

УДК 528.88.

## Обґрунтування технічних параметрів функціонування космічних апаратів в задачах моніторингу земельних ресурсів

Л. В. Гебрин\*

*Національний авіаційний університет, Київ, Україна*

Описано системи отримання і розповсюдження даних оперативного моніторингу. Проведено порівняльний аналіз технічних параметрів космічних апаратів, які є найбільш використовуваними для оцінки ведення моніторингу земельних ресурсів. Висвітлено задачі, що вирішуються за допомогою даних аерокосмічного зондування. Обґрунтовано зв'язок вибору оптимальної знімальної системи залежно від мети поставленої задачі.

**Ключові слова:** космічні апарати, аерокосмічний моніторинг, земельні ресурси, аерокосмічні системи, знімальна система, дистанційне зондування Землі

© Л. В. Гебрин. 2014

### Актуальність дослідження

З перших років освоєння космічного простору однією із пріоритетних задач було дистанційне спостереження Землі — наука та технологія, завдяки яким визначають, вимірюють та аналізують характеристики об'єктів які нас цікавлять, без прямого контакту з ними. На сьогодні існує ряд супутникових систем, які вже створені іншими країнами і направлені на вирішення різноманітних задач в галузі дослідження природних ресурсів.

### Аналіз останніх досліджень та публікацій

Методологія космічних досліджень і методи застосування дистанційного зондування для моніторингу великою мірою розвинулись завдяки відомим вітчизняним вченим. В наукових працях [5, 4, 2] академіка НАН України Лялька В. І. та професора Попова М. О. досліджено концептуальні вимоги до видів та якості матеріалів супутникових зйомок для вирішення задач дослідження природних ресурсів та корисних копалин зокрема, а також стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні. В науковому посібнику “Аерокосмічні знімальні системи” Станкевича С. А. та Бурштинської Х. В., висвітлено основні напрямки інноваційних методів отримання аерокосмічних матеріалів на підставі цифрових технологій, подано технічні характеристики супутників та класифікацію зображень [1]. В монографії Гарбука С. В. та Гершензова В. Е. “Космічні системи дистанційного зондування Землі” детально описано системи отримання і розповсюдження даних оперативного моніторингу, які

регулюються за допомогою чотирьох етапів. Праці Кононова В., Коротаєва Г., Мирошникова М., Довгого С., Зацерковного В. [6] та інших вчених також зробили важливий внесок в галузі дистанційного зондування Землі.

### Матеріали та методика дослідження

Важливим аспектом у виборі оптимальної знімальної системи є ознайомлення її з технічними параметрами. Тому що отримання достовірної, оперативної інформації буде не можливим без чітко сформованого пакету вимог щодо обраного космічного апарату. Кожна знімальна система характерна своїми технічними особливостями такими як наявність та кількість спектральних каналів, спектральних діапазонів, просторовою роздільною здатністю, динамічним діапазоном, шириною смуги зйомки, періодичністю зйомки та часом функціонування. А також кожний космічний апарат має відповідні області використання інформації. Залежно від поставлених задач можливо підібрати знімки відповідно типу, формату та інформативності. Тому правильно сформовані вимоги у поєднанні з вибором оптимальної знімальної системи нададуть точну інформацію про досліджуваний об'єкт.

### Виклад матеріалу

Дані отримані за допомогою супутникового знімання є безперечно прозорою та достовірною інформацією в процесі аналізу земельних ресурсів та всієї Землі загалом. В процесі отримання даних потрібно керуватися інформацією про технічні аспекти функціонування супутникових систем з подальшою прив'язкою інформаційних можливостей до типових задач. В монографії С. В. Гарбука та

\* Gebrin\_liliya@mail.ru

В. Е. Гершензова “Космічні системи дистанційного зондування Землі” детально описано системи отримання і розповсюдження даних оперативного моніторингу, які регулюються за допомогою чотирьох етапів: носії знімальної системи (ШСЗ), зокрема апаратура дистанційного зондування, бортові засоби передачі даних на Землю по радіоканалу, наземні комплекси прийому інформації, подальша обробка та передача користувачам.

