

УДК 528.29

Роман РАЧОК,
кандидат технічних наук, доцент,
Національна академія Державної прикордонної служби України
імені Богдана Хмельницького, м. Хмельницький

АНАЛІЗ СТАТИСТИЧНИХ РОЗПОДІЛІВ ВИСОТ ПРИКОРДОННОЇ МІСЦЕВОСТІ З ВИКОРИСТАННЯМ ГЕОІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ

У статті сформовано підходи до визначення законів розподілу висот ділянки місцевості з використанням геоінформаційної системи.

Ключові слова: геоінформаційна система, рельєф, закон розподілу висот, функція густини розподілу висот.

Постановка проблеми у загальному вигляді. У Державній прикордонній службі України під час вирішення завдань з охорони державного кордону все ширше використовуються інформаційно-телекомунікаційні системи (ІТС) [1]. Важливу роль у багатьох з них відіграє геоінформаційна система (ГІС), яка забезпечує зберігання, пошук та картографічну візуалізацію різноманітної інформації (маршрути руху прикордонних нарядів; місця знаходження патрулів, дільничних інспекторів; пересування суден в Азовському та Чорному морях; польотів прикордонної авіації). Однак відсутність геомodelей у сфері забезпечення прикордонної безпеки України обмежує можливості використання ГІС у вирішенні складних задач з обробки інформації. Залежно від специфіки цих задач для їх розв'язання можуть застосовуватись детерміновані, імовірнісні та статистичні підходи. В окре-

© Рачок Р.

мих випадках доводиться використовувати ймовірнісні моделі, в яких проводиться статистичний опис рельєфу місцевості. Це стосується задач оцінки ефективності функціонування радіомереж з урахуванням стохастичної природи основних факторів, які впливають на передавання інформації; задач побудови раціональних маршрутів руху (зокрема для підрозділів швидкого реагування); задач оцінки ефективності функціонування та раціонального використання технічних засобів спостереження та ін.

При статистичному описі рельєфу місцевості важливим є вибір закону розподілу висот. У [2] для опису рельєфу місцевості використовується рівномірний закон густини розподілу висот. У статистичній моделі прогнозного профілю рельєфу місцевості при виконанні польотів на малих висотах [3] використовується нормальний закон густини розподілу висот. У [4] використовуються показниковий та логнормальний розподіли. Однак залежно від характеру рельєфу місцевості, розмірів досліджуваної ділянки і ступеня просторової деталізації можуть використовуватись різні закони розподілу. Усе це обумовлює актуальність дослідження рельєфу прикордонних районів з метою визначення законів розподілу висот.

Мета статті – формування підходів до визначення розподілу висот ділянки місцевості з використанням ГІС.

Виклад основного матеріалу дослідження. Сьогодні у Державній прикордонній службі України використовується геоінформаційна система ArcGIS виробництва американської компанії ESRI. У цій ГІС інформація про місцевість пошарово зберігається у базі даних. Окремі шари можуть містити дані у різних форматах. У базі даних ГІС ДПСУ містяться десятки шарів, які представляють як місцевість, так і різноманітні об'єкти. З метою вирішення широкого кола завдань, які потребують інформації про висоти місцевості, до бази даних ГІС ДПСУ пропонується внести дані з проекту SRTM по прикордонних районах. Дані SRTM для ділянок місцевості в межах відповідальності Білгород-Дністровського та Мукачівського прикордонних загонів наведені на рис. 1.

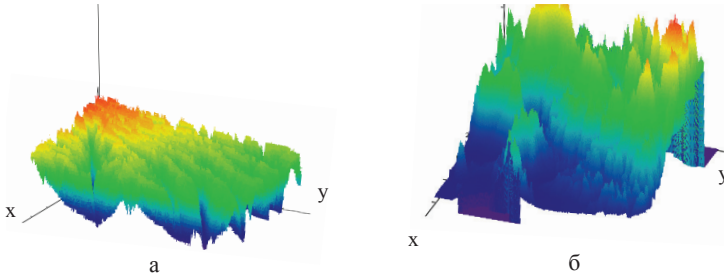


Рис. 1. Рельєфи ділянок місцевості Білгород-Дністровського ПРИКЗ (а) та Мукачівського ПРИКЗ (б)

