

УДК 528.7 (075.8)

ФОТОГРАММЕТРИЧНИЙ МОНІТОРИНГ ПОВЕНЕВИХ ПРОЦЕСІВ

О. Дорожинський, Р. Тукай

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: фотограмметрія, повітряне лазерне знімання, цифровий аерознімок, космічний образ, цифрова модель території, цифрова модель рельєфу, повеневий процес, ураган Катріна.

Постановка проблеми

Впродовж останніх десятиліть дослідження стану природного середовища засобами дистанційного зондування поширилися в різних сферах наукової та практичної діяльності. Проте нестійкий стан екосистеми, яка постійно зазнає негативного впливу через природні катаклізми та необдуману діяльність людини, змушує науковців вишукувати нові методи і засоби спостереження за станом природного середовища, за явищами та процесами техногенного походження. Тому пошук нових підходів до ведення ефективного моніторингу стану довкілля є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій, які стосуються вирішення цієї проблеми

Глобальні проблеми, пов'язані із розбалансуванням природної системи, переходом її в загрозовано погіршений стан, вимагають невідкладних дій усієї світової спільноти. Тому вимушеною протидією цій ситуації є прийняття низки міжнародних, загальнодержавних та регіональних програм і проектів, скерованих на загальне оздоровлення довкілля та моніторинг надзвичайних ситуацій [1–4].

У багатьох програмах важливе місце займає космічний моніторинг, хоча переважно вживають термін “аерокосмічний моніторинг” [1–3]. Методи фотограмметричного опрацювання зображень або не згадуються, або ж спираються на використання фотографічних знімальних систем, хоч вони вже втрачають актуальність і технологічну привабливість. До класичних фотограмметричних методів та наземних контактних засобів спостережень (НЗ), які об'єктивно та з високою точністю подають нам інформацію про просторові об'єкти та процеси, долучаються цифрове аерознімання (ЦЗ) та повітряне лазерне сканування (ЛЗ) [5]. Застосування цих двох методів відкриває нові можливості в реалізації завдань моніторингу надзвичайних ситуацій, хоча у вітчизняній літературі вони відображені ще недостатньо.

Постановка завдання проблеми

Перед авторами постало завдання опрацювати концепцію фотограмметричного моніторингу надзвичайних ситуацій та виконати її практичну реалізацію під час дослідження повеневих явищ з використанням цифрового аерознімання, повітряного лазерного сканування, космічних зображень.

Виклад основного матеріалу проблеми

Основою фотограмметричного моніторингу надзвичайних ситуацій є поняття про цифрову модель

території (ЦМТ), яка складається з двох частин: цифрової моделі рельєфу (ЦМР) та цифрової моделі покриття території (ЦМПТ) [5], так що

$$ЦМТ = (ЦМР, ЦМПТ), \quad (1)$$

де ЦМР – це сукупність точок, що описують топографічну поверхню території (земної поверхні) та алгоритм обчислення висоти будь-якої точки цієї поверхні, ЦМПТ – це сукупність точок, що описують об'єкти (або їхні частини), які розташовані на цій території. До таких об'єктів належать будівлі, різноманітні інженерні споруди, рослинність тощо.

Опускаючи деякі логічні міркування, зауважимо, що з математичного погляду сукупність усіх даних про територію, зокрема цифрового аерознімання та лазерного сканування, можна подати як множину

$$Q = (M, A), \quad (2)$$

де M – множина об'єктів; A – деяке відношення на цій множині. Своєю чергою, M можна подати як сукупність підмножин M_i , в яких існують свої відношення A_i .

Таке математичне трактування дає змогу сприймати модель (2) у вигляді лінійного простору з n -вимірним векторним полем, а на цій підставі застосовувати відомі з математики операції в лінійному просторі [6], зокрема закон композиції, що є важливим для геоінформаційного моделювання та композиційної інтерпретації зображень.

У наших дослідженнях концепція ЦМТ слугувала основою для моніторингу та оцінювання такого загрозового явища, яким є повеневий процес.

Для практичної реалізації фотограмметричного моніторингу реалізована загальна технологічна схема, зображена на рис. 1.

