



## МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ МАТЕРІАЛІВ ДЗЗ У МОНІТОРИНГОВИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ УРБАНІЗОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ (НА ПРИКЛАДІ М. КИЄВА)

*Рассмотрены параметры материалов ДЗЗ, полученных с различных спутников Земли и пригодных для решения широкого круга исследовательских задач, в частности мониторинга урбанизированных территорий. В исследованиях использованы обработанные космоснимки QuickBird, привязанные к топоплану города и изданные в виде космофотоатласа г. Киева. В результате визуального анализа этого космоатласа получены сведения об объектах мониторинга, определены возможности прогнозирования изменений городской среды, а также намечена система мониторинговых карт.*

*In the paper it is analysed the parameters of remote sensing data received from various satellites, that are suitable for a wide range of research tasks, including the monitoring of urban territories. In the study there were used processed QuickBird satellite images georeferenced to the topographic plan of the city and published as the spacephotoatlas of Kyiv. As a result of visual analysis of the atlas, the information about the objects of monitoring and possibilities of forecasting of urban environment changes is received; the system of monitoring maps is developed.*

**Постановка проблеми.** Завдання розроблення методики моніторингу урбанізованих територій на базі ДЗЗ поєднало кілька проблемно орієнтованих напрямків моніторингових досліджень стану міського середовища, його картографування, застосування сучасних методів ДЗ. Наразі маємо багато літературних джерел про дослідження міст, їх функціональну та містобудівну структуру, природні й соціально-економічні компоненти міського середовища і чинники та наслідки їх взаємовпливу [10]. У картографічних розробках питань природокористування, екологічних і природоохоронних проблем визначено загальні підходи до створення відповідних систем карт [5]. Про використання методів ДЗЗ також нагромадилось дуже багато джерел з описом загальних питань якості космофотообразень, отримуваних з різних космічних супутників, та методів їх опрацювання [8]. Цей напрям розвивається дуже швидко завдяки впровадженню нової техніки космічних знімачів земної поверхні та розширенню можливостей використання космоснімків у наукових дослідженнях і на практиці.

У географічних дослідженнях урбанізованих територій поставлено проблему визначення і вирішення тематичних задач космомоніторингу, зокрема, моніторингу компонентів природи (літосфери, ґрунтів, гідросфери, атмосфери, біоти), моніторингу ландшафтів, елементів підземного середовища міста, моніторингу забудови для забезпечення соціальної, в т. ч. рекреаційної, виробничої, економічної сфер функціонування міста.

**Останні досягнення і публікації.** В Україні вже підбито підсумки робіт в аерокосмічній сфері, виконані у різних галузях господарства і науки до 2001 р. [8]. За останнє десятиріччя маємо великі досягнення завдяки створенню нової системи дистанційного зондування Землі, призначеної для найдетальніших досліджень географічних об'єктів, явищ і процесів. З'явилися супутники, оснащені апаратурою, яка дає змогу отримувати на Землі

космоснімки з надвисокою роздільною здатністю.

Дистанційні методи зінтегрувалися з геоінформаційними технологіями картографування в ході опрацювання космоснімків на комп'ютерах, проміжним результатом чого стало створення комп'ютерних космофотокарт і атласів [2,3]. Такі карти стали основою створення муніципальних ГІС і різноманітних тематичних карт. Космоснімки з надвисокою роздільною здатністю придатні для моніторингових географічних досліджень урбанізованих територій та укладання карт моніторингу міського середовища – як його природних компонентів, так і забудови.

Дану тему висвітлено у колективній праці Д. О. Тарангула, О. І. Кудряшова, А. Г. Мичака, В. Є. Філіповича [9]. Вони сформулювали основні принципи системного геоекологічного картографування міських територій та описали результати використання матеріалів ДЗЗ і геоінформаційних технологій для розроблення методики створення серій еколого-географічних та еколого-геологічних карт, що відображують сучасний стан навколишнього середовища урбанізованих територій. Ці автори експериментально довели можливість створення карт екосистем кількох областей України за допомогою автоматичного та інтерактивного багатоступеневого комп'ютерного опрацювання і дешифрування мультиспектральних знімків з КА "SPOT", "LANDSAT", "Ресурс", "Січ", "Океан", "IRS" із застосуванням програмного продукту ERDAS Imagine для їх опрацювання.