З метою аналізу рельєфів місцевості було розроблене програмне забезпечення у системі програмування Visual Studio 2008 Express Edition. Дане програмне забезпечення проводить зчитування вихідних даних про висоти визначеної ділянки місцевості з графічного формату TIFF (16 bit). Для цього використовується клас TiffBitmapDecoder (з простору імен System.Windows.Media.Imaging). З метою зручності подальшої обробки та прискорення роботи алгоритму для розміщення даних щодо реального розподілу висот використано масив, індексом елементів якого є висота. У циклі проводиться зчитування висот з заповненням цього масиву (інкрементуються елементи масиву, відповідні зчитаним висотам) і визначенням мінімальної та максимальної висоти. Отже, уже на першому етапі визначаються параметри рівномірного розподілу (h_{\min} , h_{\max}).

Після формування масиву реального розподілу висот проводяться обчислення параметрів нормального та показникового (експоненціального) законів густини розподілу. Окрім використання цих класичних законів розподілу, передбачено апроксимацію густини розподілу експоненціальною залежністю

$$p(h) = \alpha \cdot e^{-\beta \cdot h}. \quad (1)$$

Для проведення апроксимації методом найменших квадратів проведемо логарифмування (1)

$$\ln(p(h)) = \ln(\alpha \cdot e^{-\beta \cdot h}) = \ln(\alpha) - \beta \cdot h. \quad (2)$$

Позначимо: $B = \ln(\alpha)$; $A = \beta$; $x_i = h_i$ (вихідні значення висот місцевості); $y_i = \ln(p(h_i))$ (прологарифмовані вихідні значення густини розподілу висот).

Застосуємо метод найменших квадратів:

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^n (y_i - B + Ax_i)^2 &= \sum_{i=1}^n (y_i^2 - 2By_i + 2Ax_iy_i - 2ABx_i + A^2x_i^2 + B^2), \\ \frac{\partial}{\partial A} \sum_{i=1}^n (y_i^2 - 2By_i + 2Ax_iy_i - 2ABx_i + A^2x_i^2 + B^2) &= \\ &= 2 \sum_{i=1}^n x_iy_i - 2B \sum_{i=1}^n x_i + 2A \sum_{i=1}^n x_i^2 = 0 \\ \frac{\partial}{\partial B} \sum_{i=1}^n (y_i^2 - 2By_i + 2Ax_iy_i - 2ABx_i + A^2x_i^2 + B^2) &= \\ &= -2 \sum_{i=1}^n y_i - 2A \sum_{i=1}^n x_i + 2 \sum_{i=1}^n B = 0 \end{aligned}$$

де n – кількість вихідних значень густини розподілу висот.

Використаємо позначення:

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^n x_iy_i; \quad S_x = \sum_{i=1}^n x_i; \quad S_{x^2} = \sum_{i=1}^n x_i^2; \quad S_y = \sum_{i=1}^n y_i.$$

Для визначення величин A та B складемо систему рівнянь.

$$\begin{cases} S_{x^2} \cdot A - S_x \cdot B = -S_{xy} \\ -S_x \cdot A + n \cdot B = S_y \end{cases} \quad (3)$$

Перепишемо (3) в матричній формі.

$$\begin{pmatrix} S_{x^2} & -S_x \\ -S_x & n \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} A \\ B \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -S_{xy} \\ S_y \end{pmatrix}. \quad (4)$$

Для розв'язання (4) використаємо метод Крамера:

$$A = \frac{S_x S_y - n S_{xy}}{n S_{x^2} - S_x^2}; \quad B = \frac{S_{x^2} S_y - S_x S_{xy}}{n S_{x^2} - S_x^2};$$

$$\alpha = eB; \quad \beta = A.$$

Визначені параметри дозволяють використати (1) як можливий варіант апроксимації реального закону розподілу висот ділянки місцевості. Проте (1) використовується лише на відрізку $[h_{\min}, h_{\max}]$, поза межами якого густина розподілу приймається рівною нулю (5)

$$p_c(h) = \begin{cases} 0, & h < h_{\min} \\ \alpha \cdot e^{-\beta h}, & h_{\min} \leq h \leq h_{\max} \\ 0, & h > h_{\max} \end{cases} \quad (5)$$

У зв'язку з цим параметр α потребує додаткового корегування з метою виконання нормувальної умови для функції густини розподілу (рівність інтегралу цієї функції 1). Для цього в програмі обчислюється інтеграл функції (1) на $[h_{\min}, h_{\max}]$ і обернена до нього величина використовується як додатковий множник для корегування, що забезпечує виконання умови нормування.