Для дистанційного зондування, як правило, використовують два основні типи супутників: геостационарні та полярно орбітальні. Якщо геостационарні супутники постійно забезпечують огляд однієї і тієї самої частини планети, зберігаючи незмінним положення відносно конкретної точки. Полярно орбітальні, знаходячись на орбіті, площина якої приблизно перпендикулярна площині обертання Землі, через деякий час з'являються над заданим районом. Відповідно зона огляду геостационарного супутника обмежується широтними районами, а полярно орбітальні супутники, в свою чергу, можуть знаходитись над одним і тим же районом зйомки в різних періодах “міського” та сонячного часу. При цьому співставлення даних, отриманих при різних умовах сонячного освітлення виявляється досить не легким.

Знімальна апаратура дистанційного зондування Землі, яка встановлена на супутнику може працювати в чотирьох основних діапазонах: ультрафіолетовому, видимому, інфрачервоному і мікрохвильовому. У видимому діапазоні приймачі реєструють відбите сонячне світло від земної площі. У інфрачервоному діапазоні переважає теплове випромінювання поверхні Землі, а в мікрохвильовому діапазоні використовують випромінювання планети, або ж відбивні сигнали штучних джерел випромінювання, які встановлені на борту супутника. Можливості апаратури дистанційного зондування в різних спектральних діапазонах відрізняється. Тому як оптичні дають найбільш якісні, кольорові зображення з високим просторовим розрізненням, які синтезовані з декількох монохроматичних знімків. В той час як інфрачервону зйомку можливо проводити в нічний час, спостерігаючи температурні аномалії поверхні. Для мікрохвильового діапазону не стане проблемою і наявність хмарної погоди.

Важливою характеристикою формування зображення є просторова розрізненість ( $r$ ) і радіометрична ( $\Delta I$ ) розрізненість знімальної системи (1), (2). Просторова розрізненість залежить від довжини хвилі ( $\lambda$ ), діаметра об'єктиву ( $d$ ) та висоти орбіти ( $H$ ):

$$r \approx \frac{\lambda}{d} H \quad (1)$$

Радіометрична розрізненість вираховується шириною динамічного діапазону приймача тобто кількістю рівнів дискретизації, що відповідають переходу від яскравості абсолютно чорного тіла до абсолютно білого тіла. Так, для вирахування радіомет-

ричної просторової розрізненості повинно виконуватись вимога:

$$I_{ob} \frac{S}{r^2} \geq \Delta I \quad (2)$$

де  $I_{ob}$  — яскравість об'єкта,  $S$  — площа об'єкта.

Просторова та радіометрична розрізненість апаратури разом з шириною смуги, в якій проводиться зйомка та загальним числом монохроматичних каналів вираховують швидкість передаючого на Землю інформаційного потоку (3):

$$C \frac{LV}{r^2} \text{ INK} \quad (3)$$

де  $V$  — швидкість переміщення під супутникової точки по трасі супутника,  $I$  — число біт на пік сел зображення,  $N$  — число каналів,  $L$  — ширина полоси огляду,  $K > 1$  — коефіцієнт залежності від типу приймаючого в каналі кодування.

В свою чергу, необхідна для передачі інформаційного потоку ширина полоси пропускання радіоканалу “борт–Земля” залежить від енергетичних характеристик як приймаючого комплексу так і передаючого (таб. 1) Пропускна здатність каналу зв'язку зростає із збільшенням сили бортового передатчика, діаметру приймаючої антени наземного комплексу та із зменшенням відстані до супутника [2].

Задачі, які наведено в таблиці вирішуються у національному та регіональному масштабах та актуальні для помірного, субтропічного та тропічного клімату. Масштаб задач, які вирішуються за допомогою залучення інформації ДЗЗ виділяють: глобальний, континентальний, національний, регіональний, локальний. Забезпечення періодичності збору інформації ДЗЗ розрізняють:  $H$  — годинну,  $D$  — добову,  $W$  — недільну,  $M$  — місячну,  $Q$  — кварталну,  $Y$  — річну. Використовувані спектральні діапазони позначаються як: ультрафіолетовий діапазон — UV, видимий діапазон — VIS, ближній ІЧ — NIR, тепловий ІЧ — IR, мікрохвильовий — MW. Вирішення завдань землекористування в глобальному масштабі направлено на виявлення тенденцій розвитку ландшафтів та виділення зміни земної поверхні, які мають природний та антропогенний характер (таб. 2) [2].

