

В.В. Омельчук, к.т.н., доц., с.н.с.**О.Г. Кравець, заст. нач. відд.****А.О. Хабчук, нач. відд.***Житомирський військовий інститут ім. С.П. Корольова
Національного авіаційного університету*

ОСНОВИ ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОЇ ЗЙОМКИ ДЛЯ ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ ТЕРИТОРІЯМИ

Проведено аналіз матеріалів космічної зйомки щодо можливості інформаційного забезпечення вирішення цільових завдань управління міськими територіями. Узагальнено й систематизовано напрямки та запропоновано загальну методику цільового застосування космічних знімків щодо створення шарів просторової інформації для геоінформаційних систем підтримки міського управління.

Актуальність проблеми дослідження. Для ефективного управління муніципальними утвореннями й регіонами, що динамічно розвиваються, необхідні достовірні й актуальні дані про об'єкти та процеси на їх території, а також передові технології накопичення, обробки й представлення інформації. Завдяки великій оглядовості, генералізації зображень, комплексному відображенню усіх компонент геосфери космічні знімки є джерелом об'єктивної видової інформації про будь-які території поверхні Землі. Знімки із космосу містять фактографічну складову, а результати її тематичного дешифрування утворюють інтерпретаційну частину інформаційної основи матеріалів космічної зйомки. Можливість застосування сучасних геоінформаційних технологій для обробки цифрових космічних знімків, які добуваються методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) із космосу, дозволяє наочно відобразити й інтерпретувати інформацію про конкретні об'єкти, процеси та явища у їх сукупності [1, 2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Місто (населений пункт) успадковує від природи тільки традиційний набір компонентів природного ландшафту – геологічну основу, головні риси рельєфу і зональні особливості клімату та рослинності. Архітектурні споруди, промислові об'єкти, комунікації, твердий штучний покрив земної поверхні, антропогенна рослинність, техногенні відкладення та інші елементи, що створені людиною, утворюють антропогенний компонент міського ландшафту. Компоненти природного середовища, що утворюють ландшафтні комплекси навколо великих населених пунктів та промислових центрів, трансформуються під дією зовнішніх антропогенних факторів, частина яких пов'язана з соціально-технічним розвитком міст [3]. Міські території утворюють природно-антропогенний комплекс, управління яким потребує вирішення архітектурно-будівельних, екологічних, соціально-економічних та інших цільових завдань. Проблеми цільового застосування видової космічної інформації при вирішенні різних тематичних завдань знайшли відображення у ряді публікацій [1–6] та ін. Застосування матеріалів космічної зйомки для потреб управління міськими територіями у зазначених роботах розглядається стосовно вирішення тільки окремих цільових завдань: землекористування [1, 3, 4], екологія [1, 3, 5], моніторинг ландшафту [2, 4], об'єктивна оцінка стану муніципальних земель і забудов [1–4], водозабезпечення [5, 6] та деякі інші. Однак бурхливий розвиток геоінформаційних технологій та техніки космічної зйомки дає значно ширші можливості цільового застосування матеріалів космічної зйомки щодо інформаційного забезпечення управління міськими територіями.

Мета статті. Систематизація й узагальнення напрямків та розробка методики цільового застосування матеріалів космічної зйомки для інформаційної підтримки управління міськими територіями на основі аналізу багатоспектральних видових космічних даних.

Викладення основного матеріалу дослідження. При космічних дистанційних методах досліджень інформація про наземні об'єкти й ландшафт поверхні передається за допомогою електромагнітного випромінювання, яке характеризується інтенсивністю, спектральним складом, поляризацією та напрямком розповсюдження. Детальніше зупинимося на видимому й ближньому інфрачервоному діапазоні спектра випромінювань, оскільки у ньому досягнуто найкращого просторового й спектрального розрізнення матеріалів космічної зйомки. У цьому ж діапазоні зосереджено 95 % енергії сонячної радіації, яка здійснює опромінення ("підсвітку") наземних природних й антропогенних компонентів міського ландшафту, а потужність відбитого від них сонячного випромінювання вдень значно перевищує їх власне теплове випромінювання. Взаємодія електромагнітних хвиль сонячної радіації з наземними природно-антропогенними компонентами й проходженням її через атмосферу полягає у відбиванні, поглинанні й розсіюванні сонячної радіації у видимому й ближньому інфрачервоному діапазоні спектра, а в середній й далекій інфрачервоних областях оптичного випромінювання – власне (теплове) випромінювання й пропускання. Природні й антропогенні об'єкти відбивають сонячну радіацію певним, характерним тільки для них, чином. Вимірювання кількісних характеристик електро-

магнітного поля випромінювання є основою дистанційного дослідження наземних природних й антропогенних об'єктів [4, 5].

