

УДК 528.852.5:519.615.7

С.А. Станкевич<sup>1</sup>, О.Б. Захаров<sup>2</sup><sup>1</sup>Науковий центр аерокосмічних досліджень Землі ІГН НАН України, Київ<sup>2</sup>Науково-методичний центр кадрової політики Міністерства оборони України, Київ

## АНАЛІЗ ЗАВДАНЬ ВИДОВОЇ КОСМІЧНОЇ РОЗВІДКИ, ЯКІ МОЖУТЬ БУТИ ВИРІШЕНІ ЗА ДОПОМОГОЮ ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНОГО ЗНІМАННЯ

Стаття присвячена розгляду завдань космічної розвідки, які можуть бути вирішені за допомогою гіперспектрального знімання. Наводяться приклади застосування гіперспектрального знімання в інтересах виконання завдань Збройних Сил.

**Ключові слова:** космічна розвідка, дистанційне зондування землі, гіперспектральне знімання.

### Вступ

#### Постановка проблеми у загальному вигляді.

Космічна розвідка є складовою воєнної розвідки і призначена для здобування даних про противника в інтересах політичного і воєнного керівництва держави, планування і ведення операцій (бойових дій) збройних сил та інших заходів загальнодержавного плану у мирний час, в період загострення воєнно-політичної обстановки і в ході збройної боротьби, а також для отримання даних оперативного характеру в інтересах операцій збройних сил.

В численній літературі детально викладений аналіз космічних систем дистанційного зондування землі (ДЗЗ) з метою визначення шляхів покращення їх характеристик (просторової розрізненості, швидкості передачі інформації з борту на Землю, радіометричної якості тощо) [1 – 3].

На теперішній час *гіперспектральна зйомка* ведеться та має застосування в багатьох областях: військовій розвідці та матеріально-технічному забезпеченні військ (сил), законодавстві, сільському господарстві, екологічному моніторингу, рекультивациі земель, розвідці газу та нафти.

Але гіперспектральний аналіз великих обсягів даних займає багато часу і є витратним. Обробка гіперспектральних цифрових зображень базується на принципах цифрової обробки багатовимірних сигналів, та частково на перенесенні методів обробки багатоспектральних знімків на гіперспектральні. Тому постає актуальне питання щодо можливості використання гіперспектрального знімання в інтересах виконання завдань *видової космічної розвідки*.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Космічна розвідка (КР) є перспективним видом оперативного забезпечення бойових дій у воєнний період і ефективним видом інформаційного забезпечення структур, відповідальних за національну безпеку держави. Це обумовлено тим, що розвідувальні системи космічного базування перестали бути в розпорядженні тільки наддержав, що підтверджується помітним поширенням їхнього застосування. На

сьогодні, близько 20 країн мають національні засоби космічної розвідки, або входять до багатосторонніх програм. Сучасні засоби КР дозволяють вести цілодобове суцільне спостереження за будь-яким районом земної кулі, визначати координати об'єктів спостереження з точністю від 1 – 2 до 50 метрів (видові засоби розвідки) та від 2 – 5 до 100 км (радіотехнічні засоби розвідки).

Аналіз досліджень показав, що сьогодні силами та засобами для ведення космічної розвідки володіють США, Російська Федерація, Китай, Франція, Індія, Ізраїль та інші країни. Проте, провідними країнами-власниками космічних систем розвідки, з виснаженими країнами, є США та Російська Федерація. На сьогодні цими країнами створені єдині національні орбітальні угруповання розвідувальних космічних апаратів, КА-ретрансляторів та розподілені мережі наземних центрів прийому і обробки даних.

КР з використанням видових космічних засобів розвідки ведеться за допомогою фотографічних, оптико-електронних і радіолокаційних засобів розвідки. КР з використанням оптико-електронних засобів поділяється на розвідку з використанням телевізійної та інфрачервоної апаратури.