У сучасних технологіях обробки зображень домінуюча роль належить космічним зображенням високого розрізнення Супутники останніх років є носіями оптико-електронної апаратури з розрізненням 1 метр і меншим, ніж 1 метр. Потреби світового ринку зображень оцінюються так: 65 % — з розрізненням менш ніж 1 м; 25 % — 1 м; 7 % — 2–3 м; 3 % — понад 5 м [2]. Сучасні технології по розвитку дистанційних аерокосмічних систем як метеорити змінюють та удосконалюють супутникові системи, їх технічні характеристики та якісний склад отриманих із космосу зображень: панхроматичне, кольорове, мульти-спектральне та гіперспектральне, стерео-зображення, цифрова модель рельєфу. В свою чергу удосконалюється сюжетна композиція та продукт кінцево-

**Таб.1**

Вимоги до інформації ДЗЗ для вирішення різних задач сільського господарства.

Назва завдання	Характеристики об'єктів	Період спостереження	Просторове розрізнення, м	Спектральні діапазони
Інвентаризація с\г угідь	Температура, колір, індекс вегетації,	72Н 15D	15–20 20–30	VIR, TIR, MW VIS, NIR, IR
Виділення та ідентифікація різних видів с\г угідь	структура Колір	Y 15 D	20–30	VIS VIS, NIR
С\г ґрунтознавство	Характеристики відбитого мікрохвильового випромінювання Колір	72 D Q	30	MW VIS, NIR, TIR
С\г гідрологія	Структура, колір	15 D	30	VIS, NIR
Попередження с\г катастроф	Температура,	M	100	VIS, NIR, TIR
	Степінь ураження рослин	M	30–50	VIS, NIR, TIR
Прогнозування урожайності	Температура	W	30–50	VIS, MW
	Альbedo	M	10–20	VIS
Аналіз с\г потенціалу	Колір	2W	10–20	MW, VIS
	Температура	M	100	IR, TIR, NIR
	Структура	2W	10–20	VIS, NIR, MW

**Таб.2.**

Вимоги до інформації ДЗЗ для вирішення основних задач землекористування

Назва задачі	Об'єкти та їх характеристики	Масштаб спостереження	Періодичність зйомки	Просторове розрізнення, м	Спектральні діапазони
Топографічне картографування	відкрита земля	G	M	1000	VIS NIR TIR
	рослинність				
	сніг або лід				
	с\г площі міста, водні об'єкти				MW VIS
	картографування	G	M	1000	NIR
	індекс вегетації	G	W	1000	TIR
	поверхнева вологість				
	вологість ґрунту				VIS
	тип с\г культури				NIR
	видиме фотосинтетичне освітлення				TIR
	температура осадів	G	W	1000	
Спостереження за зростанням міст	Спектральні характеристики відбитого випромінювання	N	W\ M	10	VIS NIR TIR
Спостереження за пасовищами	Структура поверхні	R	W	1	VIS

Таб.3.

Порівняльна характеристика технічних параметрів космічних апаратів.