Вдень наземні компоненти геосфери опромінюються прямим сонячним випромінюванням, яке ослаблюється атмосферою, та об'ємно-розсіяним випромінюванням атмосфери. Сумарне відбите від елементарної ділянки наземної поверхні випромінювання та об'ємно-розсіяне випромінювання атмосфери, яке діє в напрямку оптичного приладу, реєструється на борту космічного апарата й утворює результуючу яскравість піксела цифрового зображення. Друга складова є завадою, яка погіршує відношення сигнал/шум в елементарному інформаційному каналі знімальної апаратури й спотворює зображення. Якщо атмосфера непрозора, то проводити космічну зйомку в оптичному діапазоні нема сенсу. Якщо атмосфера досить прозора, то друга складова яскравості піксела невелика, і її можна не враховувати. Перша складова яскравості піксела містить інформацію про відбивальні характеристики об'єктів на елементарній ділянці земної поверхні. Яскравість піксела i -го рядка j -го стовпця цифрового зображення, що зняте в надири, спрощено описується такою математичною моделлю [1, 5]:

$$B_{ij} = \frac{1}{\pi} \cdot \sin \theta_C \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_0(\lambda) \cdot K_{\theta_C}(\lambda, H_A) \cdot K_A(H_A) \cdot \beta(\lambda) \cdot R_{ij}(\lambda) d\lambda, \quad (1)$$

де $E_0(\lambda)$ – спектральна щільність потоку сонячного випромінювання на верхній межі атмосфери при нормальному падінні; $K_{\theta_C}(\lambda, H_A)$ – коефіцієнт пропускання атмосфери на довжині хвилі λ для кута місця Сонця θ_C ; $K_A(H_A)$ – коефіцієнт передачі атмосферою сонячного випромінювання, що відбивається від земної поверхні; $\beta(\lambda)$ – спектральний коефіцієнт відбивання об'єктів земної поверхні; $R_{ij}(\lambda)$ – спектрально-просторова характеристика ij -го елементарного інформаційного каналу приладу оптичної зйомки; H_A – товщина шару атмосфери між знімальним приладом й поверхнею, що знімається.

У рівнянні (1) характеристики θ_C , λ , $E_0(\lambda)$, $K_{\theta_C}(\lambda, H_A)$, $K_A(H_A)$, $R_{ij}(\lambda)$ та H_A для конкретного кадру зйомки майже незмінні й майже всі відомі. Тому яскравість окремих пікселів цифрового знімку буде визначатись в основному значеннями спектрального коефіцієнта відбивання $\beta(\lambda)$ видимих поверхонь об'єктів, що розташовані на елементарній ділянці земної поверхні.

Для панхроматичного [зр. рап – охоплюючий всі + chgто – колір] знімку, який зазвичай охоплює майже всю кольорову палітру видимого діапазону спектра (діапазон довжин хвиль складає декілька сот нанометрів), використовується усереднення спектрального коефіцієнта відбивання елементарної ділянки поверхні – інтегральний коефіцієнт відбивання l -го матеріалу поверхні наземного піксела:

$$\beta_{int l} = \int_{\lambda_H}^{\lambda_B} \beta_l(\lambda) d\lambda, \quad (2)$$

де λ_H , λ_B – нижня й верхня межа спектрального діапазону панхроматичного знімального каналу.