Розвідка з використанням фотографічних апаратів є, на сьогодні, застарілим способом космічної розвідки. При детальній фоторозвідці з низької орбіти, використовуючи фотокамери з великою фокусною відстанню і фотоплівку високої чутливості, досягається лінійне розрізнення на місцевості до 15 см залежно від турбулентності атмосфери, вібрації супутника і стану об'єкта, який фотографують.

Незважаючи на достовірність і детальність інформації, що добувається засобами космічної фоторозвідки, в теперішній час вони практично не використовуються.

Із появою оптико-електронних засобів космічної розвідки і спостереження, які забезпечили можливість багатоспектрального знімання, в тому числі в інфрачервоному діапазоні електромагнітного спектра з формуванням цифрового зображення, і

дозволили виявляти елементи маскування і отримувати додаткові дані про розвідані об'єкти, ефективність видової розвідки та спостереження з космосу зросла.

Гіперспектральне знімання дозволяє суттєво підвищити можливості видової космічної розвідки. Але гіперспектральні зображення накладають певні обмеження на можливості попередньої обробки та топографічної прив'язки внаслідок саме їх великого обсягу (розміри файлів можуть сягати сотень гігабайт). Але часто для повного використання всієї гіперспектральної інформації та досягнення максимального ефекту її інтерпретації необхідне застосування більш складних спеціалізованих методів обробки саме гіперспектральних зображень [2, 3, 5, 8, 10].

**Метою статті** є визначення завдань видової космічної розвідки, які можуть бути вирішені за допомогою гіперспектрального знімання.

### Виклад основного матеріалу дослідження

Розвиток супутникових оптико-електронних систем розвідки дозволяє створювати декілька робочих спектральних каналів. Загальна смуга спектральної чутливості таких систем може охоплювати декілька спектральних діапазонів – від ультрафіолетового до дальнього інфрачервоного. При цьому виникає проблема забезпечення високої просторової

та радіометричної розрізненості.

Зрозуміло, що різні об'єкти спостереження мають неоднакові спектрально-енергетичні відбивальні та випромінювальні характеристики, відрізняються складом, структурою, геометричними розмірами, формою, текстурою та іншими характеристиками. Безумовно, всі ті особливості об'єктів ДЗЗ повинні бути враховані при виборі супутникової системи, за допомогою якої формуються зображення. При цьому, у першу чергу, враховуються такі параметри [2, 3]:

спектральний діапазон, у якому об'єкти створюють або відбивають випромінювання;

просторова розрізненість одержуваних зображень;

геометричні розміри сцени – району земної поверхні, який містить об'єкти спостереження;

необхідний час реакції супутникової системи з моменту надходження завдання на зйомку об'єкта або типовий період спостереження об'єктів.

Спектр випромінювань об'єктів дуже широкий і простягається від ультрафіолетового до радіохвильового. Для аналізу його звичайно розділяють на спектральні діапазони по довжинах хвиль  $\lambda$  так, як показано в табл. 1.

Таблиця 1

Спектральні діапазони дистанційного спостереження

Спектральний діапазон	Позначення	Довжина хвилі, $\lambda$
Ультрафіолетовий	U	< 0,38 мкм
Видимий	V	0,38 – 0,76 мкм
Ближній інфрачервоний	N	0,76 – 1,4 мкм
Середній інфрачервоний	I	1,4 – 7,5 мкм
Дальній інфрачервоний (тепловий)	T	7,5 мкм – 1 мм
Мікрохвильовий	M	1 мм – 1 см
Радіолокаційний	X	2,9 – 3,3 см
	C	5,7 – 6,1 см
	S	8 – 12 см
	L	21 – 30 см
	P	60 – 70 см

Потрібна просторова розрізненість реєстрації об'єктів визначається розміром найменшого компактного елемента певного контрасту, який має бути визначений на зображенні із заданою імовірністю. Просторова розрізненість на місцевості  $d_0$  вимірюється в лінійних одиницях довжини – метрах. За просторовою розрізненістю на місцевості  $d_0$  розділяють супутникові системи надвисокої (< 0,5 м), високої (0,5 – 5 м), середньої (5 – 50 м), низької (50 – 500 м) та наднизької (> 500 м) просторової розрізненості [6].