Знімальна система	Спектральні канали	Спектральний діапазон, мкм	Просторова роздільна здатність, м	Динамічний діапазон, біт	Ширина смуги зйомки, км	Періодичість зйомки, діб	Час дії
QuickBird (QuickBird–02)	панхроматичний	0,45–0,8	0,61–0,72	11	від 16,5 (у надирі) до 20,8(при відхиленні від надиру на 25°)	1.1	2001по2014
SPOT 6 7	блакитний	0,45–0,52	2,44–2,88	1,5	60	2 рази на добу	2012по2014
	зелений	0,52–0,60					
	червоний	0,63–0,69					
	ближній ІЧ	0,76–0,9					
RapidEye	панхроматичний	0,45–0,745	6	5	77	1	2008по2014
	блакитний	0,45–0,52					
	зелений	0,53–0,59					
	червоний	0,625–0,695					
KOMPSAT–2, 3	ближній ІЧ	0,76–0,89	1 \ 0,7	10 \ 14	15 \ 16	3 дні	2006, 2012 по 2014
	блакитний	0,44–0,51					
	зелений	0,52–0,59					
	червоний	0,63–0,685					
GeoEye–1	крайній ІЧ	0,69–0,73	4 \ 2,8	11	15,2	1–3 дні	2008 по 2014
	ближній ІЧ	0,76–0,85					
	панхроматичний	0,45–0,9					
	блакитний	0,45–0,52					
WorldView–2	зелений	0,52–0,6	0,46	11	16,4 у надирі	1,1	2009по 2014
	червоний	0,625–0,695					
	ближній ІЧ	0,76–0,9					
	панхроматичний	0,45–0,8					
Pleiades–1	береговий	0,4–0,45	1,84	450 за 1 с	20	щодня	2011 по 2014
	блакитний	0,45–0,51					
	зелений	0,51–0,58	0,5				
	жовтий	0,58–0,62					
	червоний	0,63–0,69	2				
	крайній ІЧ	0,7–0,74					
	ближній ІЧ	0,77–0,89	0,55				
	ближній ІЧ 2	0,86–1,04					
	панхроматичний	0,47–0,83	0,5				
	блакитний	0,43–0,55					
	зелений	0,5–0,62	0,94				
	червоний	0,59–0,71					
	ближній ІЧ	0,74–0,94					

го користувача: від картографічно прив'язаного зображення і простого ортофотоплана до тривимірного зображення і віртуальної моделі світу на екрані комп'ютера. З кожним роком супутників високої роздільної здатності стає все більше й більше (таб. 3) [3].

Успішне виведення на орбіту WorldView-3 знаменує собою нову віху в розвитку дистанційного зондування Землі. Крім надвисокої роздільної здатності

(31 см в панхроматичному каналі і 1,24 м у восьми каналах видимого та ближнього ІК діапазонів), супутник дозволяє проводити зйомку в 8 каналах та в короткохвильовому ІК діапазоні (SWIR) з роздільною здатністю 3,7 метрів, а також має на своєму борту унікальний 12-канальний прилад CAVIS (corrects for Clouds, Aerosols, Vapors, Ice, and Snow), інформація з якого дозволить проводити корекцію димки, аеро-

золів, пилу для знімків WorldView-3. Така заявлена точність планової прив'язки знімків без використання опорних точок — 3,5 метра (CE90). Дані з нового супутника будуть особливо потрібні в таких галузях, як нафтогазова (вибір ділянки, розвідка, моніторинг навколишнього середовища), видобуток корисних копалин (більш точна і повна ідентифікація мінералів і хімічних сполук), сільське господарство (атмосферна корекція в поєднанні з 16 спектральними діапазонами дозволить краще прогнозувати врожайність і виявляти неоднорідності при точному землеробстві) [1].

Задачі, що можуть вирішуватися за допомогою даних аерокосмічних супутників:

- створення і оновлення топографічних та спеціальних карт різного масштабу;
- створення цифрових моделей рельєфу з точністю 5–10 м по висоті;
- інвентаризація та контроль будівництва об'єктів інфраструктури транспортування та видобутку нафти і газу;
- моніторинг екологічного стану територій в районах видобутку, переробки, транспортування нафти і газу, інших корисних копалин;
- оновлення топографічної підоснови для розробки проектів схем територіального планування муніципальних районів і суб'єктів федерації;
- виконання лісовпорядних робіт, інвентаризація лісів. Регулярний контроль лісочористування та моніторинг стану лісів;
- інвентаризація сільськогосподарських угідь, моніторинг стану посівів, оцінка засміченості, виявлення шкідників і хвороб сільськогосподарських культур, прогнозування врожайності;
- моніторинг і прогнозування процесів заболочення і спустошення, засолення, карсту, ерозії, степових пожеж і т. п.;
- інвентаризація сільськогосподарських угідь, створення карт землекористування;
- моніторинг стану посівів, оцінка засміченості, виявлення шкідників і хвороб сільськогосподарських культур, прогнозування врожайності, точне землеробство;
- моніторинг стану лісової рослинності, інвентаризація лісів;
- моніторинг природних та антропогенно-спровокованих катастроф;
- моніторинг стану об'єктів інфраструктури транспортування та видобутку нафти і газу;
- територіальне планування та управління муніципальним і міським господарством;
- оновлення дорожніх та інших спеціальних карт масштабу 1:25 000–1:50 000;
- моніторинг екологічного стану територій в районах видобутку, переробки, транспортування нафти і газу, інших корисних копалин;
- створення та оновлення топографічних та спеці-