Тоді яскравість піксела i -о рядка j -о стовпця цифрового панхроматичного зображення, що зняте в надири, спрощено описується такою математичною моделлю:

$$B_{ij \text{ ПХР}} = \beta_{int l} \cdot K_{YM}(\theta_C, \lambda, H_A) \quad [\text{Вт} / (\text{ср} \cdot \text{м}^2)], \quad (3)$$

де $K_{YM}(\theta_C, \lambda, H_A)$ – коефіцієнт, що визначається умовами знімання (освітленість сцени зйомки, поглинання сонячного випромінювання атмосферою, спектральний діапазон, параметри апаратури знімання та ін.), який майже постійний для конкретного кадру зйомки:

$$K_{YM}(\theta_C, \lambda, H_A) = \frac{1}{\pi} \cdot \sin \theta_C \cdot \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} E_0(\lambda) \cdot K_{\theta_C}(\lambda, H_A) \cdot K_A(H_A) \cdot R_{ij}(\lambda) d\lambda. \quad (4)$$

За спектральною відбивною здатністю всі об'єкти природно-техногенної системи можна умовно поділити на п'ять класів: ґрунти (гірські породи), рослинність, агроландшафт (залежно від вегетаційного та господарського періодів набуває спектральних ознак ґрунтів або рослинності), водні поверхні, ділянки переважно з промисловою або житловою забудовою, до яких належить й транспортна мережа. Для поділу зображень у просторі зазначених класів найінформативнішими є червоний та інфрачервоний спектральні діапазони. Однак це не виключає залучення для формування космічних зображень зеленого й середнього інфрачервоного та інших спектральних каналів і їх комбінацій [5].

Дешифрування космічних знімків з метою виявлення й розпізнавання елементів ландшафту та урбанізованих територій здійснюється як за прямими (яскравість, тон, текстур, колір), так і за опосередкованими ознаками зображень. У випадку, коли застосовують тільки один спектральний канал зйомки, матеріали космічної зйомки дають можливість ідентифікувати за прямими ознаками тільки такі об'єкти, що розрізняються за значеннями інтегральних коефіцієнтів відбивання $\beta_{int l}$ [7, 8]. Яскравість та тон зображень визначально залежать від інтегрального коефіцієнта відбивання $\beta_{int l}$ поверхонь об'єктів спостереження. Значення інтегральних коефіцієнтів відбивання $\beta_{int l}$ для різних типів підстильної поверхні суші та деяких типів водних поверхонь наведені у табл. 1 [6].

