

5. Шовенгердт Р.А. Дистанционное зондирование Земли: модели и методы обработки изображений /Р.А. Шовенгердт. – М.: Техносфера, 2010. – 582с.

6. Walter, V. Automatic verification of GIS data using high resolution multispectral data / V. Walter, D. Fritsch // In: IAPRS 1998. – P. 485 - 490.

7. Walter, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection / V. Walter // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2004. – Vol. 58, Issue: 3-4. – Publisher: Elsevier. – P. 225 – 238.

8. Khoshelham K. Performance evaluation of automated approaches to building detection in multi-source aerial data /K. Khoshelham, C. Nardinocchi, E. Frontoni, A. Mancini, P. Zingaretti // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing 65, 2010. – P. 123-133.

9. Mancini A. Automatic extraction of urban objects from multi-source aerial data [Text] / A. Mancini, E. Frontoni, P. Zingaretti // Volume XXXVIII-3/W4, 2009 CMRT09 Object Extraction for 3D City Models, Road Databases and Traffic Monitoring - Concepts, Algorithms and Evaluation September 3-4, 2009, Paris, France Editor(s): U. Stilla, F. Rottensteiner, N. Paparoditis. – P. 13–18.

#### Інтернет-джерела

10. *Обработка данных ДЗЗ - Этапы обработки данных.* [http://mapexpert.com.ua/].

Надійшла до редакції

26.04.2013

УДК 517

П.Д. Крельштейн,  
І.А. Маліна

## МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ ДИНАМІКИ ЗМІНИ ПОЛОЖЕННЯ МОРСЬКОЇ БЕРЕГОВОЇ ЛІНІЇ В АКВАТОРІЇ ЧОРНОГО МОРЯ

*Побудовано математичну модель прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії в акваторії Чорного моря.*

*Ключові слова: берегова лінія, фазова траєкторія, функція передбачення.*

**Постановка проблеми.** Математичне моделювання ґрунтується на явищі ізоморфізму – схожості форм за якісної відмінності явищ. Завдяки ізоморфізму можна моделювати одну систему за допомогою іншої, замість одного явища вивчати інше [7; 8]. За математичного моделювання замість вивчення оригіналу досліджують математичні залежності, що його описують.

**Огляд попередніх публікацій.** Досліджуючи складні об'єкти, до яких належить морська берегова лінія, доводиться брати до уваги чимало взаємопов'язаних чинників,

при цьому реально доступна інформація може бути такою, що погано формалізується, надходить в довільній формі, змінюватися в часі. У математичному моделюванні чинники відображають у вигляді математичних конструкцій, таких як параметри стану об'єкта і середовища та ін. Тому моделі повинні відображати рівень знань про об'єкт, можливості його використання і досягнення цілей моделювання. Загалом моніторинг та прогнозування природних явищ за матеріалами дистанційного зондування Землі достатньо розвинені в Україні, це насамперед роботи, виконані в Центрі аерокосмічних досліджень з участю та під керівництвом С.М. Андреева, Г.Я. Красовського, В.В. Радчука, С.М. Попова та ін. [2 – 6]. Інша наукова школа пов'язана з діяльністю професорів НУ «Львівська політехніка» О.Л. Дорожинського та Х.В. Бурштинської [1]. Однак питання розроблення математичних моделей для прогнозування змін природних об'єктів залишається малодослідженим і потребує додаткових зусиль.

**Постановка завдання.** Метою пропонованої роботи є побудова математичної моделі для прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії в акваторії Чорного моря.

**Виклад основного матеріалу.** Для побудови моделі скористаємося дискретним набором координат точок берегової лінії завдовжки 20 км на західному узбережжі Чорного моря, де вимірювання координат виконані через 1 км. Отримано такі вихідні дані: топографічна карта масштабу 1:50000 (рік видання – 1972); космічна зйомка у видимому діапазоні LANDSAT-5, роздільна здатність 30 м (дата виконання – 05.05.1989); космічна зйомка у видимому діапазоні LANDSAT-7, роздільна здатність 15 м (дата виконання – 12.04.2003); космічна радіолокаційна зйомка ENVISAT, роздільна здатність 30 м (дата виконання – 02.04.2012).

