

ФОТОГРАММЕТРІЯ

УДК 528.72/73

¹ТУМСЬКА О.В., ¹ПРОЦІК М.Т., ²ЯНЧАК В.Я.¹Національний університет "Львівська політехніка"²Львівський національний університет ім. Івана Франка

ДОСЛІДЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОЇ ПОБУДОВИ ЦИФРОВОЇ МОДЕЛІ РЕЛЬЄФУ VLL-МЕТОДОМ ЗА МАТЕРІАЛАМИ АЕРОФОТОЗНІМАННЯ

© Тумська О.В., Процик М.Т., Янчак В.Я., 2004

Рассмотрены вопросы выбора корректного набора параметров при автоматическом построении регулярной цифровой модели рельефа VLL-методом (Vertical Line Locus) на основе алгоритма корреляционной идентификации соответственных точек стереопары. Установлены основные параметры, влияющие на количество распознанных точек и точность построения ЦМР: пороговое значение коэффициента корреляции, размер окна поиска, шаг сетки, значение локального угла наклона местности. Исследования выполнены по стереопарам аэрофотоснимков для различных типов участков сельскохозяйственной местности с использованием разработанного программного обеспечения.

Результаты эксперимента приведены.

The article reviews ways to select correct parameter set for automatic construction of regular DEM using the VLL (Vertical Line Locus) based on the correlation algorithm of matching stereo pair point identification. The parameters impacting a number of successfully correlated points and accuracy of DEM construction are considered: a threshold value of correlation coefficient, a search window size, a grid spacing and relief slope angles. The aerial image stereo pairs for rural areas with different landscape types were studied using software developed by authors. The empirical results are included in the article.

Постановка проблеми. Автоматична побудова цифрової моделі рельєфу (ЦМР) за аерофотозображенням – це складна задача, яка привертає увагу дослідників у галузі обробки зображень і фотограмметрії. Один з ефективних методів побудови регулярної ЦМР є алгоритм VLL (Vertical Line Locus) [1], суть якого полягає у застосуванні кореляції для пошуку ідентичних точок на лівому та правому зображеннях. Процес побудови ЦМР регулюється набором параметрів, які забезпечують умови відтворення рельєфу: правильно визначена множина параметрів забезпечує точність побудови ЦМР, навпаки, множина некоректних параметрів стає причиною фільтрації якісних точок або включення слабо корельованих точок, або знаходження помилково корельованих точок [2]. Для отримання максимальної ефективності алгоритму параметри повинні бути задані користувачем з врахуванням різної якості вхідних даних і різних типів місцевості.

З'язок з науковими та практичними завданнями. Загальна риса багатьох цифрових систем з автоматичним генеруванням ЦМР визначає наявність набору параметрів, які надають користувачеві можливість керувати процесом побудови ЦМР. У багатьох сучасних програмних продуктах з автоматичним генеруванням ЦМР використовують від 2 до 28 параметрів [2]. Задача вибору множини взаємопов'язаних параметрів стає необхідною для побудови ЦМР, особливо коли методами цифрової фотограмметрії користуються фахівці з інших галузей. Дослідження впливу параметрів на процес цифрового моделювання рельєфу є основою створення власних програмних продуктів генерування ЦМР.

Аналіз досліджень та публікацій. Основні параметри залежать від висоти знімання, радіометричних даних, рівня шуму зображення, типу місцевості, локальних кутів нахилу [3]. Задача автоматичної побудови ЦМР значно ускладнюються на ділянках з незначним інформаційним навантаженням, періодично або однорідно текстурою, на забудованих міських територіях та ін. У таких випадках більшість методів ототожнення не спрацьовує, при цьому навіть успішне ототожнення точок не завжди супроводжує поліпшення точності ЦМР [4].

Дослідження, подані у [5] показали, що зміна параметрів дає мінімальний ефект на ділянках, придатних для алгоритмів ототожнення, і значний ефект в ділянках протилежного типу. Отже, якісні точки не дуже чутливі до змін параметрів. Задача оптимізації параметрів є складною, тому що кожна модель повинна потім перевірятись ручним способом, навіть якщо така перевірка можлива, знайти оптимальний набір параметрів важко.