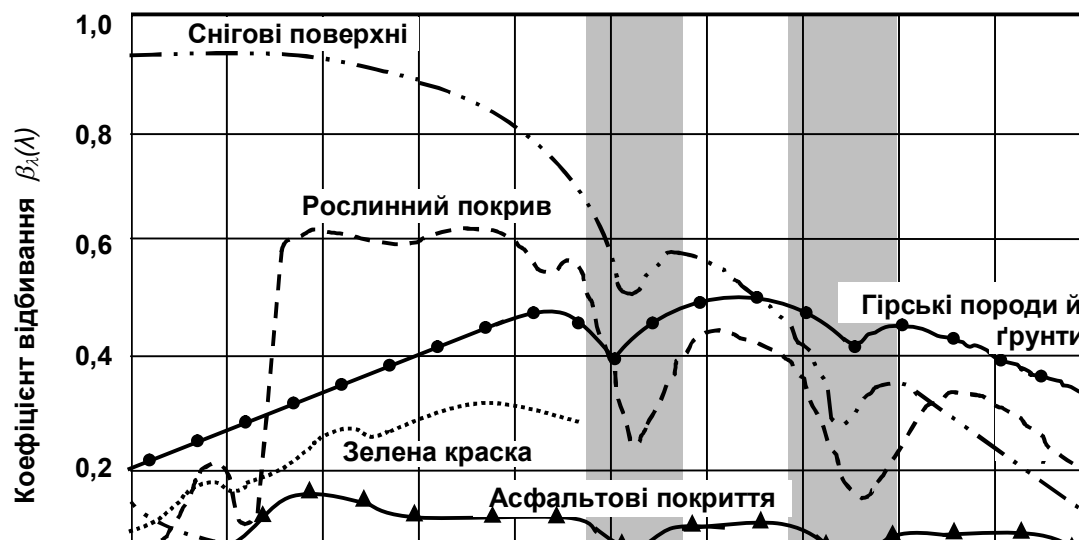
Таблиця 1

Інтегральні коефіцієнти відбивання $\beta_{int l}$

Об'єкт	$\beta_{int l}$	Об'єкт	$\beta_{int l}$
Луки зелені	0,064–0,07	Ґрунт – чорнозем сухий	0,03
Луки випалені	0,14	Ґрунт – чорнозем мокрий	0,02
Степ жовтий, суха трава	0,10	Сніг свіжий	1,00
Сходи зелені	0,055	Сніг середньої свіжості	0,90
Посів зрілий	0,15	Сніг, що тане	0,80
Жнива	0,10	Лід річковий	0,35
Мохове болото	0,15	Брукова мостова суха	0,20
Ліс листяний улітку	0,05	Брукова мостова мокра	0,09
Ліс листяний восени	0,15	Дорога піщана суха	0,20
Ліс хвойний	0,04	Дорога піщана мокра	0,09
Ліс листяний узимку	0,07	Шосе сухе	0,32
Пісок білий сухий	0,20	Шосе мокре	0,11
Пісок білий мокрий	0,10	Дахи будинків	0,13–0,15
Ґрунт – суглинний сухий	0,15	Океан (Атлантичний)	0,03
Ґрунт – суглинний мокрий	0,06	Море	0,068

Як видно з наведеної таблиці, для ряду різних типів поверхонь значення інтегральних коефіцієнтів відбивання можуть майже збігатись: наприклад для зеленого луку – 0,064...0,070 і для моря – 0,068, для випаленого луку – 0,14 і для листяного лісу восени – 0,15 та дахів будинків – 0,13–0,15. Практична можливість розпізнавання таких об'єктів за яскравістю панхроматичного зображення малоімовірна. Надійніша ідентифікація таких об'єктів можлива або на основі використання структурних дешифрувальних ознак, або шляхом використання матеріалів багатозональної зйомки. Можливість ідентифікації об'єктів з подібними інтегральними коефіцієнтами відбивання за даними багатозональної зйомки обумовлена спектральною залежністю їх коефіцієнта яскравості. Для цього необхідно використовувати багатозональну або гіперспектральну зйомку й вибирати спектральні канали, у яких відмінності коефіцієнта відбивання найбільші.

При цільовому застосуванні космічних знімків вирішується зворотна задача – за спектральними характеристиками зображень визначаються видимі параметри об'єктів. Для аналізу стану урбанізованих і промислових територій необхідна видова космічна інформація місцевого (локального) масштабу середнього, високого й надвисокого просторового розрізнення ультрафіолетового, видимого, інфрачервоного й радіолокаційного спектральних діапазонів з періодичністю знімання від одного до декількох разів на рік. В оптичному діапазоні застосовують багатозональну або гіперспектральну зйомку (діапазон довжин хвиль окремого спектрального каналу складає одиниці-десятки нанометрів). Усереднені характеристики спектрального коефіцієнта відбивання $\beta_{\lambda}(\lambda)$ залежно від довжини хвилі λ для окремих видів поверхонь у видимому й ближньому інфрачервоному діапазоні наведені на рис. 1 [4, 7].



На світовому ринку розвинена система розповсюдження матеріалів зйомки космічних апаратів дистанційного зондування Землі “Spot-5”, “Ikonos-2”, “Quickbird-2”, “EROS-B”, “Landsat-7”, “Orbview-3”, “Irs-1C(D)” та ін. Просторово-спектральні характеристики знімків, які придатні для інформаційного забезпечення управління міськими територіями, космічних апаратів “Spot-5”, “Ikonos-2” й “Quickbird-2”, наведені в табл. 2. Спектральні параметри каналів знімальної апаратури космічних апаратів “Ikonos-2” й “Quickbird-2” майже не відрізняються. Однак просторове розрізнення знімків космічного апарата “Quickbird-2” краще, що особливо важливо для моніторингу приватних міських забудов. Смуга захоплення апаратури зйомки космічних апаратів “Ikonos-2” й “Quickbird-2” значно ширше смуги їх зйомки, оскільки вони мають можливість відхилення оптичної осі знімальної апаратури від надиру до 45° [4, 5, 7].

