

О.Л. Дорожинський, Р.М. Тукай, Б.В. Четверіков, Л.В. Бабій  
Національний університет «Львівська політехніка»

## ФОТОГРАММЕТРИЧНІ МЕТОДИ В ОЦІНЦІ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ

© Дорожинський О.Л., Тукай Р.М., Четверіков Б.В., Бабій Л.В., 2013

*Анализируется роль методов фотограмметрии в создании пространственных моделей территорий и объектов, подверженных чрезвычайным ситуациям, приведены примеры их применения для оценки последствий наводнения и землетрясения.*

*The role of photogrammetric methods for creating spatial models of territories and objects exposed to emergency situations is analyzed, and examples of their application to assess the impact of floods and earthquakes are shown.*

**Постановка проблеми.** Глобальні проблеми, пов'язані із розбалансуванням природної системи, переходом її в загрозовий стан привели до прийняття ряду міжнародних та державних програм, спрямованих на покращення стану довкілля. Дослідження катаклізмів природного і техногенного походження є надзвичайно актуальною проблемою, а залучення до таких робіт новітніх технічних засобів, методик і технологій повинно сприяти позитивному впливові на покращення стану екосистеми в глобальному масштабі. Тому залучення цифрової фотограмметрії та геоінформаційних технологій розцінюється як потужний засіб оцінювання стану територій, особливо в тих випадках, коли це пов'язано із надзвичайними ситуаціями (НС).

**Зв'язок із важливими науковими і практичними завданнями.** Висвітлені в цій публікації питання скеровані на розширення можливостей аерокосмічного моніторингу стихійних лих, для вивчення яких створено широку мережу міжнародних проектів, наприклад, GEOSS, GMES, «Сторож Азії», СПАЙДЕР – ООН, GEO-UA та інші.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій, в яких започатковано розв'язання цієї проблеми.** При вирішенні проблеми моніторингу надзвичайних ситуацій надається перевага космічним методам збирання інформації, що є цілком виправданим, коли йдеться про великі території та вивчення глобальних явищ природного і техногенного походження [1–6].

У багатьох країнах, які мають доступ до космічної техніки і технологій дистанційного зондування, узаконено на державному рівні застосування аерокосмічного моніторингу. Наприклад, в Російській Федерації прийнято Державний стандарт [7], в якому достатньо вдало узагальнено способи досліджень надзвичайних ситуацій, визначення їх основних кількісних та якісних показників. Аналіз ряду наукових робіт дав нам змогу сформулювати висновок, що можливості дистанційних методів постійно зростають і розширюються, і це стосується:

- застосування різноманітних сенсорів високої геометричної та радіометричної якості (багатоспектральних, гіперспектральних, оптичних, радіолокаційних, надвисокочастотних та ін.);
- координального прискорення знімальних робіт на території з НС; замість кількох днів це кілька годин;

- швидкого обміну інформаційними потоками, що забезпечують сучасні мережеві та геопортальні веб-технології;
- значно меншої залежності знімальних процесів від освітленості, метеорологічних умов, що насамперед пов'язано з використанням випромінювання в радіодіапазоні.

**Постановка завдання.** В запропонованих та описаних методах і способах моніторингу надзвичайних ситуацій не вказано методи фотограмметрії, які на сучасному рівні технічного забезпечення мають великі можливості та досягнення. Передусім йдеться про використання цифрового аерознімання та повітряного лазерного сканування. Тому автори мали на меті висвітлити основну перевагу і особливість цих технологій, яка полягає в органічному поєднанні об'єктивності та оперативності отримання інформації про досліджувані об'єкти з високою точністю визначення їх положення та отриманні різноманітних кількісних характеристик.

Такі дані можна ефективно використовувати для розв'язання двох важливих задач:

- проектування заходів, скерованих на протидію можливим надзвичайним ситуаціям;
- оцінювання стану територій та об'єктів після руйнівних процесів, викликаних надзвичайними ситуаціями.

У роботі подані приклади використання методів фотограмметрії для оцінювання стану території через вплив повеневих процесів та землетрусів.