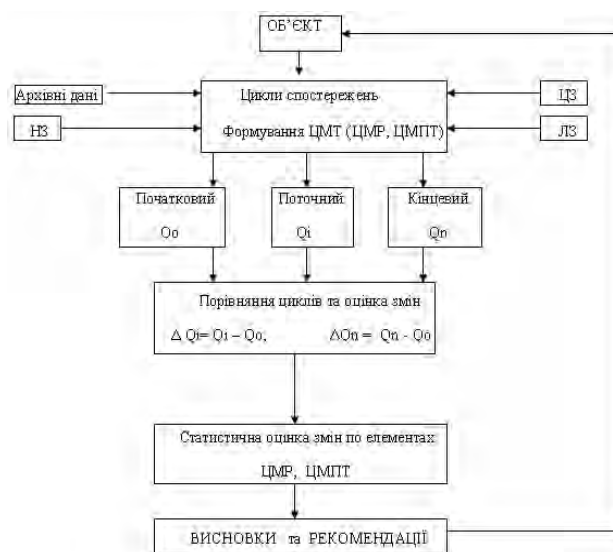


Рис. 1. Загальна схема фотограмметричного моніторингу об'єктів та процесів на базі побудови цифрової моделі території

У моніторингових задачах важливим є питання про те, коли починати спостереження. Адже зазвичай надзвичайна ситуація виникає несподівано, і органи управління територією можуть і не знати про загрозовий стан території (або почасти роблять вигляд, що не знають про загрозу). В такій ситуації можна використати архівні матеріали, до яких належать карти, схеми, аерофотознімки, космічні зображення, описові дані, характеристики об'єктів тощо. На територіях, де руйнівні або загрозові процеси тривають часто або ж проявляються з певною періодичністю, будь-який цикл спостережень можна прийняти за початковий, а надалі виконувати збирання і статистичне опрацювання змін, що дає підстави для прийняття зважених управлінських рішень.

Технологію фотограмметричного моніторингу ми застосували під час дослідження руйнівної повені, яка відбулася в 2005 році в Новому Орлеані (США), внаслідок якої ця територія зазнала величезних втрат.

Причиною був ураган Катріна, який вважають найбільш руйнівним за всю історію США. Через затоплення міста 80 % його території було знищено, понад 800 тисяч людей залишилися без електрики і телефонного зв'язку. Стихія забрала 1836 людських життів. Понад 150 тисяч жителів так і не повернулися назад, побоюючись майбутніх природних катастроф. За оцінками експертів, економічні збитки сягнули 125 мільярдів доларів (рис. 2).

Об'єктами наших досліджень були: дорожня мережа, будівлі, об'єми повеневих вод, що затопили місто. Вихідними матеріалами слугували дані повітряного лазерного сканування цієї території з густотою 0,1 точки на 1 кв. метр, цифрові ортофотокарти, створені з даних цифрового аерознімання з просторовим пікселем 1 м, космічні зображення від системи QuickBird.

Для оцінки доступності дорожньої мережі для експлуатації використано матеріали повітряного лазерного сканування та виконано поетапно такі роботи:

- фільтрація хмари точок з лазерного сканування;
- створення ЦМПТ;
- векторизація осей доріг, пересилання цих даних у ЦМПТ;
- обчислення довжини дорожньої мережі;
- прийняття гіпотези про площину, що репрезентує рівень повеневих вод, статистичний аналіз, обчислення перетину цієї площини з осями доріг, визначення довжини дорожньої мережі, що залишилася під водою.

На рис. 3 наведена дорожня мережа; тут осі доріг нанесені на ортофотокарту.

Статистичне опрацювання дало такі результати: – загальна довжина доріг 1242 км; залито 1027,1 км дороги, або 82,7%.

Отже, станом на дату лазерного знімання значна частина доріг опинилась під водою і була недоступна для експлуатації, що ускладнювало рятувальні роботи.

Для оцінювання затоплених будинків прийнято таку методику:

- фільтрація хмари точок з лазерного сканування і, зокрема, автоматична фільтрація рослинного покриву;

- опрацювання растрових зображень з даних лазерного сканування, за винятком класу “рослинний покрив”;
- автоматичний аналіз растрових зображень з метою одержання центрів (центроїдів) будівель (з використанням інструментарію дистанційного зондування);
- вивчення отриманих центроїдів будівель для усунення похибок, ручне доопрацювання зображень будівель;
- перенесення центроїдів на ЦМПТ для визначення їх висотних позначок та висот будівель;
- статистичний аналіз даних про затоплення будинків, вилучення будівель, висота яких менша від 2,5 м.

В результаті експерименту виявлено 51743 будинки, з них автоматично виділено 47381 будинок, доопрацьовано вручну 4362 будинки, проаналізовано 51326 (рис. 4).

