



## РОЗВИТОК МЕТОДІВ ДЕШИФРУВАННЯ ОБ'ЄКТІВ МІСЦЕВОСТІ ПРИ ТОПОГРАФІЧНОМУ ЗНІМАННІ КОСМІЧНИМИ СИСТЕМАМИ ДЗЗ

*Анализируются возможности получения космических данных в процессе дистанционного зондирования Земли, а также опыт и перспективы использования этих данных для создания топографических карт. Приводятся общие сведения о методах дешифрирования данных ДЗЗ. Особое внимание уделяется особенностям дешифрирования материалов космических съёмок для топографического картографирования территории Украины. Существующее состояние дел в сфере дешифрирования космических снимков рассматривается с учётом трёх компонент: технического, программного и методического обеспечения работ.*

*Existing capabilities of obtaining space remote sensing data, experience and aspects of using these data for topographical mapping are analyzed. The overview of remote sensing data identification methods is given. An emphasis is put on features of space survey data identification for topographical mapping of Ukraine's territory. Existing conditions in the field of satellite image identification are considered with taking into account three components: methodological, software and technical support of works.*

**Вступ.** Весь світ прагне мати актуальну та достовірну інформацію про об'єкти місцевості, що картографуються. В Україні більшість картографічних матеріалів застаріла. Через це наразі виникла гостра необхідність повномасштабних робіт з топографічного картографування її теренів. Оскільки світовий ринок матеріалів космічного знімання високої роздільної здатності постійно розширюється, питання використання космічних знімків для створення та оновлення топографічних карт великих масштабів, а також створення баз даних з високим рівнем достовірності просторової інформації вирішується легко. З огляду на оперативність отримання інформації та фінансову доцільність такої операції при картографуванні значних територій – це найкращий вихід зі становища, яке склалося в Україні з топографічним картографуванням.

Розвиток геоінформаційних систем та засобів дистанційного зондування зумовив виникнення нового геоінформаційного продукту – ортофотозображення. Тривалий час у топографо-геодезичному виробництві одержання ортофотозображення сприймалося як проміжний етап у процесі виготовлення картографічних творів. Зараз ортофотозображення є повноцінним і дуже важливим видом геоінформаційної продукції, що використовується для вирішення багатьох прикладних задач.

Принагідно зазначимо, що певний час база дистанційного топографічного картографування – фотограмметрія розвивалася паралельно чи навіть у відриві від суміжних областей знань, зокрема від дистанційного зондування Землі. Якщо взяти до уваги, що одним зі шляхів вирішення науково-практичних задач є порівняння, залучення та використання науково-технічних досягнень різних областей знань, то перспективність дослідження методів ДЗЗ для цілей топографічного картографування місцевості є незаперечним фактом.

**Попередні дослідження та публікації.** Зі зростанням інтересу до продукції супутникових систем збільшується і кількість досліджень, які спря-

мовані на визначення придатності космічних знімків для розв'язання тих чи інших науково-практичних задач [2-4,6].

Однією з вагомих складових процесу створення ортофотозображення як окремого геоінформаційного продукту є процес дешифрування зображення. Більшість наукових праць написано на тему дешифрування дрібномасштабних космічних знімків для цілей сільського господарства, аналізу надзвичайних ситуацій, охорони навколишнього природного середовища. Сьогодні дуже актуальним науковим завданням є використання засобів та методів ДЗЗ для цілей топографічного картографування місцевості.

**Метою даної статті** є короткий аналіз існуючого стану ДЗЗ у світі, висвітлення перспектив використання космічних знімків високої роздільної здатності для топографічного картографування місцевості. Особлива увага приділяється питанню дешифрування космічних зображень.

**Вклад основного матеріалу. Дешифрування аерокосмічних зображень.** Фотограмметрія та дистанційне зондування Землі – основа топографічного картографування місцевості. Технологічно процес отримання картографічних даних із аерокосмічних зображень складається з кількох послідовних етапів, одним з яких є *етап дешифрування знімків*. На даному етапі виконується збір інформації про топографічні об'єкти за матеріалами космічних знімків (як і аерознімків) для подальшого їх внесення до бази топографічних даних.