В Інституті геологічних наук НАН України створено схеми "Зони тріщинуватості Київського регіону", "Геодинамічні зони в межах територій міста Києва та його околиць".

Ці роботи для нас є відправною точкою і цінним науковим матеріалом для продовження досліджень.

Науковий потенціал і засоби Інституту географії НАН України дозволяють сьогодні використовувати космоматеріали із значно вищою роздільною здатністю знімків, ніж ми маємо. Тому автор статті і поставила завдання охарактеризувати па-



раметри технічних систем, які забезпечують космознімками високої роздільної здатності моніторингові дослідження урбанізованих територій.

**Виклад основного матеріалу.** У картографічних дослідженнях відділу картографії Інституту географії НАН України до 2007 р. матеріали ДЗЗ не використовувалися передусім з мотивів обмеженості доступу до аерокосмічних знімків через їх високу вартість. Проте матеріали з супутника "LANDSAT" використовувалися ландшафтознавцями інституту в дослідженнях територій, що постраждали від аварії на Чорнобильській АЕС. Це отримало картографічне відображення в Атласі Чорнобильської зони, де на картах показано забруднення цієї території такими радіонуклідами, як цезій-137 і стронцій-90. З 2007 р. фахівці-картографи стали використовувати матеріали ДЗЗ з високою роздільною здатністю космознімків для розвитку моніторингового картографування. Новим для дослідників став також і територіальний ранг об'єктів досліджень – урбанізовані території, зокрема територія великого міста, а саме Києва.

Багато супутників наразі дають змогу отримувати космознімки з високою роздільною здатністю. У вересні 1999 р. вийшов на орбіту Землі супутник "Ikonos" (США), у грудні 2000-го – ізраїльський "Eros", у жовтні 2001-го – QuickBird (США; за його знімками можна було розрізнити окремі будівлі та споруди, дерева, шляхи з дорожньою розміткою і автомобілі, які рухаються цими шляхами). Після цього було запущено ще кілька супутників, що дозволяли отримувати космознімки з роздільною здатністю 2 м і вище. Це Orb View

(США), Form Sat (Тайвань), Eros-B (Ізраїль), Ресурс-ДК (Росія), World View-1 (США), Terra Sag-a і Sag Lupe (Німеччина). Поняття *роздільна здатність космознімків* означає величину найменшого відрізка відстані (площі простору) на земній поверхні, якому відповідає один піксел у його відсканованому зображенні. На знімках QuickBird розпізнаються об'єкти величиною не 0,61 м, а більше (автомобіль при дешифруванні займає  $4 \times 4 = 16$  пікселів, що відповідає об'єкту розміром  $2,44 \times 2,44$  м). Проте на таких же знімках добре розрізняється розмітка доріг, яка має ширину, меншу ніж 61 см, але велику протяжність. Є застереження, що роздільна здатність знімка погіршується, якщо траса знімання відхиляється від надира. Найвищі параметри зараз у знімків World View-1 – 0,50 м при зніманні в надир.

Як видно з табл 1, різні типи супутників, оснащених оптико-електронною апаратурою, дають змогу отримувати космознімки з різними параметрами роздільної здатності в залежності від панхроматичного і мультиспектрального режимів та діапазонів мультиспектрального знімання.

Вибираючи параметри космознімків, придатних для дослідження урбанізованих територій, враховуємо можливість використання цих знімків для створення карт великих масштабів. Цінною для цієї мети може бути табл. 2, що відображує співвідношення роздільної здатності матеріалів аерокосмічного знімання і карт, створюваних на їх основі.

