

ФІЗИЧНА ГЕОГРАФІЯ

УДК 528.92

Христина БУРШТИНСЬКА

**ВИБІР ІНТЕРВАЛУ ДИСКРЕТИЗАЦІЇ ПРИ ПОБУДОВІ ЦИФРОВОЇ
МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ**

Головним джерелом даних про земну поверхню і надалі залишаються карти, але в останні десять років інтенсивно впроваджуються методи, пов'язані з цифровим представленням земної поверхні та динаміки її змін. Кінець ХХ століття з його величезним за розмахом розвитком інформаційних технологій характеризується кардинальними змінами в інженерній науці та практиці. Тому закономірно, що сучасні методи комп'ютерного опрацювання інформації базуються на створенні цифрових моделей рельєфу (ЦМР), які слугують основою для ГІС і є пріоритетними для вирішення цілої низки наукових та народногосподарських завдань. Наприклад, інтерактивні методи проектування інженерних споруд, аналіз просторових даних, управління територіями вимагають подання інформації про місцевість в цифровій формі. В більшості задач власне ЦМР є незамінною формою подання інформації про Землю або її частин від глобального до субрегіонального рівнів.

Основні сфери застосування цифрових моделей пов'язані з визначенням та побудовою ізоліній (в топографії – горизонталей), побудовою профілів, визначенням вододілів та ліній стоку, вибором оптимальних трас доріг, каналів, меліоративних мереж, інших лінійних об'єктів, виділенням басейнів водозборів, визначенням обсягів земляних робіт, об'ємів вийнятих порід. Зростає кількість робіт, кінцевою метою яких стає отримання даних про зсувні, ерозійні та деформаційні процеси. До окремої групи робіт, пов'язаних з рельєфом, належить визначення площ затоплених та підтоплюваних земель, що є сферою гідрологічних досліджень. Ця проблема стала актуальною для нашої держави з різних причин, зокрема через екологічні та кліматичні катаклізми, а також у зв'язку із приватизацією землі в Україні, проведенням кадастру земель, організацією та дією страхувально-економічних компаній та фірм.

З 1997р. в Україні почала діяти Програма створення автоматизованої системи ведення земельного кадастру, затверджена постановою Кабінету Міністрів України від 2 грудня 1997р. Створення Програми заплановано завершити у 2007р. В ній вказано, що створення державного земельного кадастру забезпечується проведенням топографо-геодезичних, картографічних, ґрунтових та інших обстежень та розвідувань. Постановами Кабінету Міністрів України від 1998 та 2003 рр. було затверджено Програми топографо-геодезичного та картографічного забезпечення України, спрямовані на покращення забезпечення потреб суспільства у сучасній топографо-геодезичній та картографічній продукції. Принципова зміна технологій отримання картографічної продукції пов'язана з цифровими методами створення та видання карт, оновлення їх на основі аерокосмічного знімання. Впровадження ГІС стримується відсутністю цифрових топографічних карт, значними витратами на цифрування карт, недостатнім врахуванням всіх чинників, які забезпечують точність моделювання.

Зокрема, в Україні створюються ЦМР як додаток до Державних електронних карт масштабів 1:500000 і 1:200000, а також для окремих територій України за топографічними картами масштабу 1:50000.

Цифрову модель рельєфу будують за попередньо отриманою вихідною інформацією або безпосередньо у растровій формі, або до растрової моделі переходять від інших форм моделей. Одним з основних чинників, які визначають точність створення ЦМР, є інтервал дискретизації моделі. Від нього суттєво залежить адекватність передавання структурних особливостей рельєфу.

Вибір інтервалу дискретизації здійснюється на основі кореляційно-спектрального

аналізу. Теоретичні засади кореляційно-спектрального аналізу подано в [2, 8], практичні спроби застосувати частотні характеристики для аналізу помилок фотограмметричних побудов та визначення оптимального інтервалу дискретизації в побудові ЦМР в [4, 7, 10, 11].