Дешифрування – це процес вивчення за аеро- й космічними зображеннями територій суходолу, акваторій морів та океанів і атмосфери, який ґрунтується на виявленні залежності між особливостями об'єктів, що дешифруються, і характером їхнього відтворення на знімках. Змістом і завданням дешифрування є одержання зі знімків певного обсягу якісної та кількісної інформації про стан, склад, структуру, масштаби, взаємозв'язки і динаміку процесів, явищ і об'єктів за дешифрувальними ознаками.

За суттю дешифрування може бути *загально-географічним (топографічним)* і *тематичним* (на-



приклад геологічним, геоботанічним, ґрунтовим) [10]. Згідно з каталогом об'єктів місцевості, що відображаються на топографічних картах масштабу 1:10 000, топографічне дешифрування має своїми об'єктами гідрографічну мережу, елементи рельєфу, рослинність, ґрунти, населені пункти, окремі будівлі та споруди, дороги, межі та огорожі.

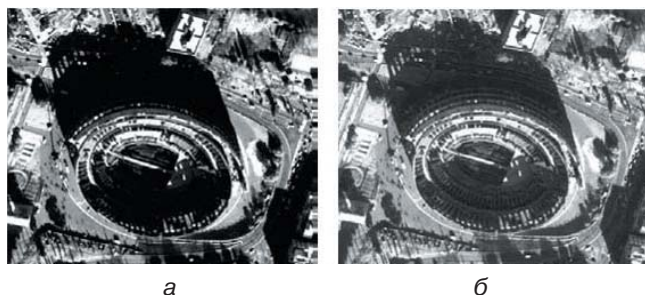
Дешифрування об'єктів місцевості при топографічному картографуванні території космічними системами ДЗЗ нині важко уявити без застосування для цього засобів технічного, програмного й методичного забезпечення.

*Технічне забезпечення* процесу дешифрування космічних знімків складається з оптико-електронних та радарних супутникових систем. У свою чергу продукція оптико-електронних супутників за спектральними характеристиками поділяється на панхроматичні й мультиспектральні зображення (мал. 1), зображення у природних кольорах та псевдокольорах.



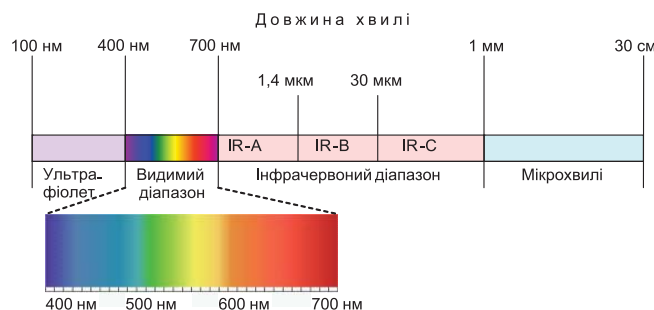
Мал. 1. Мультиспектральний знімок із супутника QuickBird (зліва) та панхроматичний знімок WorldView-1 (справа). Просторова роздільна здатність знімків 61 та 50 см відповідно

Мультиспектральне зображення складається з чотирьох окремих шарів, які не перекривають один одного та мають в основному 8 або 11-бітову глибину кольору. Візуально побачити різницю в якості двох панхроматичних знімків можна на мал. 2.



Мал. 2. Порівняння панхроматичних космічних знімків різної радіометричної роздільної здатності [11]: а – 8 біт на піксел (256 градацій кольору); б – 11 біт на піксел (2048 градацій)

Мультиспектральне зображення покриває видимі та ближні інфрачервоні довжини хвиль (мал. 3).



