

УДК 629.78

**В.В. ЗУЙКО, А.М. КОЗУБ, В.Е. МИХАЛЕВИЧ**, інженери  
(Нац. ун-т оборони України імені Івана Черняховського, м. Київ)

## СУЧАСНИЙ СТАН І ТЕНДЕНЦІЇ РОЗВИТКУ КОСМІЧНИХ СИСТЕМ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ ПРОВІДНИХ КРАЇН СВІТУ

Проведено аналіз існуючого стану використання космічного простору й обзору застосування космічних систем дистанційного зондування Землі та подальших перспектив їхнього використання. Розглянуто тенденції розвитку космічних систем дистанційного зондування Землі в провідних країнах світу з метою забезпечення потреб військових і цивільних користувачів.

Проведен анализ существующего состояния использования космического пространства и обзора применения космических систем дистанционного зондирования Земли и дальнейших перспектив их использования. Рассмотрены тенденции развития космических систем в ведущих странах мира для обеспечения потребностей военных и гражданских пользователей.

The issue of remote sensing systems and their use for military purposes in the last period paid more attention. Since the war in the Persian Gulf, to local wars and armed conflicts of the early twenty-first century, including the anti-terrorist operations in the eastern regions of Ukraine remote sensing space systems play an increasingly important role in the conduct of armed struggle. The value of timely information from remote sensing space systems and volumes of its use is growing every year.

Classic types of intelligence are too high losses, low accuracy of the coordinates, the range of small, low frequency of inspection and efficiency would bring to the consumer. The use of space systems intelligence, exclusively military is economically reasonable for most countries, including the Ukraine.

Aim of this article is to highlight condition and trends of space systems remote sensing world leading countries in this sphere.

Therefore, the currently use of space for solving problems the information provide consumers with the use of space systems (CS) remote sensing in different spheres of life is an environment for competition. Thus, the spacecraft (SC) of the said remote sensing systems are equipped with modern optical and radar equipment and are able to solve problems that previously relied exclusively on the species system space exploration.

**Постановка проблеми.** Питанням розвитку систем дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) та їхнього використання для військових потреб за останній період приділяється все більша увага. Починаючи з війни в зоні Перської затоки, до локальних війн та збройних конфліктів початку ХХІ століття, включаючи проведення антитерористичної операції (АТО) на території східних областей України, космічні системи ДЗЗ відіграють все більш вагомую роль у ході ведення збройної боротьби. Цінність оперативної інформації від космічних систем ДЗЗ та об'єми її використання з кожним роком зростають.

Досвід АТО на сході України та збройних конфліктів свідчить, що з огляду на активний розвиток новітнього озброєння, високоточної зброї,

військової техніки та швидкоплинність ведення бойових дій, інформація, яка надходить від існуючих у збройних силах засобів наземної та повітряної розвідки є недостатньою для якісної підготовки та ведення військових операцій. Класичні види розвідки мають занадто високий рівень втрат, низьку точність визначення координат, малий радіус дії, низьку періодичність огляду та оперативність доведення інформації до споживача. Використання космічних систем розвідки виключно військового призначення є економічно не обґрунтовано для більшості країн світу, в тому числі й для України.

Тому на даний час використання космічного простору з метою вирішення завдань інформаційного забезпечення споживачів із застосуванням

© В.В. ЗУЙКО, А.М. КОЗУБ, В.Е. МИХАЛЕВИЧ, 2015

космічних систем (КС) ДЗЗ в різних сферах життєдіяльності є середовищем задля конкурентної боротьби. В цьому разі, космічні апарати (КА) ДЗЗ системи, які зазначено, оснащено сучасною оптичною та радіолокаційною апаратурою. Вони здатні вирішувати завдання, що раніше покладались виключно на системи видової космічної розвідки.

#### **Огляд останніх досліджень і публікацій.**

Аналіз літератури та публікацій у відкритих роботах [1-6] показав, що станом на квітень 2015 року на навколоземних орбітах знаходяться 1325 діючих КА, з них 57 видової розвідки та 95 ДЗЗ. Кількісне відношення КА ДЗЗ до КА видової розвідки показує, що існує великий попит на матеріали космічної зйомки комерційних КА ДЗЗ, які використовуються як в інтересах військових організацій держави, так й інших народногосподарських потреб.

Аналіз космічних програм провідних країн світу дозволяє стверджувати, що їхні основні зусилля спрямовано на створення засобів ДЗЗ та їхнє використання на комерційній основі у власних інтересах. Розглянемо основні з них згідно роботам [2, 7].