### **Виклад основного матеріалу**

#### **Оцінка руйнацій в Новому Орлеані (повеневі процеси)**

29 серпня 2005 р. ураган "Катріна" зруйнував греблі на каналах міста Новий Орлеан (США), що призвело до його затоплення та значних руйнацій. Понад 800 тис. жителів залишились без електрики і телефонного зв'язку. Загибло близько 1800 осіб, а понад 150 тис. жителів так і не повернулись назад, побоюючись можливостей повторних катастроф. За оцінками експертів (2007 р.), збиток становить 125 мільярдів доларів. Тому уряд країни та органи місцевого самоврядування вирішили прийняти ряд заходів для захисту міста в майбутньому. Одним з перших етапів було високоточне картографування території, а однією з першочергових задач – встановлення стану дорожньої мережі та затоплення будівель.

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 1м.

Аналізу підлягала центральна частина міста площею 74 кв.км. Технологічною схемою передбачено виконання таких видів робіт: фільтрація хмари точок з лазерного сканування, створення з даних лазерного сканування цифрової моделі покриття території (ЦМПТ), векторизація осей доріг (центральної лінії) з використанням ортофотокарти, пересилання даних векторизації доріг до ЦМПТ, обчислення довжини дорожньої мережі, перетин осей доріг площиною, що представляє рівень повеневих вод, статистичний аналіз, обчислення загальної довжини дорожньої мережі, що знаходиться під водою. На рис. 1 наведено дорожню мережу; тут осі доріг нанесено на ортофотокарту.

Статистичне опрацювання дало такі результати: загальна довжина доріг 1242 км, залиті дороги завдовжки 1027,1 км, 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 було прийнято таку методику:

- фільтрація хмари точок з лазерного сканування, зокрема автоматична фільтрація рослинного покриття;
- опрацювання растрових зображень за даними лазерного сканування, з вилученням класу "рослинний покрив";
- автоматичний аналіз растрових зображень з метою отримання центрів (центроїдів) будівель (з використанням інструментарію дистанційного зондування);
- вивчення отриманих центроїдів будівель з метою усунення похибок, ручне доопрацювання зображень будівель;



*Рис. 1. Дорожня мережа Нового Орлеану*

– перенесення центроїдів на ЦМПТ, звідки отримано їх висоти, що дорівнюють висотам будинків;

– статистичний аналіз даних про затоплення будинків, виключення будівель з висотою, меншою від 2,5 м.

У результаті експерименту виявлено 51743 будинки, з них автоматично виділено 47381 будинок, доопрацьовано вручну 4362 будинки, проаналізовано 51326 будинків (рис.2).



*Рис. 2. Растрове зображення, отримане з лазерного сканування, та центроїди будівель*

Під час опрацювання використано не всі точки сканування, а зменшено їх кількість так, що середня густина становила 0.1 точки на 1 кв. м. Використано також наявну ортофотокарту з просторовим пікселем 1 м, створену з космічного знімка, отриманого знімальною системою Quick Bird. Через те, що роздільна здатність ортофотокарти була недостатньою, було досліджено автоматичний пошук центроїдів будинків. Виявилось, що ортофокарта не дає бажаних результатів, а кращі результати можна отримати, опрацьовуючи растрові зображення лазерного сканування. При цьому для правильного представлення контурів будівель густина 0.1 точки на 1 кв.м є недостатньою. Із збільшенням густоти точок результати автоматичного пошуку центроїдів були значно кращими, що, своєю чергою, зменшило обсяги ручного доопрацювання зображень.

Статистичні дані про залиті будівлі подано нижче, а їх розміщення з кольоровою палітрою подано на рис.3:

- кількість повністю залитих будівель (100 %): 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.