Залежно від апаратури, встановленої на супутнику, отримують космофотознімки при зніманні фотоапаратами або ПЗЗ-космознімки, якщо при зніманні використовують прилади зарядового

Таблиця 1. Параметри космознімків надвисокої та високої роздільної здатності (за М. В. Арістовим [1])

Супутник ДЗЗ (країна)	Основні характеристики космознімків із супутників ДЗЗ, оснащених оптико-електронною апаратурою		Діапазони мультиспектрального знімання	Радіометрична здатність, біт/піксел
	Роздільна здатність знімків (у метрах) в режимах:			
	панхроматичному	мультиспектральному		
World-View-1 (США)	0,50	немає	немає	11
QuickBird (США)	0,61	2,4	Видимий: 0,45-0,52; 0,52-0,60; 0,63-0,69. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,90	11
Eros-B (Ізраїль)	0,7	немає	немає	11
Orb View-3 (США)	1,0	4,0	Видимий: 0,45-0,52; 0,51-0,60; 0,63-0,70. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,90	11
Ikonos (США)	1,0	4,0	Видимий: 0,45-0,52; 0,52-0,60; 0,63-0,70. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,85	11
Ресурс-ДК (Росія)	1,0	2,0-3,0	Видимий: 0,50-0,60; 0,60-0,70. Ближній інфрачервоний: 0,70-0,80	10
Cartosat-2 (Індія)	1,0	немає	немає	10
Komposat-2 (Респ. Корея)	1,0	4,0	Видимий: 0,45-0,52; 0,52-0,60; 0,63-0,69. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,90	10
Eros-A (Ізраїль)	1,9	немає	немає	11
Formosat (Тайвань)	2,0	8,2	Видимий: 0,45-0,52; 0,52-0,60; 0,61-0,69. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,90	8
Alos (Японія)	2,5 (Prism)	10,0 (Avnik)	Видимий: 0,41-0,50; 0,52-0,60; 0,61-0,69. Ближній інфрачервоний: 0,76-0,80	8
SPOT (Франція)	2,5 і 5,0	10,0	Видимий: 0,50-0,59; 0,52-0,60; 0,61-0,69. Ближній інфрачервоний: 0,78-0,80	8
IRS-PS (Cartosat-1) (Індія)	2,5	немає	немає	10
IRS-PS (Resourcesat-1) (Індія)	5,8	5,8	Видимий: 0,52-0,59; 0,62-0,68. Ближній інфрачервоний: 0,78-0,86	10



Таблиця 2. Співвідношення роздільної здатності матеріалів аерокосмічного знімання і карт, створюваних на їх основі (за М. В. Арістовим [1])

Категорія просторової розрізненості	Роздільна здатність знімків	Масштаб створюваних карт	Вид знімання	
Надвисока	0,1-2 м	0,1 м	1:1 000; 1:2 000	Аерознімання
		0,1-0,5 м	1:2 000; 1:5 000	Аерознімання
		0,5-1,0 м	1:5 000; 1:10 000	Аеро- і космознімання (WorldView, QuickBird)
Висока	2-10 м	2-5 м	1:25 000; 1:50 000	Аерознімання з висоти понад 3 000 м, космознімання (Spot-5, Alos, Cartosat-1,2)
		5-10 м	1:50 000; 1:100 000; 1:200 000	Космознімання, архівні матеріали космознімання (Ресурс-Ф)
Середня	10 -50 м	10-25 м	1:200 000; 1:500 000; 1:1 000 000	Космознімання
		25-50 м	1:500 000; 1:1 000 000	Космознімання
Низька	50-250 м		Космознімання	

зв'язку (ПЗЗ) [7]. При опрацюванні космофото-знімків застосовують методи фотограмметрії. Зокрема, для визначення роздільної здатності фото-знімків застосовують *основне рівняння фотограмметрії*, що передає зв'язок між висотою знімання  $H$ , фокусною відстанню камери  $f$  та роздільною здатністю знімка  $m = fH$ . Має значення розмір зерна у фотографічному растрі від 1 до 10 мкм –  $l$ . Розрізненість на місцевості  $M = H2lf$ .

У космічному зніманні при використанні ПЗЗ отримують растрове зображення, яке складається з пікселів і яке сприймають комп'ютери наземних приймачів. Розмір пікселя визначає максимальну детальність космознімка. Роздільну здатність визначають як величину пікселя, який відповідає певному розміру території на Землі. Проте це теоретичне визначення на практиці має відхилення (спотворення), викликане оптичною системою сенсора, дією атмосферних ефектів, шумів приймача, а також проходженням траси знімань (у надирі над територією чи з відхиленнями від нього). Теоретично роздільна здатність знімка обраховується за формулою  $M = Haf$ , де  $a$  – величина елемента ПЗЗ-лінійки, або ПЗЗ-матриці [1].