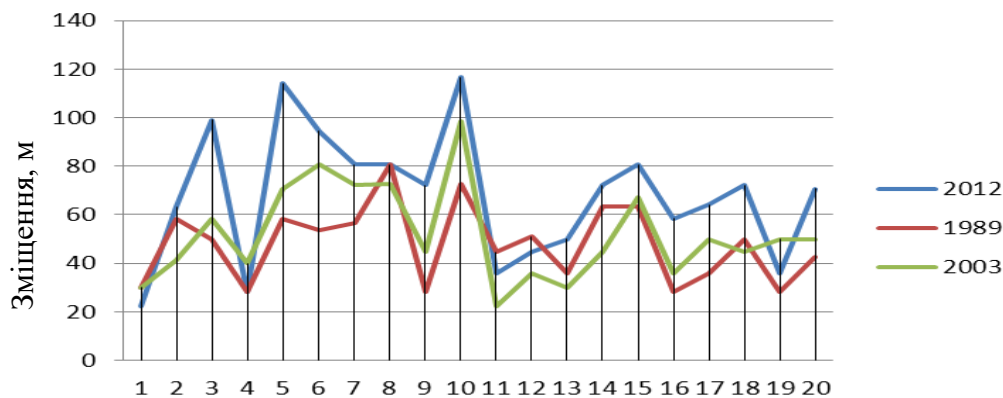


Рис. 1. Характер зміни положення морської берегової лінії в різних циклах спостережень

Виконані раніше дослідження дають підстави говорити про еквівалентність цих даних з погляду якості і точності. Таким чином отримано чотири масиви координат точок берегової лінії. Для розроблення моделі зміни стану об'єкта обчислено радіуси-вектори зміщень берегової лінії в кожному циклі. Характер зміни положення берегової лінії на радіусах-векторах в різних інтервалах спостережень зображено на рис. 1.

Для виявлення характеру процесу побудовано фазову траєкторію зміни стану морської берегової лінії (рис. 2).

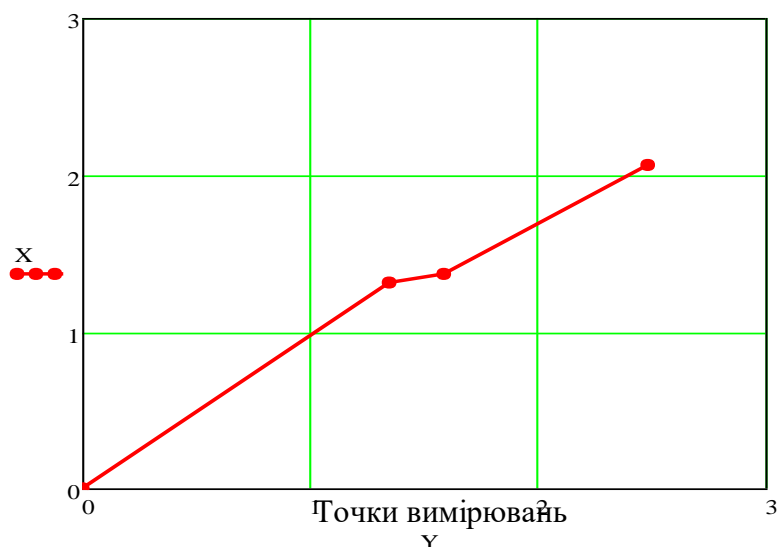


Рис. 2. Фазова траєкторія зміни стану морської берегової лінії

Графік на рис. 2 показує, що процес зміщення берегової лінії має чітко виражений лінійний характер. Таким чином, для прогнозування подальших змін достатньо використати лінійну функцію передбачення.

Проаналізуємо зміну положення берегової лінії як набір змінних для кожної точки, у розгляданому випадку це радіус-вектори зміщень точок у кожному циклі. Для кожного циклу вимірювань обчислимо середню величину зміщення берегової лінії (табл. 1).

Таблиця 1

Середні значення радіус-векторів зміщень в циклах

Рік	1972	1989	2003	2012
$R_N$ , м	0	48,2	52,0	67,8

Використаємо дані табл. 1 для побудови моделі прогнозування.

Запропонований метод прогнозування базується на тому, що величина  $R_N$  є функцією деякої множини радіусів-векторів:

$$R_N = f(R_{N-1}, R_{N-2}, R_{N-3}). \quad (1)$$

Оскільки запропоновано використовувати лінійну функцію передбачення, то застосовують такі коефіцієнти  $a, b, c$ , що

$$f(R_{N-1}, R_{N-2}, R_{N-3}) = aR_{N-1} + bR_{N-2} + cR_{N-3}, \quad (2)$$

отже

$$R_N = aR_{N-1} + bR_{N-2} + cR_{N-3},$$

$$R_{N+1} = aR_N + bR_{N-1} + cR_{N-2},$$

$$R_{N+2} = aR_{N+1} + bR_N + cR_{N-1}.$$

За допомогою наведеного алгоритму, були отримані прогнозні значення величин зміщення берегової лінії протягом четвертого і п'ятого циклу спостережень.