Характеристики супутникових знімальних систем

Космічний апарат, знімальна система	Розрізнення				Смуга зйомки, км
	спектральне, мкм	просторове, м	радіомет- ричне, біт	часове, діб	
Spot-5, PAN	0,48–0,71	2,5 (панхром)	8	26	60
Spot-5, HRG	0,50–0,59 0,61–0,68 0,78–0,89 1,58–1,75	10 10 10 20	8	26	80
Ikonos-2, OSA	0,45–0,9 0,45–0,52 0,52–0,6 0,63–0,69 0,76–0,9	1(панхром) 4 4 4 4	11	3	11 (смуга захоплення ±340 км)
Quickbird-2, BHRC-60	0,45–0,9 0,45–0,52 0,52–0,59 0,63–0,69 0,76–0,89	0,61(панхром) 2,44 2,44 2,44 2,44	11	4-5	16,5 (смуга захоплення ±352 км)

Просторове розрізнення матеріалів космічної зйомки, які формуються апаратурою космічного апарата “Spot-5” значно гірше, однак спектральний діапазон – значно ширше. Спектральний образ об’єктів, що створюється цифровими багатоспектральними приладами космічного апарата “Spot-5”, може бути представлений з урахуванням усереднених характеристик спектральних коефіцієнтів відбивання $\beta_{\lambda}(\lambda)$ (табл. 1) вектором умовних нормованих яскравостей так: рослинний покрив – $B_{PI}(0,2; 0,12; 0,61; 0,42)$; асфальтові покриття – $B_{AL}(0,06; 0,09; 0,16; 0,12)$; гірські породи та ґрунти – $B_{GI}(0,25; 0,3; 0,37; 0,48)$. Очевидно, що вектори спектральних образів об’єктів відрізняються значно більше, ніж їх яскравості на панхроматичному знімку, а це забезпечує більшу достовірність виявлення й класифікації об’єктів за багатоспектральними знімками.

Слід також зазначити, що, якщо елементарна ділянка, яка формує яскравість окремого пікселя, утворена різними поверхнями (змішаний піксель), то її результуючий коефіцієнт відбивання буде визначатись зваженою сумою коефіцієнтів відбивання складових поверхні. Такий піксель зображення ідентифікувати за спектральною яскравістю на належність його певному типу поверхонь об’єктів надто проблематично [7–9].

При управлінні міськими територіями матеріали космічної зйомки можуть застосовуватись для інформаційного забезпечення вирішення таких завдань [2, 8]:

- картографування й формування додатків для геоінформаційних систем (створення електронних топографічних карт та окремих шарів цифрової моделі місцевості, векторного шару забудови, векторного шару водних об’єктів, векторного шару ліній електропостачання, векторних шарів мереж газопостачання, теплопостачання, водопостачання та каналізації, векторного шару доріг й вулиць, векторного шару щільності населення, векторного шару адресів, векторного шару розташування на муніципальній території медичних, навчальних й рекреаційних об’єктів та промислових підприємств, векторного шару виборчих діляниць й округів та ін.);
- моніторинг міської забудови та відслідковування змін для потреб об’єктивного оподаткування земель й нерухомості;
- планування розвитку міської інфраструктури для архітектурно-будівельних потреб, залучення інвестицій (створення векторного шару земельних ділянок для забудови) та планування сфери послуг (створення векторного шару розташування підприємств надання послуг, історико-архітектурних та інших туристичних об’єктів);
- управління надзвичайними ситуаціями (виявлення масштабів стихійних лих і техногенних катастроф та пошкоджених ними об’єктів комунального господарства, визначення маршрутів доступу до районів великомасштабних стихійних лих та ін.);
- екологічний моніторинг (створення векторного шару розташування екологічно-небезпечних техногенних об’єктів, векторного шару екологічного стану муніципальної території, векторного шару теплової карти міста та ін.);
- управління розвитком транспортної інфраструктури (створення векторного шару проектів карт транспортної інфраструктури з урахуванням щільності населення та розташування робочих місць

(промислових зон), об'єктивна оцінка перевантаження вулиць й проспектів міста транспортними засобами (рис. 2);