Мета даних досліджень полягає у встановлені множини основних параметрів, що впливають на точність автоматичної побудови ЦМР фотограмметричним способом з використанням VLL-методу.

Виклад основного матеріалу дослідження.

1. Технологічні аспекти побудови ЦМР

ЦМР створюється шляхом опрацювання відсканованих стереопар аерофотознімків із заданим набором опорних точок. Процес побудови ЦМР включає основні етапи, наведені у технологічній схемі на рис.1.



Рис. 1. Технологічна схема автоматизованої побудови регулярної ЦМР

2. Алгоритм VLL-методу

Обчислення висот у вузлах сітки виконується методом VLL, для визначення основних вхідних параметрів розглянемо детальніше алгоритм методу.

Початкову точку регулярної сітки вибираємо поблизу опорної точки. Через початкову точку P з координатами (X, Y) на місцевості проводимо вертикальну пряму, вздовж якої визначаємо рівновіддалені точки $P_j(X, Y, Z_j)$ з кроком $\pm \Delta Z$ по обидві сторони від точки Z_{0j} , за яку приймається висота найближчої опорної точки.

Для кожної точки розбиття $P_j(X, Y, Z_j)$ за рівняннями колінеарності визначаються координати $(x, y)_{j,n}$ ідентичних точок на лівому та правому знімках, які служать центрами вікон розміром ($m \times m$) пікселів, які в подальшому називаємо пошуковими. Для кожної пари відповідних вікон обчислюємо коефіцієнт кореляції між рівнями сірого тону. Значення Z_j , яке відповідає максимальному значенню кореляції, вважається новим наближенним значенням висоти Z_{02} .

Така ж кількість точок розбиття на відстані $\Delta Z / 2$ центриться з нового наближеного значення висоти Z_{02} . Ітеративний процес закінчується, якщо відстань між точками розбиття вертикалі становить меншою ніж перед заданої точності визначення висоти δh . Останнє значення Z_{0k} вважається висотою точки з координатами (X, Y) .

Позначимо найбільше абсолютне значення коефіцієнта кореляції з останньої ітерації як r_{\max} . Координати вузла сітки (X, Y, Z) , для якого значення r_{\max} більше порогового значення, записуються у файл, точка відображується на екрані монітора чорною позначкою; точка, для якої остання умова не виконується, позначається білим кольором і не записується у файл.

Далі переходимо до наступного вузла сітки, причому за початкову висоту приймається знайдена висота попередньої точки.

Отже, для реалізації методу VLL необхідно визначити ряд взаємозв'язаних параметрів, від яких залежить якість побудови ЦМР, а саме:

- величину порогового значення для оцінки коефіцієнта кореляції;
- розмір вікна пошуку, за яким обчислюється значення коефіцієнта кореляції;
- значення початкового кроку ΔZ розбиття вертикалі;
- крок регулярної сітки.

3. Визначення порогового значення коефіцієнта кореляції

Основним параметром є порогове значення для оцінки рівня значимості коефіцієнта кореляції, за яким відфільтровуються точки. За пороговим значенням кореляції 0.6 або 0.7, прийнятим в роботах [2,6], значна кількість знайдених якісних точок відбраковується особливо в ділянках з незначними змінами рівнів сірого тону, що підтверджено нашими експериментальними роботами. Для знаходження оптимального порогового значення коефіцієнта кореляції використаємо метод перевірки статистичної гіпотези про значимість коефіцієнта кореляції [7]. За критерій вибирається така випадкова величина

$$T = r \sqrt{n - 2} / \sqrt{1 - r^2},$$

де r - коефіцієнт кореляції, n - кількість точок у пошуковому вікні.