**Формулювання мети статті. Викладення основного матеріалу.** Мета статті – висвітлення стану та тенденцій розвитку КС ДЗЗ провідних країн світу в даному напрямі.

**США.** Сполучені Штати Америки в разі відносно невисоких річних темпах запусків КА ДЗЗ залишаються світовим лідером у сфері використання комерційних космічних систем видового спостереження, що пояснюється великою тривалістю орбітальної експлуатації, яка перевищує гарантований термін їхнього активного існування (10 років і більше).

Політику в області ДЗЗ у США визначає держава. Законодавчою основою з метою державної підтримки нових комерційних систем є президентська директива з державної політики в галузі ДЗЗ (US Commercial Remote Sensing Space Policy) згідно роботи [8], яку підписано президентом США в квітні 2003 року. Директива зобов'язує державні органи максимально використовувати можливості національних комерційних систем ДЗЗ.

Станом на квітень 2015 року орбітальне угруповання КА ДЗЗ США становить 9 КА, угруповання складається з КА оптико-електронного спостереження (табл.1).

США є лідером ринку ДЗЗ за кількістю КА з можливістю отримувати космічні знімки високого просторового розрізнення (0,3–1 м), які дозволяють вирішувати завдання в інтересах національної безпеки та оборони, тому на думку керівництва національної служби розвідки США NRO (National Reconnaissance Office) не важливо джерело отримання даних, якщо воно дозволяє досягти цілей, які поставлено, підвищити оперативність вирішення завдань забезпечення розвідувальними даними, зменшити навантаження на власні засоби космічної розвідки та зменшити вартість отримання матеріалів космічної зйомки.

Лідерами розвитку сучасного ринку супутникових геопросторових даних є комерційна система ДЗЗ подвійного призначення компанії Digital Globe, якій належать шість КА високого просторового розрізнення.

Управління геопросторової розвідки США (NGA) служить найбільшим джерелом фінансування комерційної галузі ДЗЗ США, закуповуючи за програмою Enhanced View більше 50% ресурсів комерційних КА. В 2012 році NGA скоротила обсяги закупівель матеріалів космічної зйомки (МКЗ), тому найбільша в світі компанія-оператор комерційних КА з високою просторовою розрізненістю Digital Globe, яка поглинула компанію GeoEye й контролює близько 60% світового ринку геопросторових даних, відмовилася від планів запуску готового КА «GeoEye-2». Майже готовий супутник КА «GeoEye-2» (оціночна вартість разом із запуском – до \$ 850 млн) на кілька років поміщено на зберігання. На світовому ринку ДЗЗ існує жорстка конкуренція, прикладом чого є спроба компанії Digital Globe продати «GeoEye-2» в Об'єднані Арабські Емірати, які взяли участь у тендері на поставку КА видової розвідки Falcon Eye вартістю близько \$ 1 млрд, як зазначено в роботі [3], але перемогу здобули французькі компанії, які запропонували два КА класу Pleiades.

Річний обіг компанії Digital Globe в 2013 році склав приблизно \$ 613 млн, у тому числі близько 57% продажу припадає на урядові замовлення, 17% – продажу за програмами співробітництва з оборонними відомствами інших країн, 11% – продажу закордонним цивільним відомствам, 8% – навігаційній сервіс масового попиту і 7% – вертикальні ринки згідно роботи [9].