Однак, суверенним залишається питання вибору оптимального інтервалу дискретизації ЦМР для різних типів рельєфу, а це з одного боку, за малих інтервалів пов'язане із розмірами інформаційних масивів, а з іншого – за збільшених інтервалів дискретизації із втратою морфологічних деталей рельєфу [1].

В задачу дослідження входить розглянути точність побудови ЦМР для різних типів рельєфу, керуючись таким вихідним чинником як інтервал дискретизації та запропонувати оптимальний інтервал дискретизації моделі.

Відповідно до теореми Шеннона [12] будь-яка неперервна функція $f(x)$ з обмеженим спектром, задана на проміжку $[0, x]$, може бути відтворена за дискретними значеннями функції, вибраними через відповідний інтервал дискретизації. З величиною інтервалу пов'язана точність відтворення форм рельєфу.

Якщо вважати після вилучення тренду рельєф випадковою функцією, то статистичні характеристики цієї функції описуються коваріаційною функцією. Для описання частотної структури служить енергетичний спектр.

Тіснота зв'язку між коливаннями рельєфу впливає на кількість точок, які задають функцію, – із збільшенням тісноти зв'язку число точок можна зменшити, і навпаки.

Важливою характеристикою стаціонарного випадкового процесу є енергетичний спектр $S(W)$. Енергетичний спектр і коваріаційна функція процесу зв'язані парою перетворення Фур'є [9] (теорема Хінчина-Вінера).

$$C(\tau) = \frac{1}{2} \int_{-\infty}^{\infty} S(W) e^{iW\tau} dW, \quad (1)$$

$$S(W) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} C(\tau) e^{-iW\tau} d\tau. \quad (2)$$

За $\tau = 0$ із (2) знаходимо: $\int_0^{\infty} S(W) dW = C(0)$, тобто площа між кривою енергетичного спектру і віссю абсцис дорівнює середньому квадрату $c^2(\tau)$ або середній потужності стаціонарного випадкового процесу.

Таким чином із (1) і (2) запишемо основні формули теорії спектрів, які використовують у практичній реалізації:

$$C(\tau) = \int_0^{\infty} S(w) \cos \tau W dW, \quad (3)$$

$$S(W) = \frac{2}{\pi} \int_0^{\infty} C(\tau) \cos W \tau d\tau, \quad (4)$$

де $C(\tau)$ – коваріаційна функція; $S(W)$ – енергетичний спектр; W – кутова частота.

Функції $C(\tau)$ і $S(W)$ є перетворенням Фур'є одна для одної.

Використовуючи теорему вибірки, рельєф місцевості можна відобразити з потрібною точністю в тому випадку, якщо цільні точки будуть розташовані через інтервал:

$$\tau_0 = \frac{1}{2f_c}, \quad (5)$$

де f_c – гранична частота; $\frac{1}{2f_c}$ – найменший період в реалізації.

Гранична частота f_c зв'язана з граничною кутовою частотою W_c залежністю:

$$W_c = 2\pi f_c, \quad (6)$$

тоді оптимальний інтервал записується:

$$\tau_0 = \frac{\pi}{W_c}, \quad (7)$$

Для рельєфу малі коливання відповідають високим частотам, тому можна задатись гранично малим значенням амплітуди помилок і знайти значення спектру S_c [6]:

$$S_c = \Delta N \tau, \quad (8)$$

де Δ – допустимо мала амплітуда помилки; N – кількість точок; τ – інтервал між точками.

Задаючись допуском значенням спектру, знаходять граничну частоту W_c , а за формулою (7) оптимальний інтервал між точками. Експериментальні роботи пошуку оптимального інтервалу виконані на ділянках для трьох типів рельєфу, вибраних на картах.

За класифікацією типів рельєфу, наведеною в [3], до I типу належить простіший рельєф рівнинного характеру, згладженими формами з кількістю орографічних ліній $r = 10$, максимальний кут нахилу – 5° ; до II типу – горбистий, пересічений значною кількістю дощовин, кількість орографічних ліній $10 < r \leq 20$, α до 20° ; до III типу – передгірський та гірський рельєф із значними кутами нахилів до $40-50^\circ$, кількість орографічних ліній $r > 20$, до IV типу автор відносить штучні поверхні.