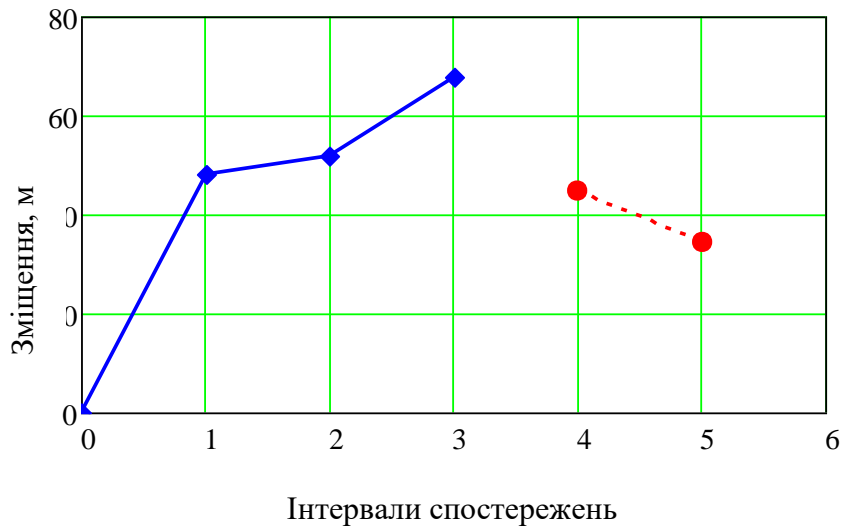


Рис. 3. Побудова прогнозу за допомогою лінійної функції передбачення

Побудована математична модель на досліджуваній ділянці узбережжя дає змогу припустити, що найближчим часом не слід очікувати значних зміщень берегової лінії. Очікувані зміщення знаходяться в інтервалі 35-45 м.

**Висновок.** За результатами дослідження запропоновано математичні моделі прогнозування динаміки зміни положення морської берегової лінії. Висвітлено спосіб побудови математичної моделі для оцінювання і прогнозування руху морської берегової лінії за допомогою моделі зміни стану об'єкта у фазовому просторі. Запропонований підхід вільний від недоліків, властивих традиційним методам аналізу.

Для експериментальної ділянки західного узбережжя Чорного моря виконано оцінювання процесу зміщення. Отримані результати свідчать про те, що процес зміщення берегової лінії має чітко виражений лінійний характер. Таким чином, для прогнозування подальшої зміни положення лінії досить скористатися лінійною функцією.

Побудована модель придатна для виконання короткотермінових прогнозів. Оскільки спостереження за положенням берегової лінії виконують через досить тривалі інтервали часу і кількість даних невелика, застосовувати класичні методи побудови моделей, такі як метод найменших квадратів, недоцільно.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шевчук В.М. Методика моніторингу руслових процесів за матеріалами аерокосмічного знімання. Автореф. дис... канд. техн. наук: 05.24.01 [Текст] / В.М. Шевчук; НУ «Львівська політехніка». — Л., 2011. — 25 с.
2. Сучасні інформаційні технології екологічного моніторингу Чорного моря [Текст] / С.О. Довгий, Г.Я.Красовський, В.В. Радчук [та ін. ] /за ред. С.О. Довгого. — К.: Інформаційні технології, 2010. — 260 с.
3. Красовський Г.Я. Космічний моніторинг екологічної безпеки водних екосистем із застосуванням геоінформаційних технологій [Текст] /Г.Я. Красовський. —

К.: Інтертехнологія. – 2008. – 486 с.

4. *Красовський Г.Я.* Інформаційні технології космічного моніторингу водних екосистем і прогнозу водоспоживання міст. [Текст] / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. – К.: Наукова думка, 2003, – 200 с.

5. *Кохан С.С.* Методологія використання даних космічних зйомок і геоінформаційного аналізу з метою підвищення ефективності досліджень агроресурсів в умовах лісостепової ландшафтно-кліматичної зони України: автореф. дис... д-ра техн. наук: 05.07.12 [Текст] / С.С. Кохан., ін-т геол. наук, НАН України. – К., 2012. – 35 с.

6. *Андреев С.М.* Сучасні технології космічного моніторингу морських акваторій та прибережних територій на прикладі Чорного моря [Текст] / С.М. Андреев, Г.Я. Красовський, В.В. Радчук // Современные достижения в науке и образовании: сб. трудов III Междунар. науч. конф. Тель-Авив (Израиль): ХНУ, 2009. – С.94-96. -251.

#### Інтернет-джерела

7. Вовк И.Г. Введение в математическое моделирование. [Электронный ресурс]. – Режим доступа [www.library.ssga.ru/fultext](http://www.library.ssga.ru/fultext). – Название с экрана.

8. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Основы системно-целевого подхода и принятие решений. Вовк И.Г., Бугакова Т.Ю. Основы системно-целевого подхода и принятие решений. [www.library.ssga.ru/fultext](http://www.library.ssga.ru/fultext). – Название с экрана.

Надійшла до редакції

12.08.2013