Якщо величина $|T| > t_{kr}$, де t_{kr} - критичне значення розподілу Стьюдента, то коефіцієнт кореляції значимий, тобто між рівнями сірого тону відповідних вікон існує кореляційний зв'язок. У протилежному випадку вважається, що кореляційного зв'язку немає. Значення t_{kr} вибираємо при значимості $\alpha = 0.001$ (тобто ймовірність помилкового висновку дорівнює 0.001). Порогове значення коефіцієнта кореляції R_c отримуємо з рівності $|T| = t_{kr}$

$$R_c = \frac{t_{kr}}{\sqrt{n - 2 + t_{kr}^2}}. \quad (1)$$

З наведеної формули видно, що порогове значення прямує до нуля, якщо n прямує до безмежності. Тому при достатньо великих n немає статистичного сенсу брати порогове значення 0.6-0.7. Для деяких типів зображення місцевості (наприклад, структури з геометричним чергуванням) коефіцієнт кореляції між рівнями сірого тону може бути значимим і за невідповідних точках стереопарі.

4. Експериментальні дослідження

Для проведення досліджень за наведеною технологією написана програма на мові Delphi в середовищі візуального програмування Borland Delphi 6.0. Для візуалізації ЦМР використано пакет "Surfer" (фірма Golden Software).

Експериментальні дослідження впливу визначених параметрів на побудову ЦМР здійснено на трьох стереопарах аерофотознімків, отриманих АФА-ТЭС, фокусна віддалі 100мм з сіткою хрестиків з кроком 1см. Масштаб знімків 1:8000. На знімках відображена місцевість сільськогосподарського призначення, характер рельєфу горбистий з перепадом висот до 100м.

Сканування знімків виконано на фотограмметричному сканері "Дельта-2" (виробник – фірма "Геосистема", м. Вінниця) з роздільною здатністю 1200 дрі при 256 рівнях сірого тону. Для експерименту використані зображення, агреговані до другого рівня піраміди. (Роздільна здатність - 600 дрі, розмір пікселя - 42,33 мкм, що дає просторове розрізнення зображення - 0,34 м/піксел). Дослідження проведено для трьох ділянок різних стереопар: на ділянці 1 (рис.1а) зображена досить однорідна за структурою місцевість (рілля пересічена дорогами); ділянка 2 (рис.1г) характерна наявністю мозаїчних структур з різкими перепадами яскравості (городи) та структурами з геометричним чергуванням (копиці сіна); ділянка 3 (рис.1ж) містить еродовані землі, які відрізняються характерним чітким рисунком.

Вплив порогового значення коефіцієнта кореляції на результати розпізнавання ідентичних точок при моделюванні рельєфу VLL-методом для ділянок 1-3 представлено для двох варіантів на рис. 2. Чорні позначки відповідають точкам, визначенім за пороговим критерієм, а білі позначки – точкам, для яких кореляційна умова менша від порогового критерію. (Комірка сітки ЦМР становить (10×10) м², розмір вікна пошуку 85x85 пікселів). У *першому варіанті* (рис. 2 б,д,з), порогове значення коефіцієнта кореляції R_c визначено за формулою (1). Розпізнані точки покривають значну суцільну територію, а не розпізнані – розкидані і займають незначну площину. У *другому варіанті* (рис. 2 в,е,і) порогове значення коефіцієнта кореляції дорівнює 0.6, розпізнані точки розташовані біля контурної частини знімка (доріг, меж угідь та лісових масивів) на еродованих ділянках, а нерозпізнані точки покривають значну площину ділянок з слабо вираженою текстурою.

Значною мірою ефективність роботи алгоритму ототожнення ідентичних точок залежить від розміру вікна пошуку, який пов'язаний переважно зі статистичними та шумовими характеристиками зображення [3,8]. В таблиці 1 подано результати кількості розпізнаних точок при $r_{max} \geq R_c$ для трьох вибраних ділянок (кут нахилу 4°). Найкращий результат отримано для пошукового вікна (85x85) пікселів.

Отже, із збільшенням розмірів пошукового вікна кількість успішно розпізнаних вузлів сітки зростає. Однак у випадку складної геометричної структури (ділянка 2) залишається значна кількість точок, для яких алгоритм кореляційного ототожнення не спрацьовує. Слід зауважити, що в методі VLL не вибирають заздалегідь точки з країнами кореляційними умовами (контурні точки, геометричні примітиви такі як прямі лінії, кола, кути та інше), для яких значно менший розмір вікна пошуку дає позитивні результати розпізнавання ідентичних точок [9].