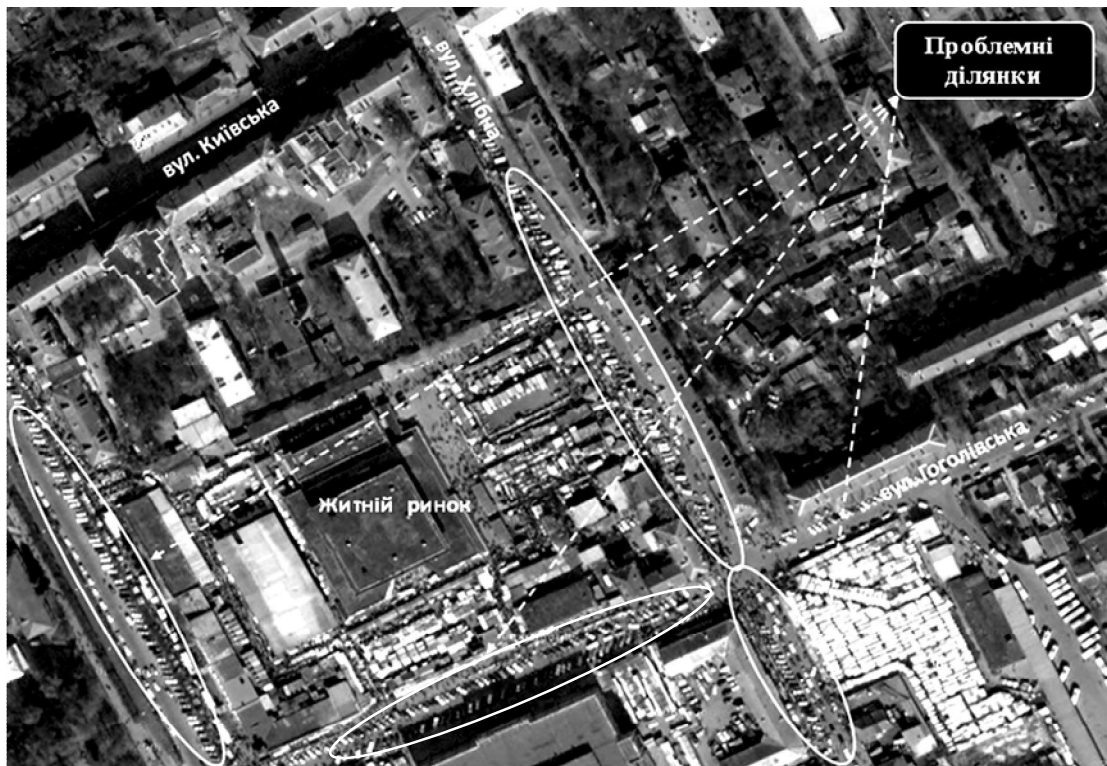


Рис. 2. Моніторинг завантаженості вулиць транспортними засобами з метою визначення проблемних ділянок (космічний знімок центру м. Житомир)

- управління розвитком інфраструктури засобів зв'язку й телекомунікацій (проекування й створення векторних шарів електронної карти інфраструктури телефонних мереж, зон покриття стільникового зв'язку та ін.);
- виявлення місць масштабних втрат теплової енергії за нічними космічними інфрачервоними знімками середнього просторового розрізнення.

Методика цільового застосування космічних знімків для інформаційного забезпечення потреб управління міськими територіями передбачає послідовність виконання таких операцій: замовлення у компаній постачальників цифрових космічних знімків з необхідними просторово-спектральними характеристиками й міжгалузевим рівнем обробки; оплата й отримання замовлених цифрових знімків; прив'язка до топографічної карти (цифрової моделі місцевості) й тематичне дешифрування цифрового знімку; формування векторних тематичних шарів для геоінформаційної системи підтримки управління міською територією.

Висновки. У статті узагальнені й систематизовані напрямки та запропонована загальна методика цільового застосування цифрових космічних знімків щодо створення шарів просторової інформації для геоінформаційних систем підтримки міського управління. Показано, що знімки населених пунктів із космосу дають об'єктивну й оперативну інформацію про сучасний стан міської території, ландшафти та їх взаємозв'язки на регіональному рівні. Така інформація необхідна для довгострокового планування розвитку міст й оперативного управління територіями у повсякденній діяльності та аварійних ситуаціях. При моніторингу міських агломерацій особливо цінні багатозональні та гіперспектральні космічні знімки, оскільки у кожній вузькій зоні електромагнітного спектра фіксуються окремі компоненти навколишнього ландшафту, у тому числі непомітні на однозональних знімках.