Корисна інформація про об'єкти спостереження визначається їх фізичними полями, просторово та спектрально упорядкованими. Різні об'єкти мають різноманітні спектральні характеристики оптичного

відбиття (випромінювання). Використання багатьох спектральних діапазонів дає змогу більш точно відновити спектр об'єкта, що покращує його ідентифікацію. Практично для всіх **об'єктів космічної розвідки** дуже інформативними є **видимий та ближній інфрачервоний** діапазони, для багатьох – ще й дальній інфрачервоний та радіолокаційний, для деяких (в основному, тільки для виявлення) – середній інфрачервоний та мікрохвильовий [7].

Досвід інтерпретації знімків свідчить, що зображення, отримані у “вузьких” спектральних діапазонах (“каналах”), несуть додаткову унікальну інформацію про властивості об'єктів зондування.

Аналіз завдань КР в координатах “просторова розрізненість – довжина хвиль” наведений на рис. 1.

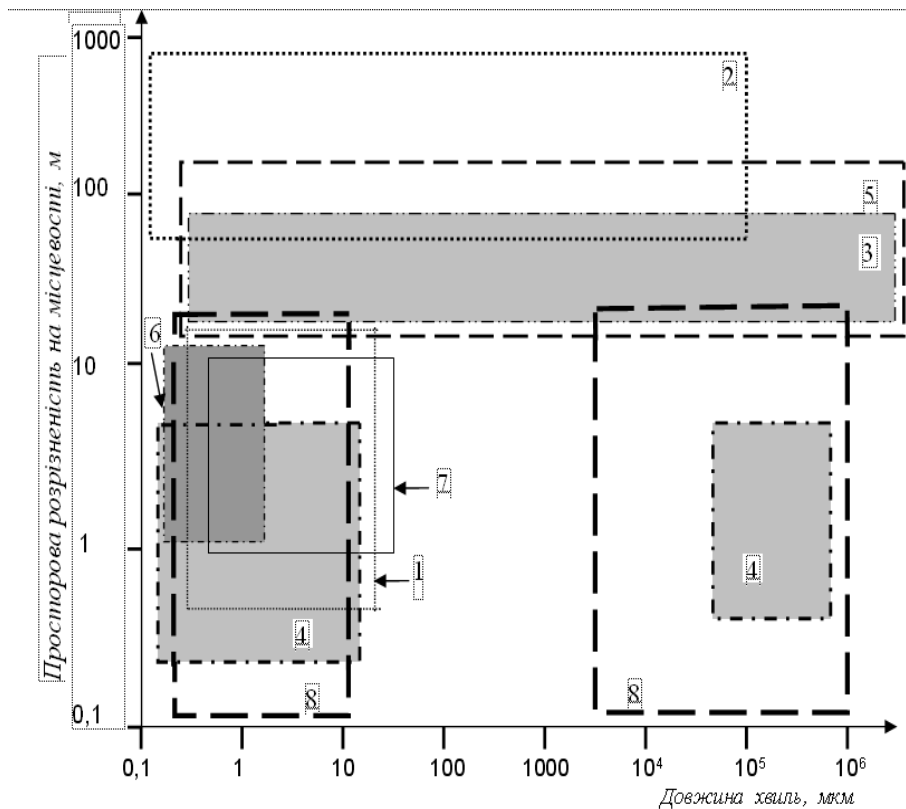


Рис. 1. Аналіз завдань космічної розвідки в координатах “просторова розрізненість – довжина хвиль”