Мал. 3. Область електромагнітного спектра, в якій одержують космічні знімки

Сенсори камер, встановлених на космічних апаратах, сконструйовані так, щоб уловлювати окремі діапазони спектра, наприклад видимі. Мультиспектральний радіоприймач уловлює випромінювання в кількох спектрах довжин хвиль даної спектральної області.

За однакових умов панхроматичні знімки мають вищу просторову роздільну здатність. Вони придатні для вирішення топографічних задач та уточнення меж об'єктів, що виділяються на мультиспектральних знімках низької просторової роздільної здатності.

Для радарної зйомки використовується сантиметровий діапазон радіохвиль. Основною перевагою знімків цього класу є те, що їх якість не залежить від погодних умов. Оскільки радар реєструє випромінювання, відбите земною поверхнею, то для його роботи не потрібне сонячне світло. Крім того, радіохвилі цього діапазону вільно проходять крізь хмари і навіть здатні проникати на деяку глибину в землю [8].

У таблицях 1 та 2 наведено основні характеристики найвідоміших оптико-електронних і радарних супутників.

Ступінь розпізнавання об'єктів на космічному знімку і визначення характеристик залежить не тільки від просторової, а й від радіометричної роздільної здатності зображення, від кількості й складу спектральних каналів. Дешифрувальні якості знімка можна поліпшити за допомогою радіометричної корекції, що реалізовано в більшості програм, призначених для оброблення космічних знімків. Такими програмними продуктами і представлено *програмне забезпечення* дешифрування космічних знімків.

Радіометрична корекція – це виправлення на етапі попередньої підготовки знімків радіометричних спотворень, спричинених характеристиками знімального апарата. Для сканерних знімальних приладів такі дефекти встановлюються візуально як модуляція зображення (смуги) у напрямках паралельно або перпендикулярно до осі зображення [9]. Попередня радіометрична корекція здійснюється



Таблиця 1. Оптико-електронні космічні системи ДЗЗ

Назва супутника	Організація-власник	Дата запуску	Висота орбіти, км	Періодичність знімання, дб	Смуга знімання, км	Просторова роздільна здатність, м		Можливість стереозйомки
						панхроматична	мультиспектральна	
QuickBird WORLDVIEW-1	DigitalGlobe (США)	18.10.2001	450	1-5	16,5	0,61	2,44	немає
	DigitalGlobe (США)	18.09.2007	496	1-6	17,6	0,5	-	є
IKONOS 2	GEOEYE (ORBIMAGE) (США)	24.09.1999	681	1-5	11,0	1,0	4,0	є
OrbView-3	GEOEYE (ORBIMAGE) (США)	26.06.2003	470	1-5	8,0	1,0	4,0	є
GeoEye-1	GEOEYE (ORBIMAGE) (США)	06.09.2008	681	2-8	15,2	0,41	1,64	є
IRS 1C	ISRO (Індія)	28.12.1995	817	5-24	70,0 – PAN; 142,0 – LISS-III; 804,0 – WIFS	5,8	5,8 – LISS-III; 188,0 – WIFS	є у панхроматичному режимі
IRS 1D	ISRO (Індія)	29.09.1997	817	5-24	70,0 – PAN; 142,0 – LISS-III; 804,0 – WIFS	5,8	5,8 – LISS-III; 188,0 – WIFS	є у панхроматичному режимі
IRS 2A (Cartosat 2)	ISRO (Індія)	10.01.2007	635	4	9,6	1,0	-	є
Spot-4	SpotImage (Франція)	24.05.1998	832	26	60,0 – HRVIR1 та HRVIR2; 2250,0 – VEGETATION	10,0 – HRVIR1 та HRVIR2; 1165,0 – VEGETATION	20,0 – HRVIR1 та HRVIR2	є у HRVIR1 та HRVIR2; немає у VEGETATION
Spot-5	SpotImage (Франція)	04.05.2002	832	26	60,0 – HRVIR1 та HRVIR2; 2250,0 – VEGETATION	2,5 – HRVIR1 та HRVIR2; 5,0 – VEGETATION	10,0; 20,0 – HRVIR1 та HRVIR2; 1165,0 – VEGETATION	є у HRVIR1 та HRVIR2; немає у VEGETATION
KOMPASAT 1	SpotImage (Корея)	20.12.1999	685	28	17,0 – EOC; 800,0 – OSMI	6,6	1000,0	є у панхроматичному режимі
KOMPASAT 2 (ARIRANG-2)	SpotImage (Корея)	28.07.2006	685	3	15,0	1,0	4,0	немає
FORMOSAT-2 (ROCSAT-2)	SpotImage (Тайвань)	20.05.2004	891	1	24,0	2,0	8,0	немає
LANDSAT 5	NASA / USGS (США)	01.03.1984	705	16	185,0	-	30,0; 120,0	немає
LANDSAT 7	NASA / USGS (США)	15.04.1999	705	16	185,0	15,0	30,0; 60,0	немає
TERRA (EOS/AM-1)	NASA Goddard Space (США, Канада, Японія)	18.12.1999	705	16	60,0	-	15,0 - 90,0	є тільки у оптичному датчику ASTER VNIR
ALOS	JAXA (Японія)	24.01.2006	691,65	1 - 2	70,0	2,5	10,0	є у панхроматичному режимі
СВЕРС-1	СВЕРС (Китай, Бразилія)	14.10.1999	778	26	890,0 – WFI; 113,0 – HRCC; 120,0 – IRMSS	20,0; 80,0	20,0 - 260,0	немає
Монитор-Э	Роскосмос (Росія)	26.08.2005	540	4 - 6	160,0	8,0	20,0	немає
Ресурс ДК	ФДПУ ДНВРКЦ «ЦСКБ-ПРОГРЕСС» (Росія)	15.06.2006	361	6	28,0	1,0	2,0 - 3,0	немає