Ступінь відповідності кожного закону розподілу реальним даним перевіряється на основі середньоквадратичної помилки. Цей показник обчислюється для кожного закону. Той закон, для якого значення цього показника є мінімальним, визначається як кращий для опису рельєфу даної ділянки.

У програмі передбачено графічне відображення реального розподілу висот та графіків для досліджуваних законів.

Проведені дослідження показали, що у випадку значної вибірки початкових даних (великих розмірів ділянки місцевості) найкращим і для рівнинно-горбкуватої (Білгород-Дністровський ПРИКЗ), і для гірської (Мукачівський ПРИКЗ) місцевості виявився нормальний закон розподілу (рис. 2).

У разі зменшення розмірів досліджуваної ділянки місцевості ситуація для рівнинно-горбкуватої місцевості поступово змінюється. Розподіл висот в окремих випадках все більше віддаляється від нормального (рис. 3).

При подальшому зменшенні ділянки для окремих районів кращими стають інші закони розподілу, зокрема отриманий у результаті апроксимації функцією (5) з урахуванням корегування (рис. 4).

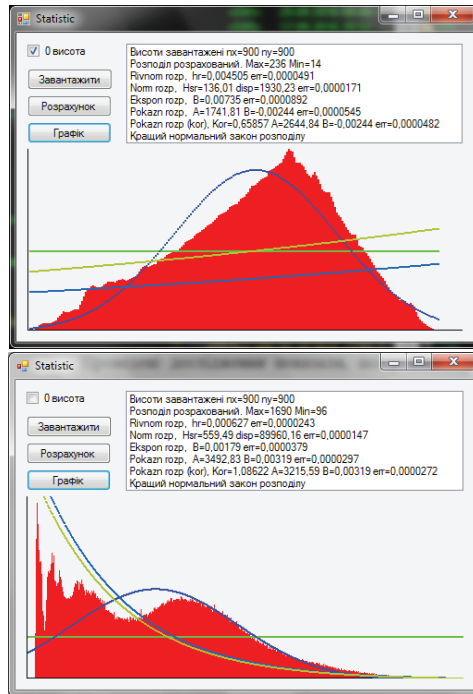


Рис. 2. Головне вікно програми з результатами обробки ділянки Білгород-Дністровського ПРИКЗ (а) і Мукачівського ПРИКЗ (б)

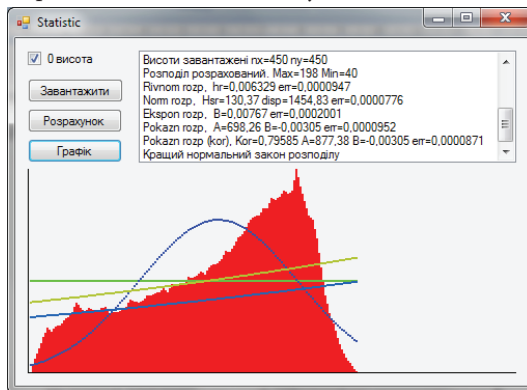


Рис. 3. Розподіл висот частини ділянки місцевості

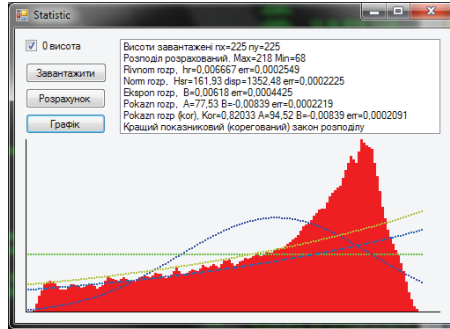


Рис. 4. Розподіли висот невеликих ділянок місцевості

Для гірської місцевості у разі зменшення розмірів ділянок в основному найкращим залишається нормальний закон розподілу і лише в окремих випадках реальний розподіл суттєво відхиляється від нормального (рис. 5).