Перспективи подальших досліджень. Для ефективного використання інформаційних можливостей матеріалів космічної зйомки у процесах міського управління необхідно завчасно готувати фахівців із сучасних геоінформаційних технологій і продовжувати роботу над розробкою алгоритмів автоматизованої обробки цифрових космічних зображень та їх тематичної інтерпретації.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Мишев Д.В. Дистанционные исследования земли из космоса. – М.: Мир, 1985. – 286 с.

2. Федоровский А.Д., Рябоконеко С.А., Рябоконеко А.Д. Дистанційні дослідження міських агломерацій як виду ландшафтних комплексів // Ученые записки Таврического национального университета им. Вернадского. – 2002. – Т. 15. – № 1. – С. 76–83.
3. Гарбук С.В., Гершензон В.Е. Космические системы дистанционного зондирования Земли. – М.: Издательство А и Б, 1997. – 296 с.
4. Аэрокосмические методы географических исследований: Учеб. пособ. для студ. высш. учеб. заведений / Ю.Ф. Книжников, В.И. Кравцова, О.В. Тутубалина. – М.: Издательский центр «Академия», 2004. – 336 с.
5. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природо-користування: Монографія / За ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – Київ: Наукова думка, 2006. – 360 с.
6. Космічний моніторинг водних екосистем з використанням ГІС-технологій / Г.Я. Красовський, В.А. Петросов. – Київ.: Український інститут досліджень навколишнього середовища і ресурсів, 2002. – 230 с.
7. Лурье И.К., Косиков А.Г. Теория и практика цифровой обработки изображений: Дистанционное зондирование и географические информационные системы: Учебное пособие МГУ // Под ред. А.М. Берлянта. – М.: Научный мир, 2003. – 168 с.
8. Lillesand T.M., Kiefer R.W. Remote sensing and image interpretation. – 4 th Ed. – Wiley, 2000. – 724 p.
9. Kramer H.J. Observation of the Earth and Its Environment. Survey of Missions and Sensors, 4 th Enlarged Edition: Berlin: Springer-Verlag, 2001.

ОМЕЛЬЧУК Валентин Васильович – кандидат технічних наук, доцент, старший науковий співробітник Центру спеціального планування Житомирського військового інституту Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– методи та засоби добування, зберігання й обробки видової космічної інформації та основи її цільового застосування.

Тел.: 8 (0412) 25 04 91 (дод. 3-18).

КРАВЕЦЬ Олег Григорович – заступник начальника відділу Центру спеціального планування Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– алгоритми автоматизованої обробки видової космічної інформації.

Тел. 8 (0412) 25 04 91 (дод. 3-18).

ХАБЧУК Андрій Олексійович – начальник відділу Центру спеціального планування Житомирського військового інституту ім. С.П. Корольова Національного авіаційного університету.

Наукові інтереси:

– тематична інтерпретація видової космічної інформації.

Тел. 8 (0412) 25 04 91 (дод. 3-18).

Подано 25.01.2008

Омельчук В.В., Кравец О.Г., Хабчук А.А. Основы применения материалов космической съемки для информационного обеспечения управления городскими территориями

Omelchuk V.V., Kravetch O.G., Habchuk A.A. Application bases of remote sensing materials for informational supplying the management of urban territories

Омельчук В.В., Кравец О.Г., Хабчук А.О. Основы застосування матеріалів космічної зйомки для інформаційного забезпечення управління міськими територіями

УДК 528.88(202):352

Основы применения материалов космической съемки для информационного обеспечения управления городскими территориями / В.В. Омельчук, О.Г. Кравец, А.А. Хабчук //

Проведён анализ материалов космической съемки относительно возможностей информационного обеспечения решения целевых задач управления городскими территориями. Обобщены и систематизованы направления и предложена общая методика целевого применения космических снимков применительно к созданию слоев пространственной информации для геоинформационных систем поддержания городского управления.

УДК 528.88(202):352

Application bases of remote sensing materials for informational supplying the management of urban territories / V.V. Omelchuk, O.G. Kravetch, A.A. Habchuk//

It was analyzed the remote sensing materials relatively availability to informational supply for solving the object problems of management of urban territories. The trends are generalized and systematized and the common method to objective application of space imagery for creating stratum of spatial information for maintenance municipal management Geographical informational systems.