Таблиця 2. Радіолокаційні космічні системи ДЗЗ

Назва	Організація-власник	Дата запуску	Термін роботи, роки	Висота орбіти, км	Встановлена апаратура	Частотний діапазон	Просторова роздільна здатність, м
ENVISAT	ESA (Європа)	01.03.2002	5	782	ASAR , MERIS, MIPAS, RA-2, LRR	5,331 (C-band)	30,0
ERS 2	ESA (Європа)	29.03.1995	3	785	AMI-SAR Image Mode TSX-SAR:	5,3 (C-band)	26x30
TERRASAR-X	DLR (Німеччина)	15.06.2007	5	514	Spotlight HS (надвисокої роздільної здатності)	9,65/3,1 (X- band)	1,0
					Spotlight SL (високої роздільної здатності)		2,0
					Experimental Quadpol:		3,0
					Stripmap (широкополюсний високої роздільної здатності)		16,0
RADARSAT 1	RadarSat Intl (Канада)	04.11.1995	5	798	ScanSAR (середньої роздільної здатності)	5,3 (C-band)	8x8
					SAR (7 режимів):		18x26
					Fine (високої роздільної здатності)		25x26
					Extended high (розширений високої роздільної здатності)		30x26
					Standard (стандартний)		40x26
					Wide (широкозахватний)		12x8
					Extended low (розширений низької роздільної здатності)		25x8
					Fine Quad-pol (високої роздільної здатності з повною поляризацією)		3x3
					Standard Quad-pol (стандартний з повною поляризацією)		50x50
					Ultra-Fine (надвисокої роздільної здатності)		100x100
RADARSAT 2	RadarSat Intl (Канада)	08.12.2007	7	798	ScanSAR Narrow (вузький низької роздільної здатності)	5,405 (C-band)	8x8
					ScanSAR Wide (широкий низької роздільної здатності)		18x26
					Fine (високої роздільної здатності)		25x26
					Extended high (розширений високої роздільної здатності)		30x26
					Standard (стандартний)		40x26
					Wide (широкозахватний)		12x8
					Extended low (розширений низької роздільної здатності)		25x8
					Fine Quad-pol (високої роздільної здатності з повною поляризацією)		3x3
					Standard Quad-pol (стандартний з повною поляризацією)		50x50
					Ultra-Fine (надвисокої роздільної здатності)		100x100
ALOS	JAXA (Японія)	24.01.2006	5	691	PRISM (картографічна стереокамера)	1,27 (L-band)	2,5
					AVNIR-2 (мультиспектральна камера)		10
					PALSAR (радар L-діапазону)		10-100