Статистичні дані про залиті будівлі подано нижче, а їхнє розміщення з кольоровою палітрою подано на рис. 5:

- кількість повністю залитих будівель: 283;
- залитих на 75–99 % : 1840;
- залитих на 50–74 % : 8733;
- залитих на 25–49 % : 18512;
- залитих на 1–24 % : 20892;
- зовсім не залитих : 1066.

Ті самі статистичні дані подано на діаграмі (рис. 6).

Отримані результати свідчать про те, що саме метод лазерного сканування доволі точно та оперативно надає узагальнювальні результати про затоплення території, зокрема будівель та доріг. А це, своєю чергою, слугує об'єктивною інформацією для планування рятувально-відновлювальних робіт.

Наступна частина експерименту стосувалась визначення об'єму води, що залила Новий Орлеан (рис. 7). Методика опрацювання передбачала такі етапи:

- фільтрація хмари точок і створення ЦМПТ;
- поділ території на однорідні фрагменти з погляду напливу води з прорваних протипаводкових валів;
- створення площини, що визначає рівень води і межі залитої території, статистичний аналіз, обчислення об'єму базового блока з ЦМТ і блока з урахуванням рівня води.

Експеримент складався з кількох частин.

Експеримент 1. Обчислення виконано відразу після розливу води в місті. Оскільки на цей момент аеро- та космічних зображень, з яких можна було би визначити границі залитої де-факто території, не було, прийнята гіпотеза, що рівень розлиття води дорівнював рівню води в озері Pontchartrain на півночі міста. Створено з даних лазерного сканування ЦМР у формі сітки GRIDE зі стороною 10 м. На 2 вересня 2005 року обчислений об'єм становив 302,8 млн. куб. м.

Експеримент 2. Дані отримано на підставі роботи відкачувальних насосів. Дата: 25 вересня 2005 р., – об'єм 847,9 млн. куб.м.



Рис. 2. Загальний вигляд затопленого міста



Рис. 3. Дорожня мережа Нового Орлеана



Рис. 4. Растрове зображення, отримане з лазерного сканування, та центроїди будівель. Синій колір – центроїди отримано автоматично, жовтий – з ручного доопрацювання

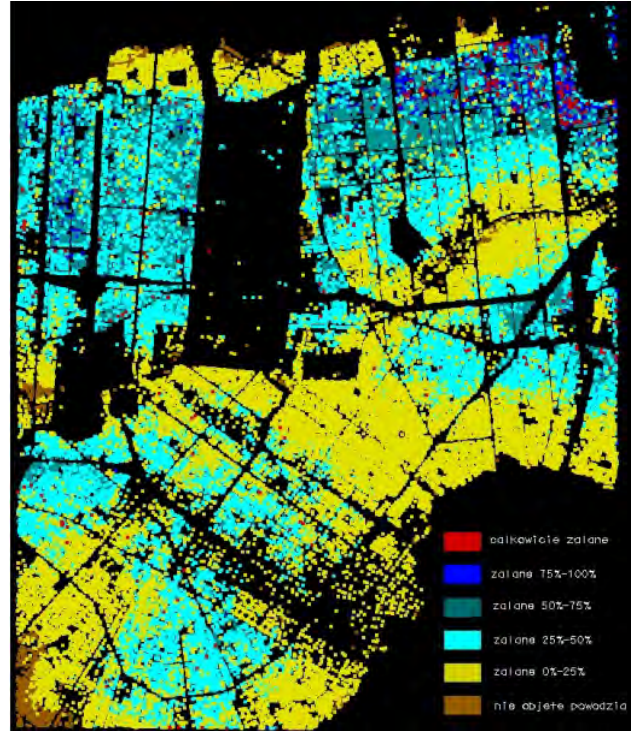


Рис. 5. Розміщення будинків та ступінь їх затопленості

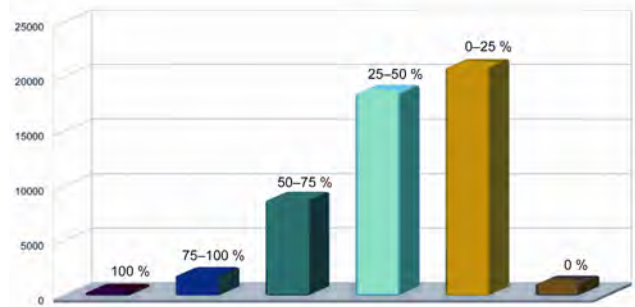


Рис. 6. Діаграма затопленості будівель у Новому Орлеані

Експеримент 3. На підставі топографічного аналізу місцевості та напливу повеневої води територію міста поділено на чотири замкнені робочі райони (полігони) і для кожного з них окремо встановлено рівень води (рис. 8). Межі полігонів встановила Геологічна служба США. Отримано космічні знімки, виконано їх аналіз з використанням програм дистанційного зондування, виокремлено пікселі, що відображають територію, залиту водою. Пікселі, які стосувались дахів будівель, розташованих на залитій території, зараховано до залитої території. Для кожної створеної групи пікселів, в кожному з чотирьох районів визначено висоту кожного піксела. Ці дані отримано з ЦМР, збудованої за даними лазерного сканування у вигляді сітки GRIDE з кроком 10 м.