Таблиця 1

Залежність кількості розпізнаних вузлів від розміру пошукового вікна

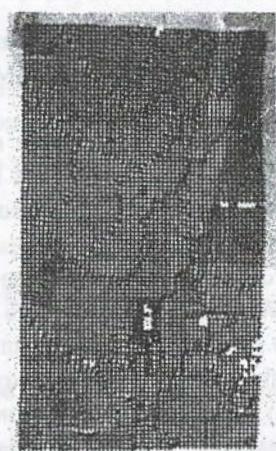
Розмір пошукового вікна у пікселях.	Ділянка 1 Розмір сітки (101x59), $r_{max} \geq R_c$, n та (%)	Ділянка 2 Розмір сітки (108x58), $r_{max} \geq R_c$, n та (%)	Ділянка 3 Розмір сітки (109x62), $r_{max} \geq R_c$, n та (%)
25x25	3902 (65.5)	3679 (58.73)	5001 (74.00)
45x45	5730 (96.2)	5419 (86.51)	6353 (94.01)
65x65	5885 (98.8)	4988 (79.63)	6281 (92.94)
85x85	5907 (99.1)	5910 (94.35)	6659 (98.54)

Оцінку точності створеної ЦМР здійснено для ділянки 1 з використанням контрольної сітки висот, побудованої стереофотограмметричним способом на цифровій фотограмметричній станції "Дельта" (фірма "Геосистема", м. Вінниця). Контрольна сітка висот містила 252 точки, комірка сітки становила (50×50) м², планові координати початкової вершини сітки збігались з вузлом сітки, відтвореної за VLL-методом. (Побудову контрольної сітки висот виконала студентка Стефанишин К.М., кафедра фотограмметрії та геоінформатики Львівської політехніки).

Ділянка 1



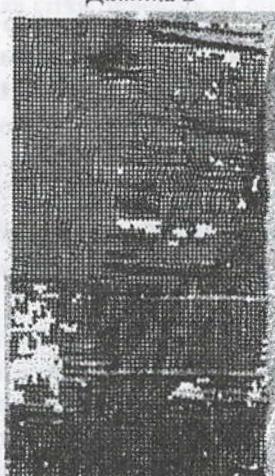
а)

б)
Ділянка 2

в)



г)



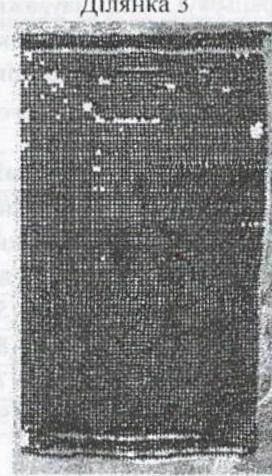
д)



е)



ж)



з)



и)

Рис. 2. Вплив порогового значення коефіцієнта кореляції на результати розпізнавання:
 а, г, ж – загальний вигляд ділянок; б, д, з – розподіл розпізнаних точок при пороговому значенні
 R_c ; б, е, і - розподіл розпізнаних точок при пороговому значенні 0.6. Чорні позначки розпізнані
 точки, білі – не розпізнані

Таблиця 2

Порівняння ЦМР, побудованої на ЦФС “Дельта” з моделями рельєфу, побудованих VLL-методом, для значимого кореляційного порогу та заданого значення 0.6
(Ділянка 1)

Розмір пошукового вікна		Кількість розпізнаних точок ЦМР (через 10м)		Кількість розпізнаних контрольних точок ЦМР (через 50м)		Середнє квадратичне значення похибок висоти (м)		Максимальне абсолютне значення похибок висоти (м)	
Зображення (піксели)	Місцевість (m^2)	$r_{max} \geq R_c$ п та %	$r_{max} \geq 0.6$ п та %	$r_{max} \geq R_c$ п та %	$r_{max} \geq 0.6$ п та %	$r_{max} \geq R_c$	$r_{max} \geq 0.6$	$r_{max} \geq R_c$	$r_{max} \geq 0.6$
25x25	8.5x8.5	3902 (65.5)	491 (8.2)	169 (67.1)	18 (7.1)	10.96	3.17	48.14	10.99
45x45	15.2x15.2	5730 (96.2)	846 (14.2)	240 (95.2)	40 (15.9)	1.48	1.58	11.28	5.45
65x65	22.0x22.0	5885 (98.8)	1036 (17.4)	248 (98.4)	45 (17.9)	1.38	1.90	8.47	8.47
85x85	28.8x28.8	5907 (99.1)	1179 (19.8)	249 (98.8)	52 (20.6)	1.21	1.64	7.06	7.06
85x85	28.8x28.8	-	-	248 (98.4)	50 (19.8)	12.34	3.86	87.45	24.70