Зважаючи на великий обсяг в Україні аерофото-матеріалів попередніх років знімань, а також наявність новітніх фотограмметричних сканерів, які дають змогу швидко і точно отримувати цифрові зображення на основі фотограмметричних, маємо змогу провести ретроспективний моніторинг досліджуваної території міста Києва. Сучасний математичний апарат для опрацювання космофото-знімків і переходу до цифрових зображень дозволяє отримати космозображення, придатні для використання у комп'ютерних технологіях, які забезпечують оновлення топографічної основи досліджуваної території та укладання моніторингових тематичних карт.

В Україні визначено сфери використання космознімків надвисокої та високої роздільної здатності, зокрема, в топографії, гідрографії, картографії, інженерній геології, геоелектрології, гірничодобувній промисловості, містобудуванні, управлінні зе-

мельними ресурсами, охороні природи, лісовому господарстві. Розроблено й тематику карт, які потрібно створювати для цих сфер суспільної діяльності. Аналізуючи її з позицій Класифікатора тематичних задач оцінки природних ресурсів та навколишнього середовища, що вирішуються з використанням матеріалів дистанційного зондування Землі [5], та враховуючи специфіку досліджуваної території, ми визначили основні

тематичні групи карт, що забезпечують моніторинг стану природних компонентів міського середовища (рельєфу, водних об'єктів, рослинності) та ландшафтів, контроль забудови Києва, виявлення позитивних та негативних рис у розвитку столиці. Для детального опрацювання тематики карт було проведено аналіз зображення всієї досліджуваної території.

Місто Київ відображується на чотирьох космознімках QuickBird. Їх і було використано в Інституті передових технологій для створення космофотоатласу Києва [3]. Розробники цього атласу О. В. Барладін та його співробітники орієнтувались на властивості знімків, отриманих від Київської компанії "ЕСОММ" – офіційного дистриб'ютора в Україні фірми "Eurimage", яка є постачальником знімків QuickBird. Зокрема, було виконано процедуру злиття мультиспектрального зображення без інфрачервоного каналу з панхроматичним для одержання кольорового зображення з роздільною здатністю 0,6 м. Для цього використано програму ERDAS Imagine із застосуванням методу заміни основної компоненти, який забезпечує максимальне збереження оригінальної радіометрії багатоспектрального знімка. Подальші процедури корекції зображення та переходу з режиму 16 біт до режиму 8 біт забезпечили зменшення розмірів файлів для зручності їх використання.

Спектрально відкоректовані знімки QuickBird були географічно прив'язані до векторної карти (плану кварталів Києва масштабу 1:2 000) шляхом набору контрольних точок і ректифікації їх у референцну проекцію електронної карти методом поліноміальної трансформації. Приведені у місцеву систему координат знімки сумішалися у ГІС-середовищі Arc View з раніше створеними в Інституті передових технологій картографічними шарами плану міста Києва. Це дало змогу оновити векторні шари, внісши зміни у планове положення наявних об'єктів та додавши новозбудовані об'єкти [2].

За свідченням фахівців, опрацьовані таким чином матеріали космознімання придатні для вико-



ристання у наукових дослідженнях [1]. Тому ми використали поліграфічно виданий космофотоатлас м. Києва [3] для підготовки методики застосування матеріалів ДЗЗ з метою моніторингу міського середовища.

Компоновку цього атласу ми використали як основу для створення інформаційної бази даних. У результаті опрацювання космознімків QuickBird розробники атласу спочатку отримали загальне цифрове космозображення міста Києва у масштабі 1:7 000, а потім його центру (1:3 500). Загальне зображення було розрізане на 209 аркушів, з яких 24 (№ 78-119) – це зображення центру міста. Кожен номер займає окремий аркуш – сторінку атласу, решта 175 аркушів-сторінок містять зображення у масштабі 1:7 000.

Відкривається атлас схемою розміщення сторінок атласу. Схему нанесено на зменшене космозображення території Києва. Її використовують для пошуку потрібного аркуша.