Сканування горизонталей, як вихідної інформації для побудови ЦМР, виконано з кроком в середньому 0,5-1 мм із включенням в інформаційний масив всіх точок на згинах ізоліній. В окремий файл занесена інформація про характерні точки рельєфу і додаткові точки в рівнинних ділянках карти.

Побудову регулярної ЦМР здійснено методом Крайгінга із вибором для розв'язку 2-4 точок, розташованих за квадрантом, з використанням пакету Surfer 6 [5]. 3-D моделі ділянок для трьох типів рельєфу показано на рис. 1.

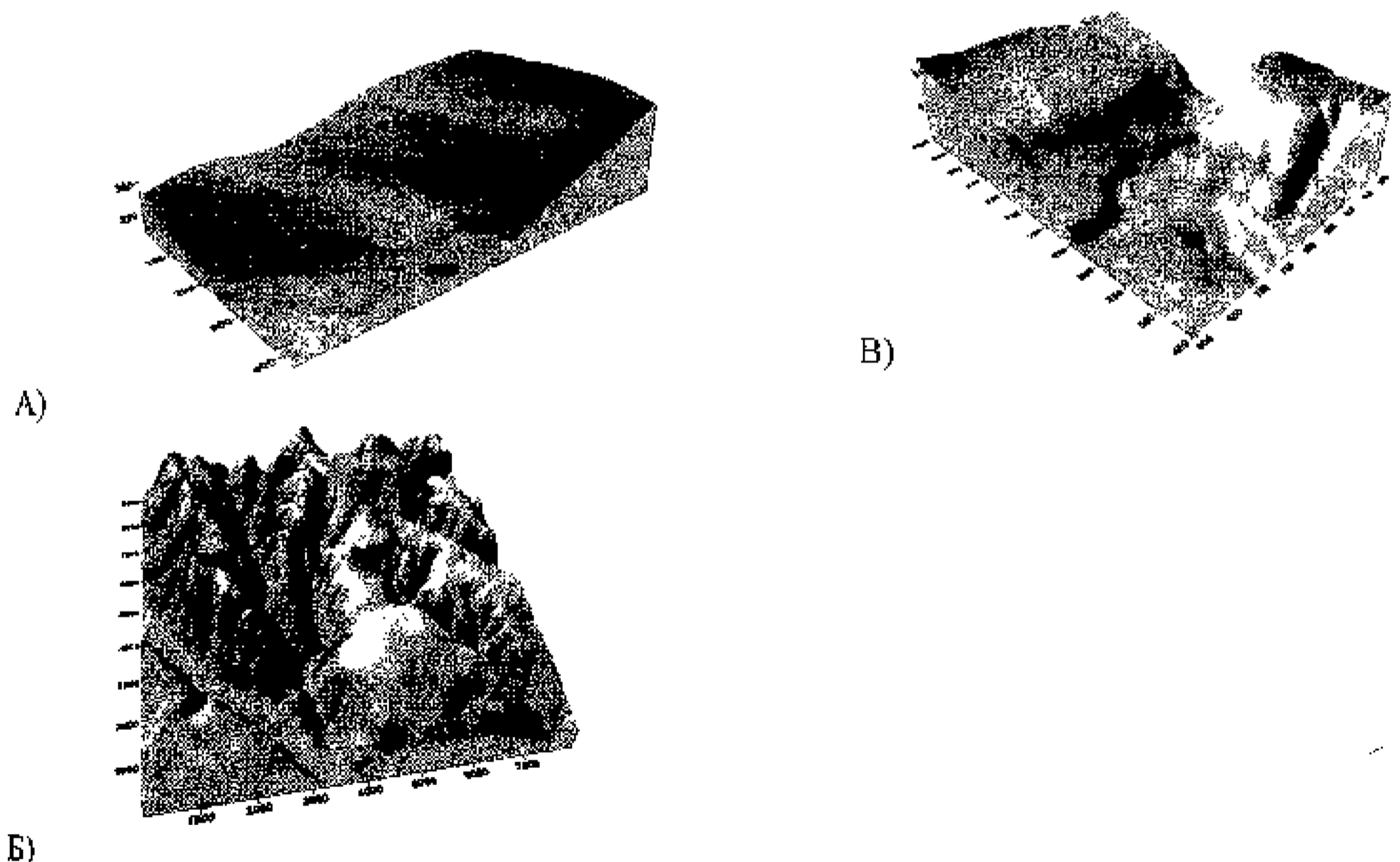


Рис. 1. 3-D моделі для різних типів рельєфу: а) перший тип, б) другий тип, в) третій тип рельєфу

Графіки варіограм та спектрів подано на рис. 2.