За VLL-методом автоматично будувалась регулярна ЦМР з коміркою сітки $(10 \times 10)m^2$, яка містила 5959 точок, а потім із неї вибиралися висоти точок через 50 м і порівнювались з висотами контрольної сітки. Оскільки, у методі VLL висота послідовно передається від точки до точки з наступним її ітераційним уточненням, то сусідні точки повинні бути близько розташовані одна від одної. Звідси зрозуміло, що модель побудована з кроком 50м буде мати гіршу точність, ніж модель побудована з кроком 10м, що і показали проведені експерименти.

Порівняння ЦМР виконувалось для різних розмірів пошукового вікна та для двох випадків порогових значень коефіцієнтів кореляції. Отримані результати, наведені у таблиці 2, показують, що найкращий результат розпізнавання 99.1% та мінімальна середня квадратична похибка висоти 1.21 м (для $r_{max} \geq R_c$) досягається за пошуковим вікном розміром (85x85) пікселів. Зі збільшенням розмірів пошукового вікна зростає і точність побудови ЦМР, причому для ділянок з незначною зміною сірого тону (наприклад, рілля) розмір вікна пошуку відіграє вирішальну роль для підвищення точності.

В останньому рядку таблиці 2 наведено результат, отриманий для моделі, побудованої VLL-методом, з розміром комірки $(50 \times 50)m^2$ за тих самих параметрів, для яких був отриманий найкращий результат (передостанній рядок таблиці). Як бачимо, збільшення кроку сітки призводить до значного зростання середньої квадратичної похибки (в 10.2 рази для $r_{max} \geq R_c$ та в 2.4 рази для $r_{max} \geq 0.6$).

Діаграма (рис.3) показує розподілення похибок висоти за інтервалами для найкращого варіанта із таблиці 2. Частини стовпців темних показують кількість вузлів для $r_{max} \geq 0.6$, а світлих – для $0.6 > r_{max} \geq R_c$. У першому і другому випадках найбільша кількість точок потрапляє в інтервал з похибками висоти ± 0.5 м. Отже, якщо $r_{max} \geq 0.6$, то значна кількість якісних точок (світла частина стовпця) відфільтровується.

Розташування точок, в інтервалі з похибками висот більших ніж 2.5м показано цифрами 1– 8 на рис. 4. Похиби висот на точках: 1 – 4.64м, 2 – 4.55м, 3 – -7.06м, 4 – -3.33м, 6 – 3.68м, 7 – 3.12м, 8 – 3.92м. Точки 1 і 5 розташовані біля зображення хрестиків сітки АФА і навколо них виникли фальшиві ізолінії див. рис. 4б. Точки 2, 3 і 4 розташовані в межах лісових масивів. Причиною виникнення значних похибок на інших точках можуть бути дефекти знімка. На рис.4б нанесені вузли контрольної сітки з кроком 50м. Точки позначають вузли, в яких похибка висот знаходиться в межах в ± 1.5 м, а кола відповідають похибкам у діапазоні від 1.5м до 2.5м.



Рис. 3. Розподілення похибок висоти за інтервалами

Крок сітки і характер рельєфу місцевості впливає на початковий крок Δz вертикального розбиття. За сталої значення Δz (наприклад, $\Delta z=2\text{м}$ [6]), $n=9$ (число точок вертикального розбиття) відповідна множина точок на знімку може бути значно віддалена від визначуваної точки, що призводить до помилкового кореляційного ототожнення особливо для зображень місцевості з однорідною або періодичною структурою, де велика ймовірність знаходження навколо інших подібних ділянок.