Сторінки атласу містять космозображення певної ділянки території з полями, де зображення продовжується. Ці поля подано для суміщення зображення з сусідніми сторінками. Номери сторінок розвороту атласу вміщено в лівому і правому верхніх кутах. Номери суміжних сторінок позначено по центру полів. Внутрішню обрізку сторінок на розвороті подано без полів по лінії їх суміщення. Кожну сторінку від 4-ї до 77-ї та від 120-ї до 209-ї розділено на 4 частини (А, Б, В, Г) для того, щоб прив'язати назви вулиць. Вони підписані на сторінках атласу і занесені до покажчика на сторінках 211-216. Так само й аркуші для центру міста розділено на 4 частини. У "Покажчику вулиць" подано назви вулиць і коди сторінок, де слід шукати конкретну назву вулиці, наприклад, *Тростянецька вул. – 146 В, 165 Б, 166 АБ*. Той же принцип використано і для кодування певного об'єкта, який підлягає моніторингу.

На другій і третій сторінці, де показано схему розграфки аркушів атласу, подано назви районів Києва та їх межі. На жаль, частину території Києва космозображенням не охоплено. На наступних сторінках підписами певного шрифту з тонким синім обводом білих літер подано назви ядер географічних або історико-географічних районів чи деяких житлових масивів без відображення їх конкретних меж.

Для вибору об'єктів моніторингу було переглянуто всі сторінки атласу. До речі, в ньому підписані не лише вулиці, проїзди, проспекти, бульвари, а й визначні об'єкти і споруди: з природних об'єктів – водні: річки, озера, протоки, затоки, канали, острови, а також споруди на них (мости – залізничні, пішохідний, метро та для автотранспорту), ліси і лісництва, парки, в т. ч. ботанічні сади, дендропарки, зоопарк, Гідропарк; садово-дачні ділянки, кладовища, меморіальні комплекси, природні урочища. Також підписані окремі визначні будівлі та їх комплекси: державні установи, будинки Уряду України, її Верховної Ради, Секретаріату Прези-

дента України, Міністерства закордонних справ України, медичні установи (Медмістечко, клініки і лікарні тощо) та навчальні заклади (університети, академії, інститути, технікуми, військовий лицей та вищі військові навчальні заклади), науково-дослідні установи; об'єкти історії і культури (комплекси національних заповідників, телецентр, кіностудія, палаци урочистих подій, Маріїнський, «Україна», дітей та юнацтва); музеї, театри, кінотеатри, консерваторія; виставкові центри; Будинок офіцерів Збройних сил України; бібліотеки; сакральні споруди (церкви, собори, мечеть, монастирі, крематорій).

У Києві є багато спортивних споруд, основні з них в атласі підписані, зокрема: стадіони, палаци спорту, спортбази, водно-спортивні станції, гірсько-лижний спорткомплекс, іподром; будівлі рекреаційного призначення (бази відпочинку, пансіонати, готелі); торговельні центри і ринки, Пасаж.

Звичайно, всі ці підписи надають надзвичайно потрібну інформацію. Проте найбільше інформації містить саме космозображення. Насамперед воно дає змогу скласти уявлення про планувальну структуру забудови (багатоповерхова чи одноповерхова). Можна визначити, де розміщуються теплиці та оранжереї, гаражі, ділянки території для паркових машин біля торговельних центрів і ринків. Можна також скласти уявлення про рух машин на дорогах, про характер рослинності (хвойна, листяна чи лугова) і загалом про її розподіл, навіть про породи дерев у обсадці вулиць, наприклад, тополі на бульварі Шевченка. З позицій завдань моніторингу можна визначити стан водних об'єктів: деякі стариці Дніпра зараз засипають, навиваючи пісок, а інші впорядковують як рекреаційні об'єкти. За жовто-сірим кольором зображення деяких водойм можна визначити їх забрудненість. Космозображення, скажімо, урочища Ліски передає характер меліоративного впорядкування території, а урочища Горбачиха – певну стадію будівництва Подільсько-Воскресенського моста. Дуже легко визначаються ділянки нової забудови на Лівобережжі Дніпра. Тому саме тут можна сподіватися на зміни міського середовища, які підлягають спостереженню за матеріалами нового космознімання.