Пікселі, що мали відхилення $2.5 \times Mh$ від середньої висоти (Mh – ср.кв. похибка визначення висоти), відкинуто як помилкові. В кожному пікселі, що стосувався залитого району, обчислено об'єм як добуток глибини на площу просторового піксела.

Загальний об'єм води отримано простим додаванням елементарних об'ємів.



Рис. 7. Залита територія міста

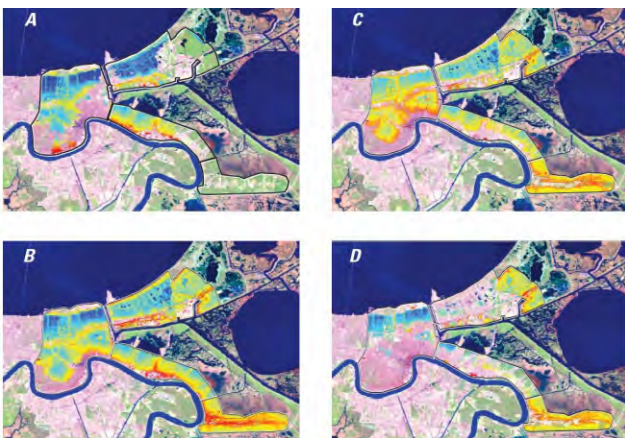


Рис. 8. Центр Нового Орлеана з виділеними чотирма районами і рівнем zalивання водою на такі дати: А- 30.08.2005, В: 02.09.2005, С : 07.09.2009, Д: 15.09.2005

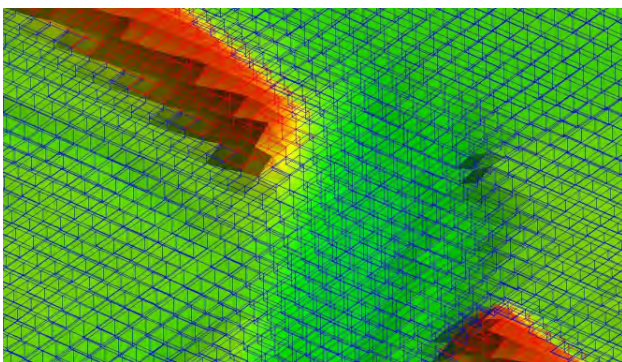


Рис. 9. Блоки, що покривають ЦМР, сума яких дала загальний об'єм повеневої води. Зелений колір – блоки під поверхнею води, червоний – над водою, їх вилучено з обчислень

На 2 вересня 2005 року об'єм води становив 495,8 млн. куб.м.

Експеримент 4. Метою експерименту було порівняння обчисленого об'єму води в одному з районів, отриманого в експерименті 3, та за нашою методикою. Для цього з космічних знімків на 31 серпня 2005 р. визначено межі повені. За даними лазерного сканування створено ЦМР у вигляді сітки GRIDE з кроком 5 м. Усунуто мости і віадуки. З даних ЦМР та векторизованої границі поширення води встановлено рівень її висоти. Обчислено об'єм базового блока та об'єм блока з урахуванням висоти повеневої води (рис. 9). Різниця дала об'єм повеневої води і становила на цю дату 17,7 млн. куб.м.

Значна розбіжність в експериментах 3 і 4 свідчить про те, що найбільший приплив води відбувся в період між 31 серпня та 2 вересня 2005 р. Це підтверджено натурними спостереженнями.

Детальний аналіз показав, що ключовою у підрахунках об'ємів води є гіпотеза про початковий рівень води під час повені. Прийнята для Нового Орлеана гіпотеза, що це рівень води в озері Pontchartrain, в такій складній екстремальній ситуації була оптимальною, хоча і не зовсім об'єктивною. Та цього було достатньо для виконання обчислень та прийняття комплексу управлінських рішень задля мінімізації наслідків катастрофи.