постачальником даних перед наданням знімків замовнику і передбачає нормування відгуків детекторів сенсора. Додаткові операції радіометричної корекції можуть бути виконані як постачальником, так і самим замовником даних за допомогою спеціального програмного забезпечення [7].

Найпопулярніші серед користувачів програмні продукти, в яких реалізовано функцію радіометричної обробки зображення, представлено у табл. 3.

У результаті з'явилася класифікація методів дешифрування аерознімків: візуальний, аеровізуальний та дешифрування за допомогою стаціонарних приладів (мал. 4). Внаслідок стрімкого розвитку комп'ютерної техніки до цих методів додалося дешифрування аерознімків на цифрових фотограмметричних станціях.

З появою та розвитком засобів дистанційного зондування Землі, особливо технологій космічно-

Таблиця 3. Фотограмметричне програмне забезпечення для обробки космічних зображень

Розробник	Назва продукту	Останнє оновлення	Типи зображень, що підтримуються
"Гео-Надир"	StereoScan	2006 р. (версія 2.0)	Знімки центральної проєкції, космічні зображення сканерного типу
"Ракурс"	PHOTOMOD	2008 р. (версія 4.4)	Знімки центральної проєкції, знімки ADS-40, космічні зображення сканерного типу
"Талка-ГИС"	ЦФС "Талка"	2008 р. (версія 3.6)	Аерофото- і цифрові знімки, фототеодолітне знімання, космічні знімки центральної проєкції та сканерного типу
ЦНДІГАіК (Росія); ДНВП "Геосистема" (Україна)	ЦФ ЦНИИГАиК - Delta Digital	2008 р.	Знімки центральної та панорамної проєкції, сканерні зображення; аерокосмічні та наземні знімки
ERDAS Inc. (США)	Leica Photogrammetry Suite	2008 р. (версія 9.2)	Кадрові та цифрові знімки, відеографія, космічні знімки
INPHO (Німеччина) – відділення Trimble's Spatial Imaging Initiative (США)	INPHO (сім'я програмних продуктів, яку складають близько 15-ти модулів)	2008 р.	IRS 1C/1D, Aster; можливість налаштування на нові типи сенсорів
PCI Geomatics (Канада)	Geomatica	1982 р.	Аерофото-, відео- (у т. ч. UltraCam) і космічні зображення. Доступна панель налаштування параметрів сенсорів
Z/I Imaging Corp. – підрозділ Intergraph Corp. (США)	ImageStation (сім'я програмних продуктів, яку складають більше ніж 20 модулів)	1992 р.	Аерознімки центральної проєкції (аналогові та цифрові повно- і середньоформатні камери), космічні знімки, знімки ADS-40