Методику побудови варіограм розглянуто в [5]. По осі абсцис відкладемо значення відстаней між точками сітки, по осі ординат – напівдисперсії $\gamma(\tau)$.

відстаней між точками сітки, по осі ординат – напівдисперсії $\gamma(\tau)$.

Допустимий спектр амплітуд S_c розраховано за методикою, наведеною в [6, 7]. Для ділянки I: $\tau_0 = 3$ мм; для ділянки II: $\tau_0 = 1$ мм; для ділянки III: $\tau_0 = 0,5$ мм.

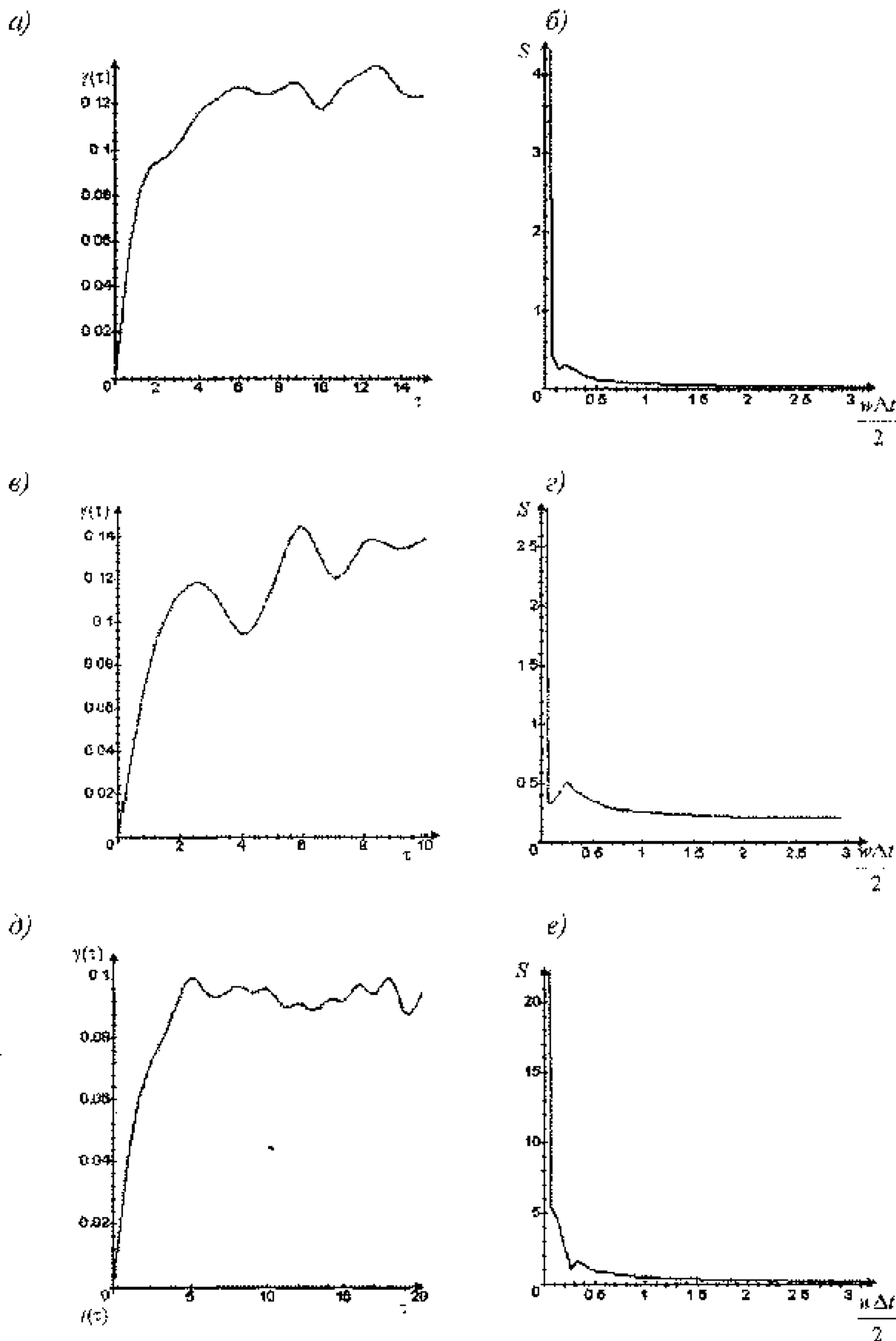
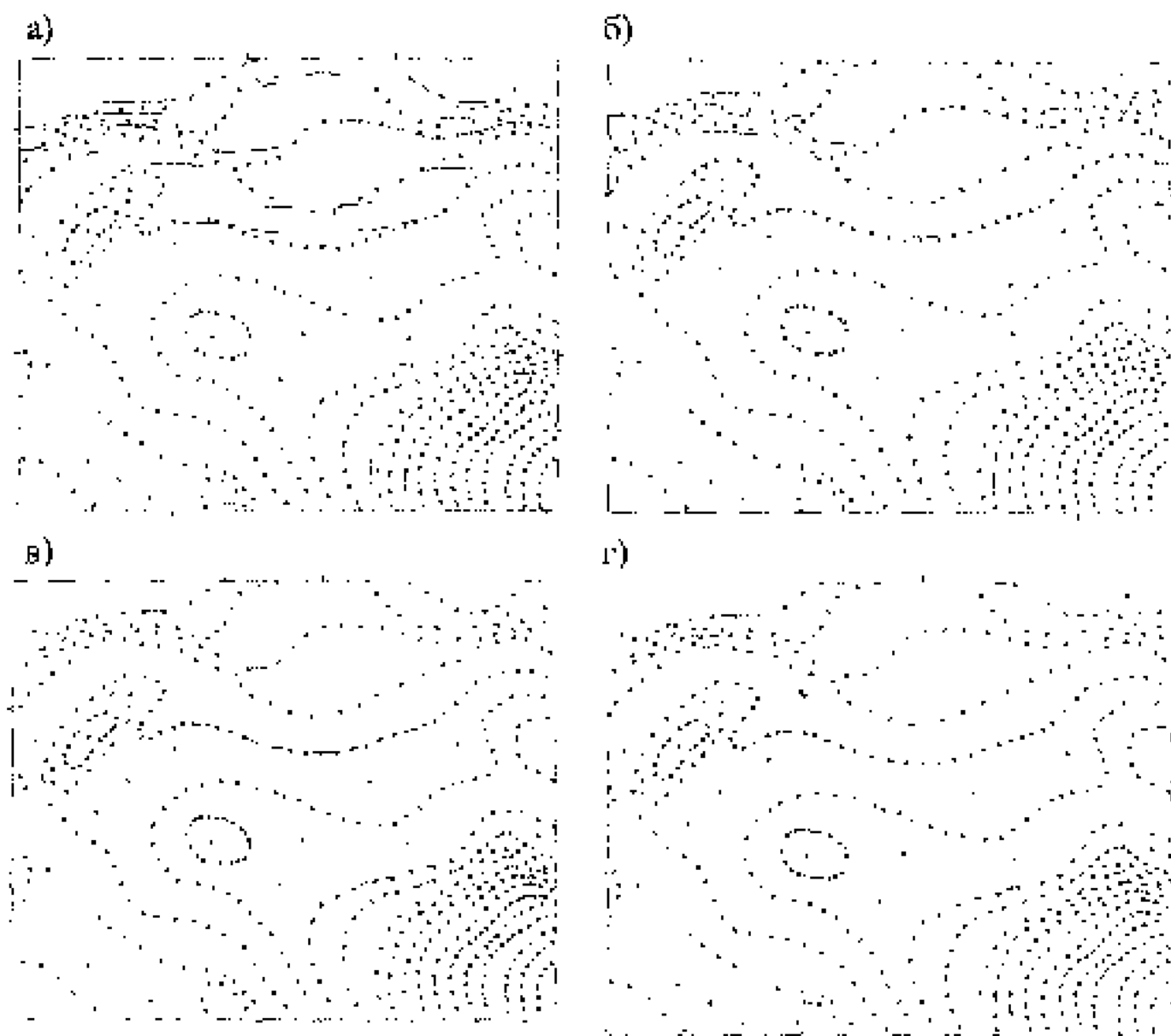