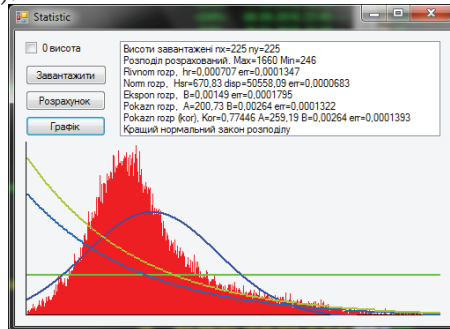


Рис. 5. Розподіли висот невеликих ділянок гірської місцевості

Висновки. Статистичний аналіз рельєфу місцевості в прикордонних районах дозволяє зробити такі висновки:

для достатньо великих ділянок місцевості доцільно використовувати нормальний закон розподілу висот;

з метою вибору кращого закону розподілу для певної ділянки можливо використовувати критерій мінімальності середньоквадратичної помилки;

при апроксимації густини розподілу висот місцевості на відрізок $[h_{\min}, h_{\max}]$ з метою забезпечення виконання умови нормування може знадобитись додаткове коригування;

для вирішення низки ймовірнісних задач до бази даних ГІС ДПСУ доцільно внести шари (для різного розміру ділянок статистичної обробки, які відповідають задачам) із закодованими розподілами та значеннями їх параметрів.

Список використаної літератури

1. Катеринчук І. С. Програмно-технічні комплекси підрозділів охорони кордону : навчальний посібник / І. С. Катеринчук, Д. А. Мул. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2010. – 270 с.

2. Шпорт М. М. Урахування забезпеченості радіозв'язком при побудові раціональних маршрутів у ході вирішення задач оперативно-службової діяльності Державної прикордонної служби України / М. М. Шпорт // Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія : Військові та технічні науки. – Хмельницький : НАДПСУ, 2013. – № 1(59). – С. 312–320.

3. Ямпольский С. М. Статистическая модель прогнозного профиля рельефа местности в задаче выполнения маловысотного полета воздушного судна по цифровой карте высот / С. М. Ямпольский, А. И. Наумов, Е. К. Кичигин и др. // Электронный журнал “Труды Московского авиационного института”. – 2014. – № 76.

4. Syzdykova G. Communication parameters of the static allocation of morphometric characters and geometric elements dismemberment of relief / G. Syzdykova, A. Kurmankozhaev // Austrian Journal of Technical and Natural Sciences. – 2015. – № 11–12. – P. 16–19.

Стаття надійшла до редакції 15.09.2016

Рачок Р. Анализ статистических распределений высот пограничной местности с использованием геоинформационной системы

В статье сформированы подходы к определению законов распределения высот участка местности с использованием геоинформационной системы.

Ключевые слова: геоинформационная система, рельеф, закон распределения высот, функция плотности распределения высот.

Rachok R. **The analysis of statistical distributions of heights in the border terrain with the use the geographic information system**

The informations and telecommunications systems are widely used in Border guard service of Ukraine. The geographic information system (GIS) has important role in these systems. Unfortunately geomodels of border guard is absent, that limits use the geographic information systems to meet the challenges of border protection. In some of these tasks the probabilistic models are used with the statistical description of the heights. These actual tasks of estimation efficiency the functioning radio networks taking into account stochastic nature of basic factors which influence on an information transfer; tasks of construction of rational routes of motion (in particular for subdivisions of the rapid reacting); tasks of estimation of efficiency of functioning and rational use of hardwares of supervision. All of it determine actuality the research of relief of frontier districts with the purpose of determination the laws of distribution the heights. In the article we can see the approaches of determination the distribution of the terrain elevations with the use the geographic information system.

In this work was developed the software (in system of programming of Visual Studio 2008 Express Edition). This software doing statistical analysis of relief and determine the probability density function. In this software after forming the array of the real distribution of heights are conducted the calculations of parameters normal, uniform and exponential probability density function. In addition for determine probability density function is used the approximation.

The degree of accordance of every distribution to the real data is checked up on the basis of mean quadratic error. The conducted researches showed, that in case of considerable count of initial height data (largenesses of terrain), the normal distribution is worked very well. For the enough large areas of locality is expedient to use normal distribution of heights. In some cases, for small areas of relief, the other distributions are suited.

Keywords: *geographic information system, relief, distribution of heights, probability density function.*