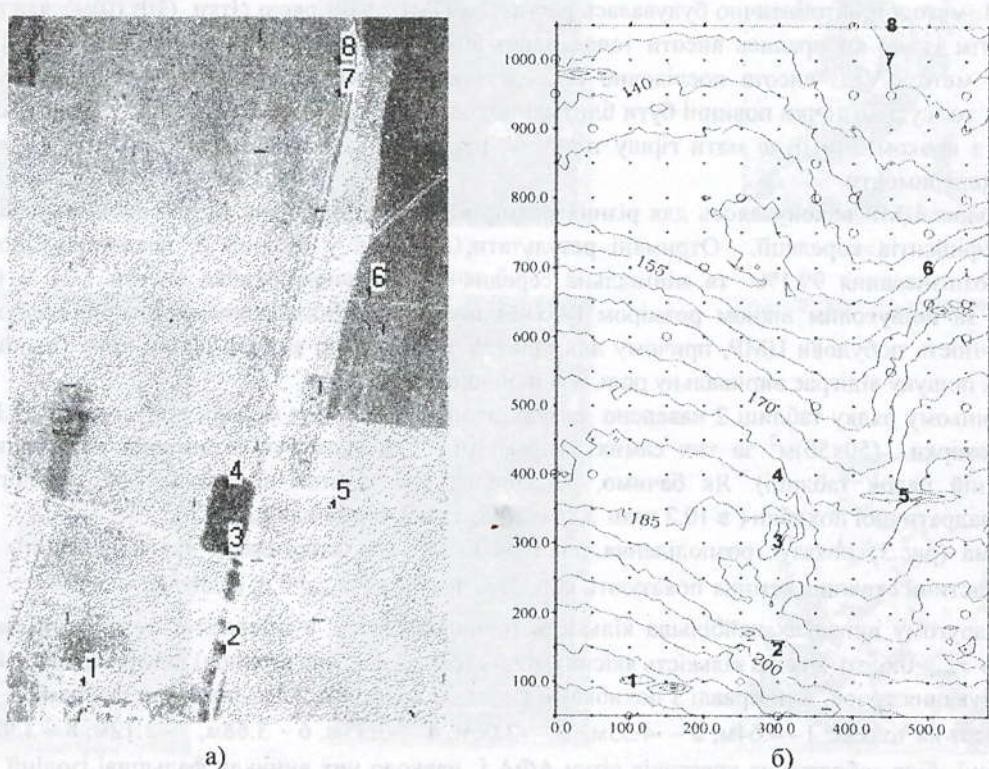


Рис. 4. Розташування точок зі значними похибками висоти на ділянці I:
а) на знімку; б) на фрагменті зображення рельєсу

Залежність точності побудови ЦМР від вибору кута нахилу при сталому розмірі вікна пошуку (85×85) пікселів та пороговому значенні коефіцієнта кореляції R_c для ділянки I наведено в таблиці 3.

Таблиця 3
Порівняння ЦМР, побудованої на ЦФС “Дельта” з моделями рельєфу, побудованих методом VLL, для різних значень кута нахилу

Значення кута нахилу	Кількість розпізнаних точок ЦМР (через 10м) $(r_{\max} \geq R_c)$ n та (%)	Кількість розпізнаних контрольних точок ЦМР (через 50м) n	Середнє квадратичне значення похибок висоти (м)	Максимальне абсолютне значення похибок висоти (м)
1°	4326 (72.60)	181	17.20	48.01
2°	5864 (98.41)	247	1.69	9.73
3°	5901 (99.03)	249	1.28	7.07
4°	5907 (99.13)	249	1.21	7.06
5°	5922 (99.38)	250	1.93	13.80
6°	5922 (99.38)	248	2.52	28.20

Наведені результати показують, що для горбистого рельєфу найкращий результат як за кількістю розпізнаних точок, так і за точністю отримано для значення кута нахилу 4°. В таблиці 4 наведені результати обчислень кількості розпізнаних вузлів для трьох ділянок за різними значеннями кута нахилу та значення пошукового вікна (85x85) пікселів. Розмір комірки сітки становив (10x10) м².