Рис. 2. Графіки варіограм та спектрів

Вибір інтервалу дискретизації, тобто розміру сітки, визначає передавання морфологічних особливостей рельєфу, а за їх неточного відтворення залишкові помилки проведення ізоліній. Тому порівнюємо тестові та побудовані за ЦМР ізолінії.

На рис. 3 показано вибіркові вікна для ділянки II з тестовими ізолініями (представлені точками) і ізолініями, проведеними за ЦМР. Для порівняння впливу інтервалу на точність моделювання побудову ЦМР здійснено з інтервалом дискретизації 5 мм, 3 мм, 1 мм, 0,5 мм.



**Рис. 3. Вікна із заданими та побудованими за ЦМР ізолініями:
а) інтервал дискретизації 5 мм; б) 3 мм; в) 1 мм; г) 0,5 мм**

Як видно із рис. 3, вибір інтервалу дискретизації суттєво впливає на точність відтворення моделі. За інтервалу 5 мм та 3 мм спостерігаються значні відхилення тестових ізоліній з побудованими, частина форм рельєфу згладжується. Додаткова інформація у вигляді характерних точок не дозволяє провести ізолінії з потрібною точністю.

Інтервал дискретизації 1 мм дозволяє надійно провести ізолінії на схилах, в рівнинних ділянках і тільки складні дрібні мікроформи або сильно витягнуті лощовини не відтворюються точно.

Зменшення інтервалу дискретизації до 0,5 мм майже не змінює попередньої картини, але дозволяє надійніше відтворювати дуже дрібні форми рельєфу (вузькі лощовини, сідловини).

В цілому про точність моделювання за вибраними параметрами всієї ділянки можна судити із розподілу відхилень в різних місцях моделі. На рис. 4 показано 3D модель розходжень, які подано в умовній системі. Як видно з рисунка, мінімальні відхилення спостерігаємо для пологого схилу, максимальні – у місцях складних форм рельєфу. Зменшити помилки побудови ЦМР можна, використавши в місцях складних форм рельєфу додаткову інформацію.