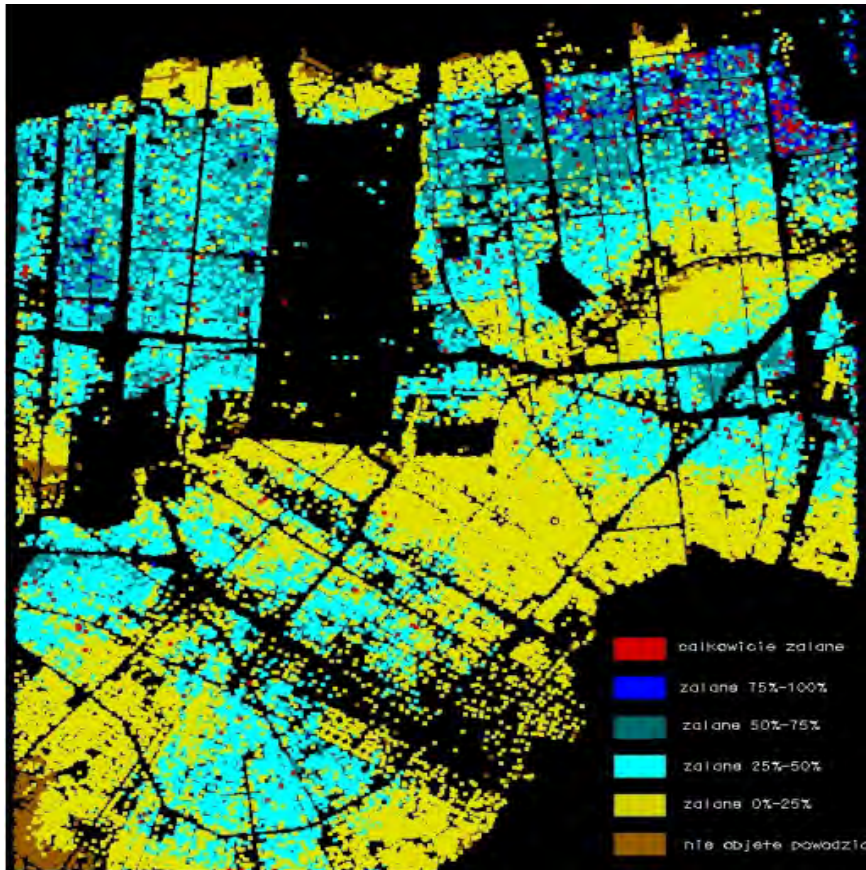


Рис. 3. Розміщення будинків та ступінь їх затопленості

Кольори означають: червоний – повністю залитий будинок, синій – залитий на 75–100 %, сірий – залитий на 50–75 %, голубий – залитий на 25–50 %, жовтий – залитий на 0–25 %, коричневий – не залитий повеневими водами.

Ті самі статистичні дані подано на діаграмі (рис. 4).

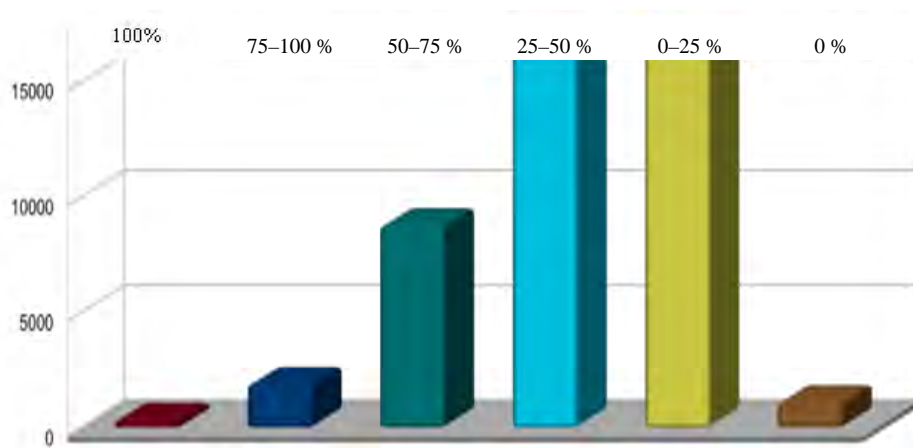


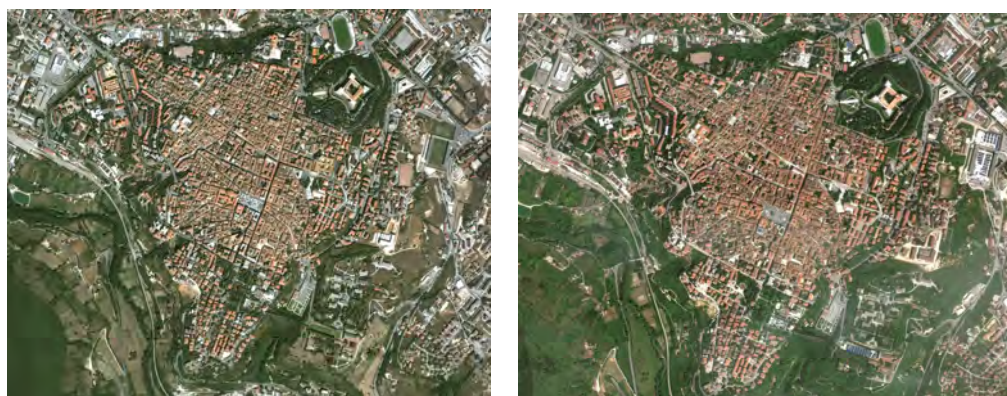
Рис. 4. Діаграма затопленості будівель у Новому Орлеані