Таблиця 4
Залежність кількості розпізнаних вузлів від кута нахилу

№	Значення кута нахилу	Ділянка 1 Розмір сітки (101x59) $r_{\max} \geq R_c$, n та (%)	Ділянка 2 Розмір сітки (108x58) $r_{\max} \geq R_c$, n та (%)	Ділянка 3 Розмір сітки (109x62) $r_{\max} \geq R_c$, n та (%)
1	2°	5864 (98.41)	5320 (84.93)	6209 (91.88)
2	3°	5901 (99.03)	5527 (88.23)	6623 (98.00)
3	4°	5907 (99.13)	5966 (95.24)	6659 (98.54)
4	5°	5922 (99.38)	5871 (93.73)	5366 (79.40)
5	6°	5922 (99.38)	5962 (95.18)	6684 (98.91)

Результати обчислень показують, що для ділянок зі складною геометричною структурою (наприклад, ділянка 2) існують місця, в яких коефіцієнт кореляції зазнає значних змін і тому такі ділянки непридатні для алгоритмів кореляційного ототожнення і їх необхідно виділити заздалегідь. Такі ділянки можуть бути виділені при відображені рельєфу в горизонталях або знаходженням різниць між ЦМР, побудованих при різних значеннях параметра [2].

На рис.5 представлений рельєф у горизонталях, відтворений VLL-методом (таблиця 4, рядок 3) для ділянок 2 (зліва) та 3 (справа), де чорні смуги показують зони, які не придатні для кореляційного ототожнення, принаймні, на даному рівні піраміди зображені з роздільною здатністю 600 dpi.

Висновки. Проведені експериментальні роботи дозволяють зробити суттєві висновки.

1. Порогове значення коефіцієнта кореляції, при якому вважається, що ідентичні точки розпізнані, визначається розміром пошукового вікна. Тоді зберігається значна кількість якісних точок, які при сталому значенні порогу кореляції можуть відфільтруватись.

2. Кількість успішно розпізнаваних точок і точність побудови ЦМР залежить від розміру пошукового вікна. Для місцевості, яка характеризується ділянками з слабо вираженою текстурою, необхідно використовувати вікна значущих розмірів.

3. При побудові регулярної ЦМР методом, у якому висота послідовно передається від точки до точки, точність отриманої моделі залежить від кроку сітки. Тому рекомендується при необхідності із моделі, побудованої з меншим кроком, вибирати висоти точок зі збільшеним кроком;

4. Вибір початкового кроку вертикального розбиття у вузлі сітки залежить від локального кута нахилу місцевості та кроку регулярної ЦМР.

5. На певних ділянках місцевості методи кореляційного ототожнення дають помилкові результати і вимагають інтерактивного втручання оператора.

Отже, результати досліджень показують можливість автоматичної побудови ЦМР швидко, з високою щільністю, з використанням недорогих комп'ютерів та стандартного периферійного обладнання.