Проведений аналіз показує, що кожна галузь завдань КР реалізується в певній області координат “спектральний діапазон – просторова розрізненість на місцевості”. Аналіз діаграм, які наведені на рис. 1, показує що ряд сфер реалізації різних завдань ДЗЗ суттєво перекривається. Це означає, що виконання завдань, сфери яких перекриваються в координатах “спектральний діапазон – просторова розрізненість на місцевості”, можуть виконуватись однією і тією бортовою апаратурою космічного апарату (КА) ДЗЗ. Так, наприклад, сфера завдання 3 (пошук корисних копалин) повністю попадає в сферу завдання 5 (спостереження водних поверхонь та їх ресурсів), тобто завдання 3 може бути виконано засобами, що призначені для виконання завдання 5. Засоби космічного спостереження в інтересах **оборони** (завдання 8) можуть практично повністю вирішувати завдання 1 (інвентаризація сільськогосподарських угідь), топографічне картування (завдання 4), контроль за станом лісів (завдання 6) та моніторинг надзвичайних ситуацій (завдання 7). Навпаки – засоби виконання завдань 1, 4 та 7 можуть бути використані для вирішення завдань спостереження в інтересах **космічної розвідки**.

Сьогодні із застосуванням супутникових систем спостереження більш-менш успішно вирішуються задачі розкриття основних видів **військових та військово-промислових** об’єктів [7]. Практичний до-

свід інтерпретування космічних знімків свідчить, що кожна типова задача може бути охарактеризована певною областю у просторі параметрів знімання – потрібних спектральних діапазонів, необхідної просторової розрізненості, розмірів зони огляду та необхідної періодичності знімання [8 – 10]. Узагальнення та уніфікація типових завдань космічної розвідки приводить до формування їх переліку з посиланнями на відповідні об’єкти та потрібні характеристики їх спостереження. Цей перелік типових завдань космічної розвідки наведено в табл. 2.

Для бортових сенсорів ДЗЗ характерні підвищена просторова розрізненість, висока радіометрична якість зображень, наявність значної кількості робочих спектральних каналів (багатоканальність). Сьогодні на кращих зразках космічних розвідувальних оптико-електронних сенсорів досягнута величина просторової розрізненості 10 – 15 см, що порівнюється з дифракційними обмеженнями оптики. Вдосконалення технологій вирощування кристалів фотоприймачів позитивно впливає на чутливість сенсорів, розширюється динамічний діапазон відеосигналу, а це дозволяє підвищити розрядність його квантування, яка досягає сьогодні 12 – 14 біт/піксел. На супутниках універсального призначення, поруч з панхроматичними та багатоспектральними сенсорами, все частіше встановлюються гіперспектральні сенсори.

Таблиця 2

Параметри космічного знімання, необхідні для вирішення типових завдань космічної розвідки

Код	Об'єкт космічної розвідки	Потрібні спектральні діапазони*	Характерна просторова розрізненість**, м	Поперечний розмір, км	Необхідна періодичність огляду, діб
01	Оперативно-тактичні ракетні комплекси	VNITX	0,25	6	0,5
02	Великі штаби, пункти управління	VNTXC	0,45	5	1
03	Частини сухопутних військ	VNTX	0,30	6	1
04	Райони оборони та інженерних споруджень	NITCP	0,30	15	30
05	Стратегічні склади	VITMXC	0,15	1	10
06	Авіабази та надкласні аеродроми	VNTX	0,85	7,5	2
07	Зенітні ракетні комплекси великої дальності	VNTXC	0,20	1,5	5
08	Порти та корабельні угруповання	VNTC	1,50	10	5
09	Залізничні вузли	VTX	1,00	6	15
10	Стратегічні промислові комплекси	UVNITMC	0,40	3	15
11	Енергетичні центри	VNITMX	0,70	3	15
12	Магістральні об'єкти інфраструктури	NTMXLP	0,30	30	30

Параметри типових завдань **космічної розвідки** у відповідності до переліку табл. 2 в площині просторова розрізненість  $d_0$  – розмір зони огляду  $B_0$  показано на рис. 2.