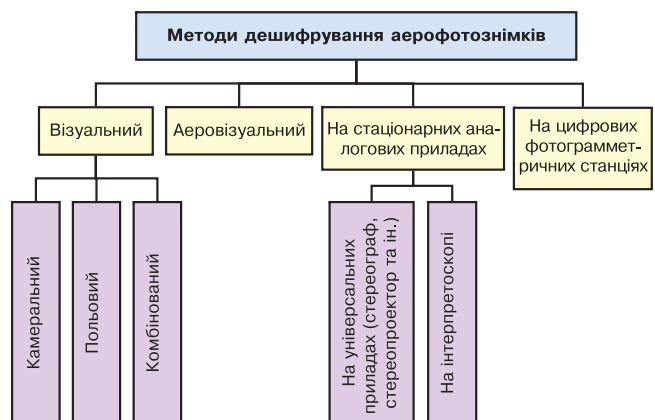
Методичне забезпечення дешифрування космічних знімків. Інформаційні можливості різних знімальних систем неоднакові, тому і прийоми й методи дешифрування різні. Відмінності в методиках дешифрування при топографічному картографуванні аеро- та космічних зображень пояснюються головним чином відмінностями у природі формування цих видів зображень, їхніми образотворчими особливостями, різною роздільною здатністю та іншими факторами (наприклад, висота знімання, різний набір метаданих тощо).

Центральний науково-дослідний інститут геодезії, аерознімання і картографії (ЦНДІГАіК; м. Москва) ще в 1968 р. провів масштабні роботи з укладання методики дешифрування аерознімків для потреб топографічного знімання й оновлення карт масштабів 1:10 000 та 1:25 000. У ході цих робіт було досліджено фактори, що визначають характер зображення місцевості на аерознімках, виявлено особливості аерофото зображення та дешифрувальні ознаки об'єктів, виписано вимоги до організації аерофото знімання, розроблено методики топографічного суцільного польового, суцільного камерального та інших видів дешифрування, а також методики дешифрування окремих класів топографічних об'єктів: гідрографії, елементів рельєфу, рослинності, ґрунтів, населених пунктів, окремих будівель та споруд, доріг, кордонів та меж з урахуванням психофізіологічних особливостей дешифрувальника [1].

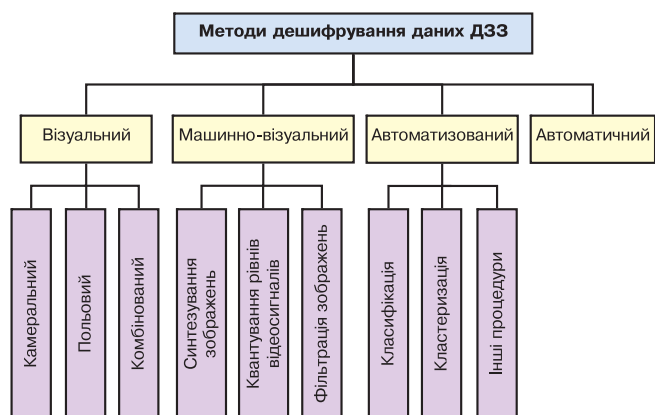
го знімання та спеціалізованого програмного забезпечення, класифікація методів дешифрування знімків зазнала суттєвих змін (мал. 5). Її видозмінили машинно-візуальний, автоматизований та автоматичний методи дешифрування.

Варто зазначити, що методи дешифрування не завжди можна чітко розділити. З часом вони вдосконалюються, змінюється роль людини в їх реалізації, тому методи можуть трансформуватися з одного в інший [5].

На основі робіт, проведених ЦНДІГАіК, було видано низку нормативно-технічних документів,



Мал. 4. Класифікація методів дешифрування аерофото знімків



Мал. 5. Класифікація методів дешифрування даних ДЗЗ

які використовуються до сьогодні при створенні топографічних карт на основі матеріалів аерознімання. Проте ці методи дешифрування вже не відповідають сучасному рівню розвитку засобів ДЗЗ. Наразі в Україні немає жодного нормативно-технічного документа, де була б вписана методологія дешифрування саме космічних зображень.

Отже, маємо точний орієнтир для подальших наукових досліджень. Важливим завданням є розроблення методичних основ класифікації та дешифрування об'єктів місцевості для потреб топографічного картографування території. Нові методики дешифрування об'єктів місцевості апробуватимуться на фотограмметричному полігоні ДЗЗ. Такий полігон на території України вже створено у Вінницькій області. Вся його територія покрита наземним, аеро- та космічним зніманням (дані супутникової системи QuickBird, а в перспективі й дані інших космічних систем високої та середньої роздільної здатності). Полігон призначений головним чином для порівняння супутникових зображень та матеріалів аерофотознімання з метою використання їх для топографічного картографування території.