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

#### **Оцінка руйнацій центральної частини міста Л'Акуїла (внаслідок землетрусу)**

Землетрус в м. Л'Акуїла (Італія) відбувся 6 квітня 2009 року у 3:32 годині за місцевим часом і його сила становила 6,3 балів за шкалою Ріхтера [8]. За даними Національного інституту геофізики і вулканології Італії гіпоцентр землетрусу знаходився на глибині 8,8 кілометрів і в п'яти кілометрах від центра міста, що розташоване на відстані 95 кілометрів від Риму. Цей землетрус став найбільш руйнівним на території Італії за останні 30 років. При цьому відомо, що землетрусу передувала період аномальної геологічної активності, що не змусило уряд попередити населення про можливі наслідки. Від землетрусу було пошкоджено близько 15 тисяч будівель, або приблизно 50 % міста. Найбільш постраждали стара частина міста та села на схід від міста. Майже зруйнована Онна, що належала до комуни Л'Акуїли. Внаслідок стихійного лиха загинуло понад 279 осіб.

Для отримання інформації про ступінь руйнації будівель історичної частини міста Л'Акуїла внаслідок землетрусу використано два космічні зображення, отримані до та після стихійного лиха. Обидва знімки отримано з супутника GeoEye-1 з просторовим розрізненням 1,65 м (мультиспектральний діапазон) [9] і прив'язано в системі координат WGS84 (рис.5).



а

б

Рис. 5. Космічні знімки, отримані з супутника GeoEye-1:

а – знімок, отриманий до землетрусу 09.04.2006 р.;

б – знімок, отриманий після землетрусу 05.08.2009 р.

Для автоматичного визначення будівель, що зазнали руйнації внаслідок землетрусу, використано програмний пакет Erdas Imagine [10–12], оскільки він містить модуль пошуку різницевих змін об'єктів DeltaCue, що є дуже зручним у використанні.

Використовуючи цей модуль, створено новий проект пошуку змін будівель з часом, у якому обрано два космічних зображення, отримані до та після землетрусу.

При цьому тип сенсора для обох знімків встановлено Other, оскільки сенсора GeoEye-1 немає в переліку, що подає компанія-виробник програмного забезпечення (рис.6).



Рис. 6. Меню налаштування вхідних даних модуля DeltaCue

Для отримання даних про зміни будівель внаслідок землетрусу використано три типи фільтрації, що дає змогу виконати цей модуль:

- спектральна сегментація;
- неправильна ресстрація пікселів пари зображень;
- просторова фільтрація.

Просторовий фільтр обчислює декілька геометричних властивостей на основі контуру об'єктів. Для цього випадку використано геометричні властивості: площу, компактність та подовження (рис. 7).