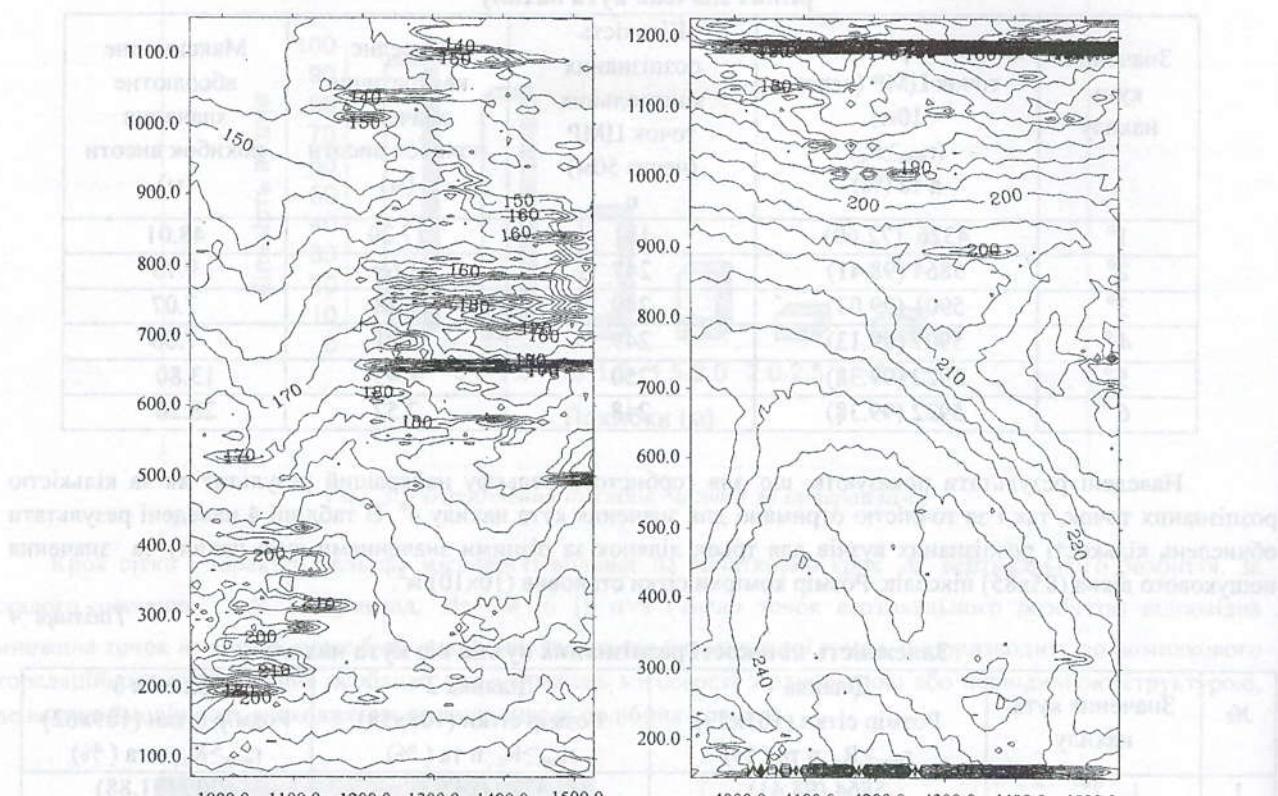


Рис. 5. Зображення рельєфу для ділянок 2 і 3

1. Краус К. Фотограмметрія. Основи та стандартні методи. Із доповненнями П. Вальдгойзеля. – Том 1. – Львів: Львів. аст.-геод. тов. – 2001. – 428 с. 2. Gooch M.J., Chandler J.H. A novel error detection technique for automatically generated digital elevation models // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B4. – Amsterdam. – 2000. – P. 302-309. 3. Лобанов А.Н., Журкин И.Г. Автоматизация фотограмметрических процессов. – М., Недра. – 1980. – 240 с. 4. Krupnik A. Automatic Detection of Erroneous Areas in Automatic Surface Reconstruction // ISPRS International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – 1998. – 32(3/1). – P.132-137. 5. Zhang B., Miller S. Adaptive automatic terrain extraction. Integrating photogrammetric techniques with scene analysis and machine vision III // SPIE - The international Society for Optical Engineering. – 1997. – 3072. – P. 27-36. 6. Dequal S., Lingua A., Rinaudo F.. Matching techniques and algorithms for some basic photogrammetric procedures in the low cost digital photogrammetric systems // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. – Vol. XXXI, Part B1. – Vienna. – 1996. – P. 48-53. 7. Гмурман В.Е.. Теория вероятностей и математическая статистика. Учеб. пособие для втузов. – М. «Высш. школа». – 1977. – 479 с. 8. Baratin L., Bitelli G., Unguendoli M., Zanutta A. Digital orthophoto as a tool for the restoration of monuments // International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B5. – Amsterdam. – 2000. – P. 62-69. 9. Тумська О., Янчак В. Дослідження автоматичного розпізнавання ідентичних точок стереопарі // Архівум з фотограмметрії, картографії і ДЗ. – Краків. – 2001. – т.11. – С.(3-71)-(3-75).