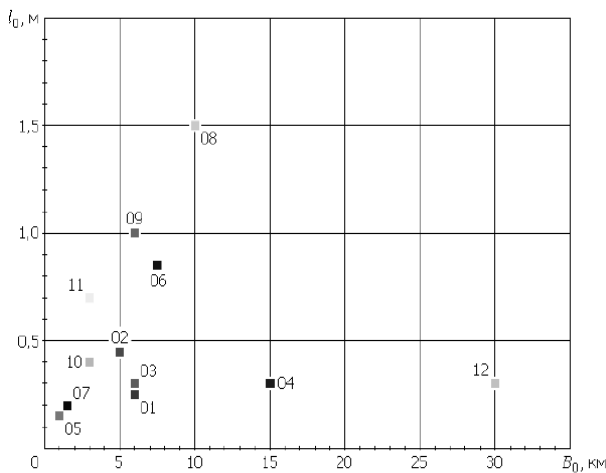


Рис. 2. Параметри аерокосмічного знімання для вирішення завдань космічної розвідки

**Гіперспектральні** зображення є відносно новим досягненням в ДЗЗ. Для отримання таких зображень використовується оптико-електронна система, яка дозволяє одночасно робити заміри інтенсивності електромагнітного випромінювання на великій кількості довжини хвиль. Отримані таким чином дані утворюють “сигнатуру” матеріалів на зображенні. З використанням кожного пікселю, який відтворює випромі-

нювання у великій кількості (порядку сотні) вузьких спектральних зон, можна дистанційно виявити і ідентифікувати безліч матеріалів за їх спектральним сигнатурам в межах одного пікселю.

Ключовою особливістю, яка визначає якість одержуваних гіпер-спектральних аерокосмічних знімків, є технічні характеристики фотоприймальних пристроїв гіперспектральних сенсорів. Прогрес мікроелектронної техніки дозволяє підвищити їх просторову та радіометричну розрізненість, а також якість геометричного та радіометричного калібрування. Означені характеристики залежать від фізичного розміру фоточутливих елементів, радіаційної виявляльної здатності, а також якості електронних схем, що реалізують управління, вбудовану обробку та передпосилання [11, 12].

Видова космічна розвідка дозволяє комерційним компаніям вирішувати задачі спостереження за діяльністю підприємств-конкурентів (включаючи постачання сировини, відвантаження продукції, розширення виробництва і т.п.). Однак основними споживачами знімків з півметровою розрізненістю стануть оборонні і силові структури, з боку яких очікуються великі замовлення.

Американська компанія *GTI (Guardian Technologies International)* розробила технологію *Pin-Point (Pinpoint image identification technology)*. Її суть полягає в ототожненні зображень зі супутників з виявленим об'єктом. З використанням цієї технології в автоматичному режимі забезпечується вияв-

лення на гіперспектральних зображеннях HSI (hyperspectral imagery) зі супутників зацікавлених об'єктів і аномальних явищ. Очікується, що технологія *PinPoint* дозволить досвідченим фахівцям скоротити час обробки з 2-3 діб до декількох хвилин або секунд в автоматичному режимі.

Подальший прогрес у розвитку ринку видової продукції пов'язаний зі створенням комерційних систем ДЗЗ із півметровою розрізненістю. Наддетальні зображення будуть застосовуватися при розробці великомасштабних карт і планів місцевості, географічних інформаційних систем, плануванні міської забудови, прокладки трубопроводів і кабелів, будівництва доріг і ліній зв'язку.

### Висновки

Таким чином, на основі проведеного аналізу завдань видової космічної розвідки за допомогою гіперспектральної зйомки можна зробити висновки:

гіперспектральна зйомка є досить ефективним інструментом, який може використовуватись в космічній розвідці;

для виконання завдань за допомогою гіперспектрального знімання зацікавлених об'єктів в інтересах Збройних Сил організація сучасної видової космічної розвідки неможлива без комплексування з даними більш високої просторової розрізненості;

комплексне застосування технічних засобів розвідки, які основані на різних фізичних принципах (радіо- та радіотехнічна розвідка, радіолокаційна розвідка, інфрачервона розвідка) дозволить підвищити оперативність та достовірність визначення об'єктів незалежно від форми, місця розташування чи обертання.

### Список літератури

1. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / за ред. В.І. Лялько та М.О. Попова. – К.: Наук. думка, 2006. – 360 с.
2. Станкевич С.А. Кількісне оцінювання інформативності гіперспектральних аерокосмічних знімків при

вирішенні тематичних задач дистанційного зондування Землі / С.А. Станкевич // Доповіді НАН України, 2006. – № 8. – С. 53-58.

