляційної функції за допомогою пакету програм GeoR.

Перше – дані повинні мати нормальний розподіл та бути ізотропними або близькими до них.

Друге – фундаментальне припущення, що якщо поля, що досліджуються – ізотропні, або можуть бути шляхом перетворень зведені до ізотропних, то значки вигляд кореляційної функції та математичне сподівання, можна змодельовувати масиви дво – та тривимірних даних в проміжках мережі спостережень.

Третє – досліджується вид кореляційної функції. Для кожного виду кореляційної функції підбирається модель, знаходяться спектральні коефіцієнти та, відповідно до моделі, проводиться моделювання. Такий метод називається «методом спектральних коефіцієнтів», який описано і застосовано до практичних задач в роботі [8]. Його перевагою є швидкість та надійність обрахунків, але одним із недоліків є досить складний процес обрахунку спектральних коефіцієнтів.

У випадку неможливості розрахунку спектральних коефіцієнтів застосовується метод «рандомізації». При його застосуванні відпадає необхідність пошуку спектральних коефіцієнтів, але точність обрахунків за допомогою цього методу є меншою.

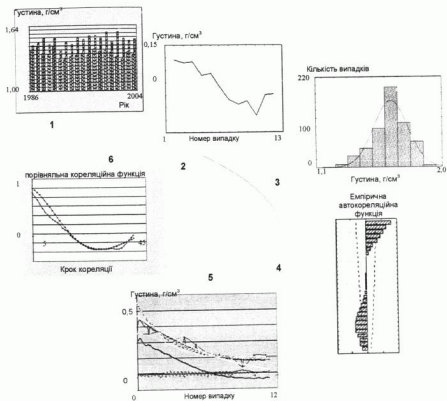


Рис. 1. Демонстрація розробленого алгоритму на прикладі статистичного моделювання випадкових процесів

В розробленому пакеті прикладних програм використовувався розроблений алгоритм як для методу спектральних розкладів так і для методу рандомізації. Проводилась апробація ППП GSM для моделювання одно-тривимірних масивів даних.

Алгоритм статистичного моделювання для даних, які мають різну мірність, та залежно від обраної методики, є різними. Але в цілому вони є досить схожими. Для прикладу наведемо алгоритм генерування реалізації гаус-

сівського випадкового поля $\xi(\vec{x})$ методом спектральних коефіцієнтів.

Алгоритм.

1. Моделюється послідовність випадкових величин $\lambda_i, \lambda_j \in \Lambda_i (i = \overline{1, k})$ із щільностями розподілу p_i .
2. Визначається відповідне для заданої точності наближення $\epsilon > 0$ значення числа N за допомогою оцінки:

$$\frac{\pi}{2} Q^4 \left(\frac{\alpha \lambda_i}{k} \right)^2 \left[1 + \frac{(2N+1)^2}{N} \left[Q^4 \frac{\pi}{2(N+2)} \left(\frac{N}{2^N} \right)^2 + \frac{N+1}{2^{2(N-1)}} \left(\frac{eN}{2(2N+3)} + \frac{N+1}{2(N+2)} \right) \right] \right] + 2\pi^2 Q^2 \frac{1}{N} \mu_1 + \pi^2 Q^4 \frac{1}{\sqrt{N}} e^{-\frac{N^2}{4Q}} + 2\pi^2 Q^4 \frac{N}{N^2-1} \mu_2 \leq \epsilon. \quad (1)$$

де Q – деяке дійсне невід'ємне число (радіус кулі).

3. Моделюються набори незалежних стандартних гауссівських випадкових величин із статистичними характеристиками, які ми позначили через:

$$\left\{ p_{m,p} \right\}_{m=0, j=0, k=1}^{N, m, k}, (p = 1, 2).$$

4. Обчислюються значення реалізації випадкового поля $\xi_i(r, \theta, \varphi)$ при підстановці значень величин, знайдених за пунктами 1, 2 та змодельованих гауссівських випадкових величин за пунктом 3.

Достовірність побудов перевірялась за допомогою пакета GeoR. Для цього знаходиться статистична оцінка для кореляційної функції згенерованої реалізації випадкового поля $\xi(r, \theta, \varphi)$ за допомогою пакета прикладних програм GeoR і порівнюється із підбраною кореляційною функцією $B(\rho)$ для даних, а також проводиться статистичний аналіз цієї реалізації на адекватність.

Апробація розробленого алгоритму, проводилась на території Київської агломерації та проммайданчику Рівненської атомної електростанції (РАЕС), що дозволило підвищити обґрунтованість прийнятих управлінських рішень.

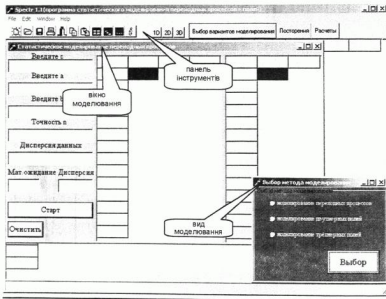


Рис. 2. "Головне вікно" ППП GSM

Висновки. Розроблений ППП GSM дозволяє проводити статистичне моделювання випадкових процесів, дво- та тривимірних полів в одному програмному комплексі. Зрозумілий інтерфейс дозволяє досить легко освоїти даний програмний засіб за найкоротший час.

Розроблений підхід дозволяє застосувати його до задач прогнозування розвитку небезпечних геологічних процесів та контролю за станом території. Подальше вдосконалення ППП GSM полягає у інтеграції його з стандартними пакетами геологічних програм та можливості його використання в рамках сучасних ПС-технологій.

1. Vyzhva Z.O. About Approximation of 3-D Random Fields and Statistical Simulation // *Rand. Oper. and Stoch. Equation*. – 2003. – 4, №3. 2. Вихва С.А. Геофізичний моніторинг небезпечних геологічних процесів. – К., 2004. 3. Вихва С.А., Вихва З.О. Про застосування статистичного моделювання випадкових полів з нерівномірною решіткою інтерполяції до задач геофізики // *Геоінформатика*. – 2002. – №4. 4. Вихва С.А., Вихва З.О. Про застосування статистичного моделювання тривимірних випадкових полів у задачах геофізичного моніторингу екологічного стану території // *Вісн. Київ. ун-ту. Сер. Геологія*. – 2003. – Вип. 26. 5. Вихва С.А., Вихва З.О., Демидов В.К. Статистичне моделювання карсто-суфудійних процесів на території потенційно-небезпечних об'єктів // *Геоінформатика*. – 2004. – №2. 6. Вихва С.А., Вихва З.О., Демидов В.К. Застосування статистичного моделювання в геофізичному моніторингу стану верхньої частини розриву промислової потенційно небезпечних промислових об'єктів // *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матер. IV Між нар. наук. конф. Київ, 2003*. – К., 2003. 7. Вихва С.А., Вихва З.О., Демидов В.К. Статистичне моделювання тривимірних випадкових полів у задачах моніторингу екологічного середовища // *36. наук. праць «Теоретичні та прикладні аспекти геоінформатики»*. – К., 2006. 8. Вихва С.А., Вихва З.О., Демидов В.К. Статистичне моделювання методом рандомізації при вирішенні задач моніторингу екологічного середовища // *Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану середовища: Матер. Всеукр. наук. конф. Київ, 2005*. – К., 2006. 9. Яценко М.И. Спектральная теория случайных полем. – К., 1980.

Надійшла до редакції 21.12.07