Висновки

Фотограмметричний моніторинг загрозованих процесів, зокрема повневих явищ, дає змогу отримати високоточну і достовірну інформацію про досліджувані об'єкти, що є підставою для прийняття оперативних і зважених управлінських рішень.

Література

1. Державна науково-технічна програма “Аерокосмічні та наземні спостереження в інтересах сталого розвитку і безпеки України (GEO-UA)”. – 2008. – С. 7.
2. Програма наукових досліджень НАН України та НКА України “Наукові основи, методичне, технічне та інформаційне забезпечення створення системи моніторингу геосистем на території України (GEO-UA)”. – 2008. – С. 7.
3. Меньшиков В.А. Концепция международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (проект) / В.А. Меньшиков. – М., 2010. – С. 23.
4. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки: Постанова Верховної Ради України від 5.03.1998, № 188/98 –ВР.
5. Дорожинський О.Л. Фотограмметрія: підручник / О.Л. Дорожинський, Р. Тукай. – Львів: Вид-во Нац. ун-ту “Львівська політехніка”, 2008. – 332 с.
6. Сигорский В.П. Математический аппарат инженера / В.П. Сигорский. – К.: Техника, 1975. – 768 с.

Фотограмметричний моніторинг поверхневих процесів

О. Дорожинський, Р. Тукай

Описано технологію фотограмметричного опрацювання даних повітряного лазерного сканування, цифро-

вого аерознімання та космічних зображень під час моніторингу повеневих процесів. Технологія застосована для дослідження повені в м. Новий Орлеан (США), спричиненої ураганом Катрина в 2005 р. Визначено основні організаційні та правові перешкоди, що впливають на поширення фотограмметрії та ДЗ.

**Фотограмметрический мониторинг
поверхностных процессов**

О. Дорожинский, Р. Тукай

Описано технологію фотограмметричної обробки даних повітряного лазерного сканування,

цифровой аэросъемки и космических снимков при мониторинге паводковых процессов. Технология используется при исследовании паводка в г. Новый Орлеан (США), вызванного ураганом Катрина в 2005 г.

Photogrammetric monitoring of flood processes

O. Dorozhynskyy, R. Tukaaj

Technology of photogrammetric processing of data of air laser scanning, digital aerial survey and space images is described in the paper. This technology is applied for investigation of the flood in New Orleans (USA) caused by the hurricane Kathryn in 2005.

Видавництво Львівської політехніки пропонує



**Дорожинський О. Л., Тукай Р.
ФОТОГРАМЕТРІЯ**

*Підручник. Львів: Видавництво Львівської політехніки,
2008. 332 с. Формат 170 x 240 мм.*

Тверда обкладинка.

ISBN 978-966-553-688-8

Затвердило Міністерство освіти і науки України

Подано теорію аналітичної фотограмметрії та розв'язання основних фотограмметричних задач, що становить основу цифрової фотограмметрії. Висвітлено питання цифрового оброблення зображень, зокрема формування образів, поліпшення якості, способи стиснення та ін. Детально описано технології цифрової фотограмметрії, зокрема побудову цифрових моделей рельєфу і поверхні, аеротріангуляції, кореляції зображень, створення ортофотокарт. Подано теоретичне розв'язання задач космічної фотограмметрії, розглянуто сучасні підходи до технологій космічного картографування поверхонь Землі і планет.

Підручник призначений для студентів ВНЗ базового та магістерського рівнів підготовки напряму "Геодезія, картографія та землевпорядкування", а також для аспірантів, докторантів та фахівців, що займаються використанням фотограмметрії та дистанційного зондування у різних галузях науки і практики.

ЗМІСТ

Від авторів.

1. Вступ.
2. Теоретичні основи фотограмметрії.
3. Комп'ютерне опрацювання цифрових зображень.
4. Цифровий фотограмметричний знімок.
5. Побудова цифрових моделей об'єктів.
6. Аналітична фототріангуляція.
7. Технології цифрової фотограмметрії.
8. Космічна фотограмметрія.

Список літератури.

Алфавітний покажчик.

ПРО АВТОРІВ

Олександр ДОРОЖИНСЬКИЙ

професор кафедри фотограмметрії та геоінформатики Національного університету «Львівська політехніка»

Ришард ТУКАЙ –

керівник підприємства
Tukaaj Mapping Central Europe у Польщі

**Книги можна замовити за адресою: вул. Ф. Колесси, 2, корп. 23А, м. Львів, 79000
тел. +38032 2582146, факс +38032 2582136, ел. пошта: vmr@vlp.com.ua, <http://vlp.com.ua>**