3. Попов М.О. Гіперспектральна аерокосмічна інформація у виявленні та спостереженні об'єктів / М.О. Попов, С.А. Станкевич, В.Д. Молдован // Наука і оборона, 2006. – № 3. – С. 25-35.

4. Мосов С.П. Моделі використання супутникової гіперспектральної апаратури для виявлення об'єктів космічної розвідки / С.П. Мосов, С.А. Станкевич, С.О. Пономаренко, О.М. Собчук // Труды академії. – Вип. 63. – К.: НАО України, 2005. – С. 99-109.

5. Landgrebe D.A. Hyperspectral Image Data Analysis // IEEE Signal Processing Magazine, 2002. – Vol.17. – No 1. – P. 17-28.

6. Попов М.О. Шляхи отримання космічної інформації в інтересах національної безпеки і оборони / М.О. Попов // Наука і оборона, 2003. – № 2. – С. 38-50.

7. Попов М.О. Можливості та перспективи космічних систем видової розвідки і спостереження в контексті національних інтересів / М.О. Попов, С.І. Махонін, В.І. Присяжний // Наука і оборона, 2008. – № 2. – С. 41-52.

8. Федоровський О.Д. Моделювання процесу одержання інформації космічними системами зондування Землі / О.Д. Федоровський, В.Г. Якимчук // Геоінформатика. – 2005. – № 1. – С. 41-48.

9. Станкевич С.А. Информативность оптических диапазонов дистанционного наблюдения Земли из космоса: практические алгоритмы / С.А. Станкевич // Космична наука і технологія, 2008. – Т.14. – № 2. – С. 22-27.

10. Информативність багатозональних цифрових аерокосмічних зображень при інтерпретації антропогенних об'єктів / С.А. Станкевич, С.О. Пономаренко, О.М. Собчук, О.В. Шолонік // Збірник наукових праць Державного науково-дослідного інституту авіації. – К.: ДНДІА, 2007. – Вип. 3(10). – С. 160-164.

11. Nothard J.M. Full System Modeling for Hyperspectral Target Detection and Identification / J.M. Nothard, N.M. Kent, C.E. West, J. Wood, W.J. Oxford // Proceeding of SPIE, 2003. – Vol.5093. – P. 37-45.

12. Тарасов В.В. Многоспектральные оптико-электронные системы / В.В. Тарасов, Ю.Г. Якушенков // Специальная техника. – 2002. – № 4. – С. 6-14.

Надійшла до редколегії 14.11.2009

**Рецензент:** канд. техн. наук, ст. наук, співробітник В.І. Присяжний, Управління спеціальних програм Національного космічного агентства України, Київ.

### АНАЛИЗ ЗАДАЧ ВИДОВОЙ КОСМИЧЕСКОЙ РАЗВЕДКИ, КОТОРЫЕ МОГУТ БЫТЬ РЕШЕНЫ С ПОМОЩЬЮ ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ СЪЕМКИ

С.А. Станкевич, А.Б. Захаров

Статья посвящена рассмотрению задач видовой космической разведки, которые могут быть решены с помощью гиперспектральной съёмки. Приводятся примеры применения гиперспектральной съёмки в интересах выполнения задач Вооруженных Сил.

**Ключевые слова:** видовая космическая разведка, дистанционное зондирование земли, гиперспектральная съёмка.

### ANALYSIS OF TASKS IMAGING SPACE RECONNAISSANCE WHICH CAN BE SOLVED BY MEANS OF HYPERSPECTRAL SURVEY

S.A. Stankevich, A.B. Zakharov

The article is devoted consideration of tasks of imaging space reconnaissance which can be solved by means of hyperspectral survey. Examples of application of hyperspectral survey in interests of performance of problems of Armed Forces are resulted.

**Keywords:** imaging space reconnaissance, the remote sensing of earth, hyperspectral survey.