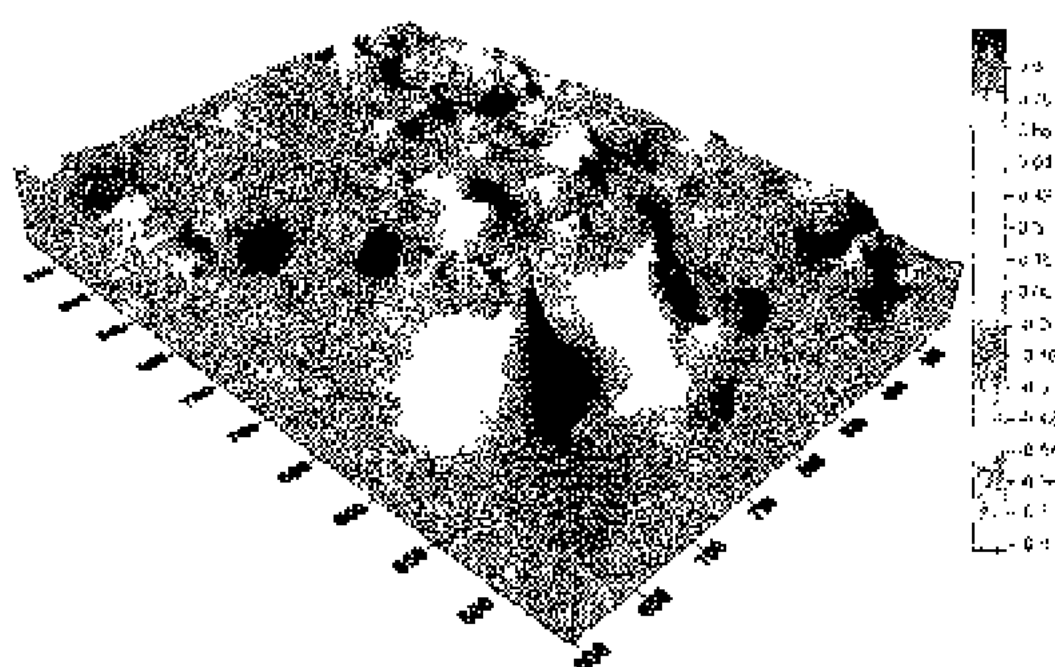


Рис. 4. 3D модель розходжень між вихідними та відтвореними за ЦМР ізолініями

Результати впливу інтервалу дискретизації на точність побудови ЦМР для I і III типу рельєфу ідентичні, тобто при побудові ЦМР необхідно користуватися оптимальним інтервалом дискретизації моделі.

Виходячи з вищесказаного можна зробити наступні висновки:

1. Інтервал дискретизації моделі суттєво впливає на точність побудови цифрових моделей рельєфу.
2. Для вибору оптимального інтервалу необхідно виконувати кореляційно-спектральний аналіз рельєфу земної поверхні.
3. Запропоновану методика можна використати для різних типів рельєфу.

Література:

4. Ананьев С.М., Моїсєєнко О.О. Цифрові моделі рельєфу як засоби опису структури земної поверхні. // Геоінформатика. – 2002. – № 2 – С. 44-48.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Измерение и анализ случайных процессов / Пер. с англ. – М.: Изд. "Мир", 1971. – 408 с.
6. Бойко А.В. Методы и средства автоматизации топографических съемок. – М.: Недра, 1980. – 222 с.
7. Бурштинская Х.В., Рудый Р.М. К анализу погрешностей пространственной маршрутной фототриангуляции // Геодезия, картография и аэрофотосъемка. – 1981. – № 33. – С. 111-114.
8. Бурштинська Х.В. Порівняльний аналіз побудови цифрових моделей рельєфу з використанням апроксимаційних функцій // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2001. – вил. 61. – С. 137-148.
9. Иванов А.И. Основы теории точности измерительных устройств. – М.: Изд. стандартов. – 1972. – 212 с.
10. Рудый Р.М. Методи дослідження рельєфу земної поверхні: Дис... д-ра техн. наук: 05.24.02. – Івано-Франківськ, 1999. – 375 с.
11. Свешников А.А. Прикладные методы теории случайных функций. – М.: Главн. ред. физ.-матем. лит. Изд. "Наука", 1968. – 463 с.
12. Серкерев С.А. Корреляционные методы анализа в гравиразведке и магниторазведке. – М.: Недра, 1986. – 247 с.
13. Burshtynska Kh., Tumska O., Lelukh D. Computer Technology of Determination of Area of Digital Elevation Model // 19th ISPRS Congress. Vol. XXXIII Work. Gr IV. – Amsterdam. – 2000. – P. 148-154.
14. Ionescu J. On the technique for terrain roughness determination // Int. Arch. of Photogramm. and Rem. Sens. Vol. XXXI, P. B3. – Vienna. – 1996. – P. 343-348.
15. Pavlidis T. Algorithms for graphics and image processing. – Computer Science Press. – 1982. – 400 p.

Summary:

Khrystyna Burshtynska. SAMPLING INTERVAL SELECTION FOR DIGITAL ELEVATION MODELING.

There is considered theoretical principles of optimal DEM sampling interval selection on the base of elevation correlative-spectral analysis and experimental researches for three main elevation types were done.

It is shown that sampling interval selection for model essentially effects on DEM construction accuracy. The optimal values of sampling interval for three main elevation types are given.