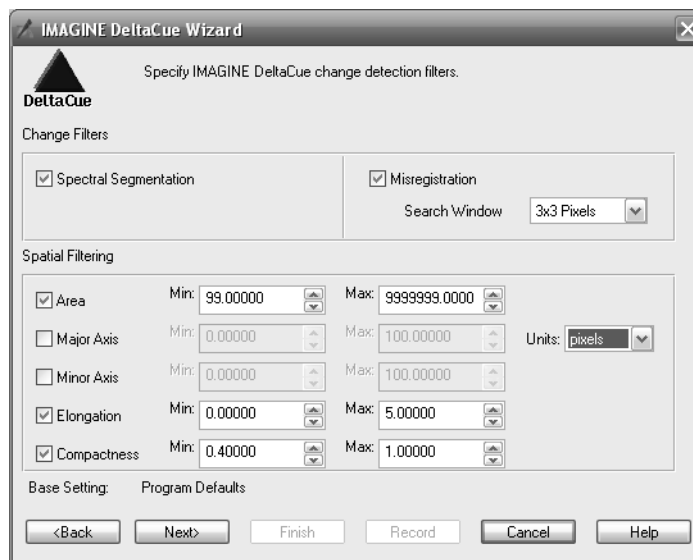


Рис. 7. Меню налаштування фільтрів обробки зображень модуля DeltaCue

Внаслідок автоматичної фільтрації програма видає шар різницевих показників. Відсортувавши отримані дані тільки на район забудови міста, отримано площинні об'єкти, що демонструють руйнацію будівель (рис. 8). Цей шар збережено в форматі-шейп для зручності підрахунку площ зруйнованих об'єктів.

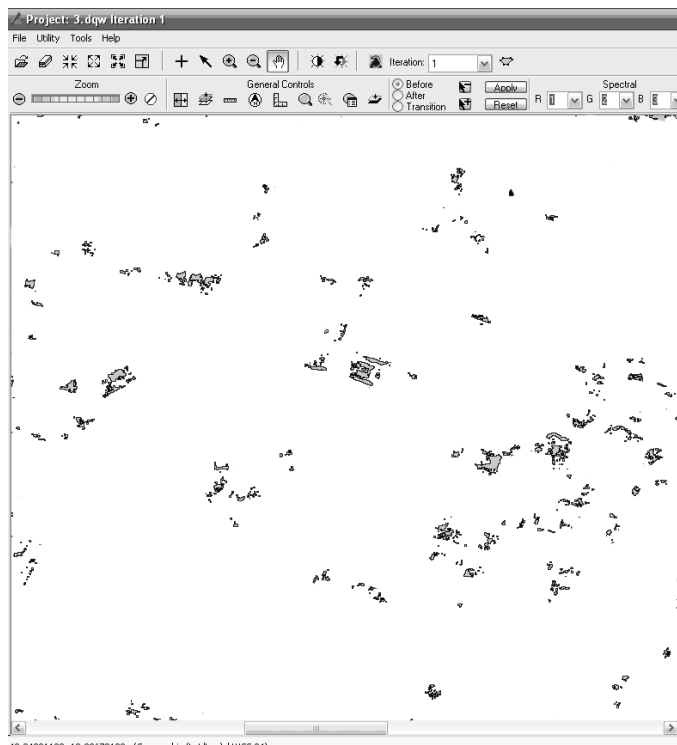


Рис. 8. Отримані різницеві показники площ будівель за космічними знімками до та після землетрусу

При програмному підрахунку загальної кількості об'єктів, що зазнали значних руйнацій або були зруйновані повністю, виявлено 158 будинки.

За отриманими даними автоматичного визначення змін обчислено кількість об'єктів, що зазнали руйнації у процентному відношенні:

- кількість будинків, зруйнованих до 25 % – 66;
- кількість будинків, зруйнованих від 25 % до 50% – 35;
- кількість будинків, зруйнованих від 50 % до 100% – 57.

Згідно із цими даними, нижче подано графік залежності процентного співвідношення зруйнованих територій від кількості будинків, що зазнали руйнації, під час автоматичного визначення змін (рис. 9).

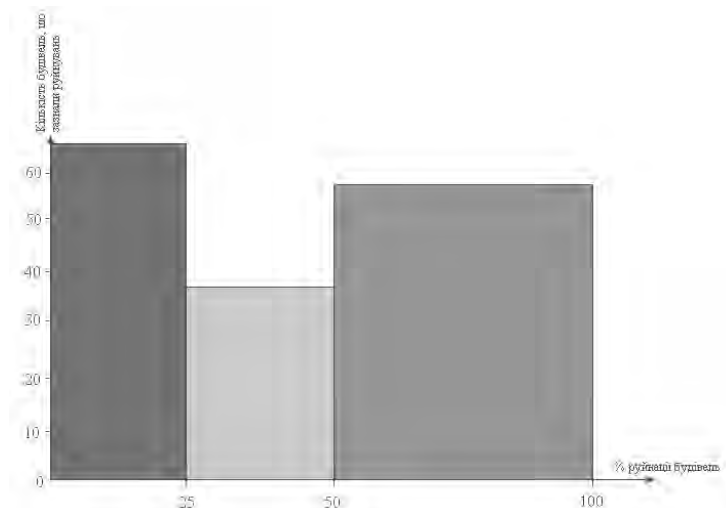


Рис. 9. Графік залежності процентного співвідношення зруйнованих територій від кількості будинків, що зазнали руйнації, під час автоматичного визначення змін

**Висновки.** Сучасні технології цифрової фотограмметрії, повітряного лазерного сканування та космічного знімання дають змогу об'єктивно оцінити стан територій після руйнацій, викликаних надзвичайними ситуаціями.