альних карт і автоматизоване створення великомасштабних карт і планів рослинності, ландшафтів та природокористування;

- оновлення топографічної підоснови для розробки проектів генеральних планів перспективного розвитку міст, схем територіального планування муніципальних районів [6, 7].

## Висновки

1. Залежно від поставлених задач, можна підібрати таку знімальну систему, яка б повністю відповідала даним вимогам як по технічним характеристикам так і по якісному складу отриманих із космосу зображень. А також можна підібрати знімки відповідно типу, формату та інформативності.
2. З кожним роком вибір супутникових систем високої просторової розрізненості стає все більшим тому що отримана з їх допомогою інформація є найдостовірнішою та найточнішою.
3. Дані з супутників нового покоління особливо потрібні в таких галузях моніторинг навколишнього середовища, сільське господарство тому що атмосферна корекція в поєднанні з 16 спектральними діапазонами дозволить краще прогнозувати врожайність і виявляти неоднорідності при точному землеробстві.

## Література

1. Аерокосмічні знімальні системи: посібник / Х. В. Бурштинська, С. А. Станкевич — Львів: Львівська політехніка, 2013. — 292 с.
2. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування / За ред. В. І. Лялька та М. О. Попова. — Київ: Наукова думка, 2006. — 360 с.
3. Космічні системи дистанційного зондування Землі: посібник / С. В. Гарбук, В. Е. Гершензон. — М.: Видавництво А і Б, 1997. — 296 с.
4. Лялька В. І., Попов М. О. Стан та перспективи розвитку дистанційних методів дослідження Землі в Україні / В. І. Лялька, М. О. Попов // Геологічний журнал, 2011. — №1. — С. 50–58.
5. Спутниковые методы поиска полезных ископаемых / Под ред. акад НАН Украины В. И. Лялька и докт. техн. наук М. А. Попова. Киев: Карбон-Лтд, 2012. — 436 с.
6. Зацерковний В. І. Використання геоінформаційних технологій в аналізі ґрунтового покриття / В. І. Зацерковний, С. В. Кривоберець, Ю. С. Сімакін // Інженерна геодезія, 2010. — №56. — С. 162–168.
7. Global Land Cover Facility Landsat Imagery. [Електронний ресурс] — Режим доступу: <http://web.pdx.edu/emch/ip1/bandcombinations.html>-2013.

## ОБОСНОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ В ЗАДАЧАХ МОНИТОРИНГА ЗЕМЕЛЬНЫХ РЕСУРСОВ

Л. В. Гебрін

Описаны системы получения и распространения данных оперативного мониторинга. Проведен сравнительный анализ технических параметров космических аппаратов которые являются наиболее используемыми для оценки ведения мониторинга земельных ресурсов. Освещены задачи решаемые с помощью данных аэрокосмического зондирования. Обоснованно связь выбора оптимальной съемочной системы в зависимости от цели поставленной задачи.

**Ключевые слова:** космические аппараты, аэрокосмический мониторинг, земельные ресурсы, аэрокосмические системы, съемочная система, дистанционное зондирование Земли

## THE TECHNICAL OPERATING PARAMETERS OF REMOTE SENSING FOR THE ASK MONITORING OF LAND RESOURCES

L. V. Gebrin

The systems generate and disseminate data for operational monitoring. A comparative analysis of the technical parameters of cosmic pressure washer that are most commonly used to assess the conduct of monitoring of land resources. Highlight the problem solved with the help of data space sounding. The relationship of the selection of the optimal set of the system depending on the purpose of the task.

**Keywords:** spacecraft, aerospace monitoring, land, aerospace systems, camera systems, remote sensing of the Earth