У моніторингових дослідженнях для прив'язування об'єктів важлива інформація про номери усіх будинків, зображених на космознімку. Це дає змогу проводити порівняльний аналіз зображення в космоатласі Києва з таким картографічним твором, як "Київ. Атлас до кожного будинку" [4]. Зіставляючи атласи, можна ідентифікувати номери будинків і зчитувати зображення об'єктів, які на картах не відображені. За "Атласом до кожного будинку" можна визначити території промислової та господарської забудови, які не завжди точно можна відділити від житлової за космоатласом.

Таким чином, матеріали ДЗЗ можна використовувати разом з картографічними, отримуючи додаткову інформацію.





**Висновки та перспективи досліджень.** Розглянуто технічні параметри матеріалів ДЗЗ, які використані у моніторингових дослідженнях міського середовища Києва, починаючи з вибору типу космічного супутника, його орбіти, особливостей знімання поверхні Землі, використаного обладнання, параметрів отриманих космознімків (зокрема QuickBird) з надвисокою роздільною здатністю, що придатні для великомасштабного картографування урбанізованих територій, їх опрацювання наявними методами корекції (геодезичної, геометричної тощо) для одержання матеріалів, які можна використовувати в процесі моніторингового картографування, що здійснюється з метою написання методики виконуваних досліджень.

Подальші дослідження охоплюють сферу суто наукового характеру: системи об'єктів моніторингу міського середовища, їх класифікації, аспекти моніторингу просторово-часових змін стану об'єктів, прогнозування їх подальшої поведінки за матеріалами космоатласу міста Києва і за матеріалами наступних космознімків.

#### Література

1. Аристов, М.В. Быстрее, точнее, дешевле [Текст] / М.В. Аристов // Геопрофиль, май-июнь, 2008. – С. 11-24.
2. Барладин, А.В. Использование космических снимков высокого пространственного разрешения для создания фотоатласа города (на примере Киева) [Текст] / А.В. Барладин, П.Д. Ярошук // Учен. зап. ТНУ. Серия: География, 2006. – Т. 19. – № 2. – С. 3-10.
3. Київ. Космофотоатлас. Місто 1: 7 000. Центр 1:3 500 / Наук. кер. О. В. Барладин. – К.: Ін-т передов. технологій, 2006. – 216 с.
4. Київ. Атлас до кожного будинку [1:16 000; центр 1:10 000]. – К.: Ін-т передов. технологій, 2008. – 100 с.
5. Классификатор тематических задач оценки природных ресурсов и окружающей среды, решаемых с использованием материалов дистанционного зондирования Земли. Ред. 7 [Текст]. – Иркутск: ООО "Байкальский центр", 2008. – 80 с.
6. Руденко, Л.Г. Картографические исследования природопользования (теория и практика работ) [Текст] / Л.Г. Руденко, Г.О. Пархоменко, А. Н. Молочко. – К.: Наук. думка, 1991. – 212 с.
7. Соломаха, І.В. Наукові основи укладання планів міст за космічними знімками для потреб містобудування (на прикладі окремих міст України) [Текст] / І.В. Соломаха. – Автореф. канд. дис. з геогр. картографії. – К.: Ін.-т геогр. НАНУ, 2010. – 20 с.
8. Стан і перспективи дистанційного зондування Землі в Україні: доп. Укр. центру менеджм. Землі і ресурсів (2000 – 2001 рр.) [Текст] – К.: УЦМЗ, 2002. – 94 с.
9. Тарангул, Д.О. Сучасний стан і принципи геоecологічного картографування урбанізованих територій на основі використання матеріалів ДЗЗ [Текст] / Д.О. Тарангул, О.І. Кудряшов, А.Г. Мичак, В.Є. Філіпович // Національне картографування: стан, проблеми та перспективи розвитку. – К.: Укргеодезкартографія, 2005. – С. 153-157.
10. Экология города: учебник; под общ. ред. проф. Стольберга Ф. В. – К.: Либра, 2000. – 464 с.

Надійшла 22.03.11