**Висновки та перспективи досліджень.** Сучасний рівень розвитку ДЗЗ вищий, ніж рівень фотограмметричної технології оброблення знімків, яка використовується при топографічному картографуванні території України.

Широке застосування методів ДЗЗ для цілей топографічного картографування є одним з основних завдань нашої галузі. Для вдосконалення технології створення та оновлення топографічних матеріалів необхідно розробити методичні основи використання даних космічних знімків спеціально для топографічного картографування територій. Зокрема, це стосується методики дешифрування аерокосмічних зображень та класифікації об'єктів місцевості, що розпізнаються на космоснімках.

Зважаючи на непинний розвиток інформаційних технологій та появу все досконаліших програмних засобів, актуальною задачею також є розроблення методів класифікації даних для автоматизованого розпізнавання образів об'єктів місцевості.

Одним зі шляхів залучення засобів ДЗЗ для цілей топографічного картографування місцевості стала побудова в Україні фотограмметричного полігона. Такий полігон за наявності сталого комплексу умов є оптимальним для визначення доцільності використання різних даних ДЗЗ для цілей топографічного картографування.

### Література

1. Гольдман Л. М., Вольпе Р. И. Дешифрирование аэроснимков при топографической съемке и обновлении карт масштабов 1:10 000 и 1:25 000 // Тр. ЦНИИГАиК. – Вып. 185. – М.: Недра, 1968. – 192 с.
2. Дорожинський О. Л., Тукай Р. Фотограмметрія: Підручник. – Л.: Вид-во НУ «Львівська політехніка», 2008. – 332 с.
3. Карпінський Ю.О., Скакодуб Л.О., Егоров А.В. Започаткування полігона дистанційного зондування Землі для топографічного картографування // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 1. – С. 31-37.
4. Карпінський Ю.О., Скакодуб Л.О., Егоров А.В. Досвід використання космічних знімків із супутника QuickBird (Standard) для великомасштабного картографування // Вісн. геодез. та картогр. – 2007. – № 2. – С. 22-29.
5. Карпинский Ю.А., Скакодуб Л.А., Егоров А.В., Кобылинская Е.В. Построение и обустройство полигона ДЗЗ для обеспечения крупномасштабного топографического картографирования на Украине // Геоматика. – 2009. – № 2. – С. 56-58.
6. Обиралов А. И., Лимонов А. Н., Гаврилова Л. А. Фотограмметрия и дистанционное зондирование: Учеб. пособие для студ. высш. учеб. завед. – М.: КолосС, 2006. – 334 с.

### Інтернет-джерела

7. Адров В.Н., Карионов Ю.И., Титаров П.С., Чекурин А.Д. Критерии выбора данных ДЗЗ для топографического картографирования. – <http://www.racurs.ru/?page=303>
8. Андрианов В. Свойства данных дистанционного зондирования // Arcreview – современные геоинформационные технологии. – 2001. – № 2. – [http://loi.sccc.ru/gis/daplus/arcrev/Number\\_17/3\\_Svoistva.htm](http://loi.sccc.ru/gis/daplus/arcrev/Number_17/3_Svoistva.htm)
9. Кичигин А., Андреас Герике. Радиометрическая коррекция VNIR данных ASTER. – [http://gis-lab.info/qa/aster\\_radiocorr.html](http://gis-lab.info/qa/aster_radiocorr.html)
10. Словарь по геоинформатике ГИС-ассоциации. – <http://www.gisa.ru/13185.html>
11. [http://www.sovzond.ru/InFo-data/item\\_032/spic\\_0000481.jpg](http://www.sovzond.ru/InFo-data/item_032/spic_0000481.jpg)

Надійшла 24.06.09