Для оцінювання затопленої дорожньої мережі міста ефективною виявилась методика поєднання даних повітряного лазерного сканування та ортофотокарт з просторовим пікселем 1 м. Виявлено, що в центральній частині міста під водою опинилось 83% дорожньої мережі.

Опрацьовану методику можна рекомендувати до використання в інших подібних ситуаціях.

Для того, щоб швидко оцінити затоплення будівель на великих територіях (а саме такою є територія Нового Орлеану), доцільно використовувати дані лазерного повітряного сканування з автоматичним виділенням центроїдів будівель. Для оконтурення споруд густота сітки лазерного сканування 0.1 точки на 1 кв.м є недостатньою. Тому не бажано зменшувати масив вихідних даних, отриманих під час повітряного сканування. Наявність густішої сітки приводить до скорочення обсягів ручної роботи при знаходженні центроїдів споруд.

Під час визначення загальної кількості будинків, що були пошкоджені внаслідок землетрусу в м. Л'якуїла, та їх процентного співвідношення за даними дистанційного зондування виявлено, що кількість пошкоджених будинків, визначена за допомогою автоматичного методу в програмному пакеті ErdasImagine, становила 158 об'єктів, з них зруйновано до 25 % – 66 будинків, від 25 % до 50 % – 35 будинків, від 50 % до 100% – 57 будинків.

Проаналізувавши отримані дані, з'ясуємо, що за автоматичного розпізнавання змін об'єктів, що ґрунтуються на спектральних характеристиках, кількість пошкоджених будинків є більшою ніж можна розпізнати на знімку наочно. При цьому здебільшого це об'єкти, що зазнали руйнації до 25 % і судячи з усього, не видимі людському оку.

1. Державна науково-технічна програма «Аерокосмічні та наземні спостереження в інтересах сталого розвитку і безпеки України» (Програма GEO-UA). 2. Програма наукових досліджень НАН України та НКА України «Наукові основи, методичне, технічне та інформаційне забезпечення створення системи моніторингу геосистеми на території України (GEO-UA)». – 2008. – С.7. 3. Меньшиков В.А. Концепция международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (проект). – М., 2010. – С.23. 4. Основні напрями державної політики України у галузі охорони довкілля, використання природних ресурсів та забезпечення економічної безпеки. Постанова Верховної Ради України від 03.03.1998. №188/98-ВР. 5. Положення про державну систему моніторингу довкілля. Постанова Кабінету міністрів України від 30.03.1998 р., №391. – 8 с. 6. Про порядок класифікації надзвичайних ситуацій. Постанова Кабінету міністрів України від 18.07.1998 р. №1099. 7. ГОСТ Р22.1.04-96. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг аэрокосмический. Номенклатура контролируемых параметров чрезвычайных ситуаций. – М., 1996. – 9 с. 8. Скакун С.В. Геоінформаційний сервіс моніторингу наводків за супутниковими даними // Наука та інновації. – 2010. – Т.6, №4. – С.29–36. 9. Джаміля Нусрет кизи Імамалієва. Організація захисту від стихійного лиха в міському господарстві // Економіка будівництва і міського господарства. – 2011. – Т.7, №1. – С.59–64. 10. ERDAS IMAGINE. Практическое руководство TourGuides. LLC, 2005. – 735 с. 11. Кохан С.С. Дистанційне зондування землі / С.С. Кохан, А.Б. Востоков, О.О. Леонтьєв.. – Київ, 2010. – 300 с. 12. Сборник упражнений по работе с ERDAS IMAGINE. ESSENTIALS, ADVANTAGE, PROFESSIONAL. DATA+ , 2001. – 119 с.