Таблиця 1. Орбітальне угруповання КА ДЗЗ США станом на квітень 2015 року

№№ з/п	Назва КА	Дата запуску	Просторове розрізнення, м		Спектральний діапазон, мкм	
			Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим	Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим
1.	GeoEye-1	06.09.08	0,46	1,65	0,45-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,52-0,60 (зелений) 0,625-0,795 (червоний) 0,76-0,90 (ближн. ІЧ)
2.	Landsat-7	15.04.99	15	30	0,52-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,53-0,61 (зелений) 0,63-0,69 (червоний) 0,78-0,90 (ближн. ІЧ) 1,55-1,75 (сер. ІЧ-1) 2,07-2,35 (сер. ІЧ-2)
3.	Landsat-8	11.02.13	15	30	0,50-0,68	0,43-0,45 (фіолетовий) 0,45-0,52 (синій) 0,53-0,60 (зелений) 0,64-0,68 (червоний) 0,85-0,88 (ближн. ІЧ) 1,57-1,65 (сер. ІЧ-1) 2,11-2,29 (сер. ІЧ-2)
4.	SkySat-1	21.11.13	0,9	2	0,45-0,90	0,45-0,52(синій) 0,52-0,60(зелений) 0,61-0,69(червоний) 0,74-0,90(ближн. ІЧ)
5.	SkySat-2	08.07.14				
6.	Terra	18.12.99	-	15-90	-	0,52-0,60 (зелений) 0,63-0,69(червоний) 0,76-0,86 (ближн. ІЧ) 1,6-1,7(середн. ІЧ) 2,15-2,19 (середн. ІЧ) 2,19-2,23 (середн. ІЧ) 2,24-2,29 (середн. ІЧ) 2,29-2,37 (середн. ІЧ) 2,36-2,43(середн. ІЧ) 8,13-8,48 (тепл. ІЧ) 8,48-8,83(тепл. ІЧ) 8,93-9,28(тепл. ІЧ) 10,25-10,95(тепл. ІЧ) 10,95-11,65(тепл. ІЧ)
7.	WorldView-1	18.09.07	0,5	-	0,50-0,90	-
8.	WorldView-2	08.10.09	0,46	1,84	0,50-0,90	0,40-0,45 (фіолетовий) 0,45-0,51 (синій) 0,51-0,58 (зелений) 0,585-0,625 (жовтий) 0,63-0,69 (червоний) 0,705-0,745 (крайній червоний) 0,77-0,89 (ближн. ІЧ-1) 0,86-1,04 (ближн. ІЧ-2)
9.	WorldView-3	13.08.14	0,31	1,24		

З виведенням на навколосезну орбіту КА «Ikonos» у 1999 році змінились тенденції КА ДЗЗ, які виражено в поліпшенні просторового розрізнення (рис. 1).

18 вересня 2007 року, комерційна компанія Digital Globe (США) здійснила запуск першого КА «WorldView-1», який обладнано телескопом з апертурою діаметром 60 см, просторовою розрізненістю 0,45 м в панхроматичному режимі в кадрі завширшки 16,5 км. У разі відхилення телескопа від напрямку в надир на  $40^\circ$  можлива зйомка в смузі завширшки 775 км із погіршенням просторової розрізненості до 1 м. КА знаходиться на сонячно-синхронній орбіті з висотою 450 км.

Продовженням серії КА «WorldView» став запуск у жовтні 2009 року другого КА серії «WorldView-2» з покращеними характеристиками: просторова розрізненість 0,45 м в панхроматичному режимі та 1,8 м в мультиспектральному режимі в 8 спектральних каналах. Розмір кадру на місцевості в разі зйомки в надир – 16,4 км. КА має бортовий запам'ятовуючий пристрій ємністю 2,2 Тбіт і надшвидкісну радіолінію передачі даних швидкістю 800 Мбіт/с. КА може вести зйомку в наступних режимах: кадровому, маршрутному (можливі зйомки маршрутів складної конфігурації, наприклад, уздовж берегової лінії, дороги, нафтопроводу або лінії держкордону), площадковому (зони розміром 60 x 60 км<sup>2</sup>), а також у режимі формування стереопар. Радіометричне розрізнення становить 11 біт/піксель.

З метою забезпечення високої оперативності супутники WorldView ведуть зйомку одночасно з

передачею даних на станції клієнтів. Передбачено також можливість програмування, зйомки та прийому інформації через станцію клієнта (так званого «віртуального оператора») протягом одного сеансу радіозв'язку.

В 2008 році комерційна компанія GeoEye, яка об'єдналась із компанією Digital Globe (США), згідно роботи [10], здійснює запуск КА «GeoEye-1».

GeoEye-1 удосконалює лінійку сучасних оптичних супутникових систем за рядом параметрів: надвисока детальність зображень (КА може забезпечити одночасну зйомку в панхроматичному та мультиспектральному режимах у кадрі завширшки 15,2 км із просторовою розрізненістю 0,41 м та 1,65 м відповідно), висока точність прив'язки знімків (3 м у разі зйомки в надир), висока продуктивність супутника. Продуктивність «GeoEye-1» на добу становить до 700 тис. км<sup>2</sup> (панхроматичний режим) та до 350 тис. км<sup>2</sup> (мультиспектральний режим). З метою зберігання матеріалу, який знято, на борту встановлено запам'ятовуючий пристрій ємністю 1,2 Тбіт. Зображення передаються на Землю за двома радіолініями в X-діапазоні частот зі швидкістю 150 й 700 Мбіт/с. Радіометричне розрізнення становить 11 біт/піксель.

Компанія Google підписала угоду з GeoEye Inc. ексклюзивного використання знімків, які отримано з КА «GeoEye-1». Згідно з даними інформаційного агентства Reuters загальна вартість ви-

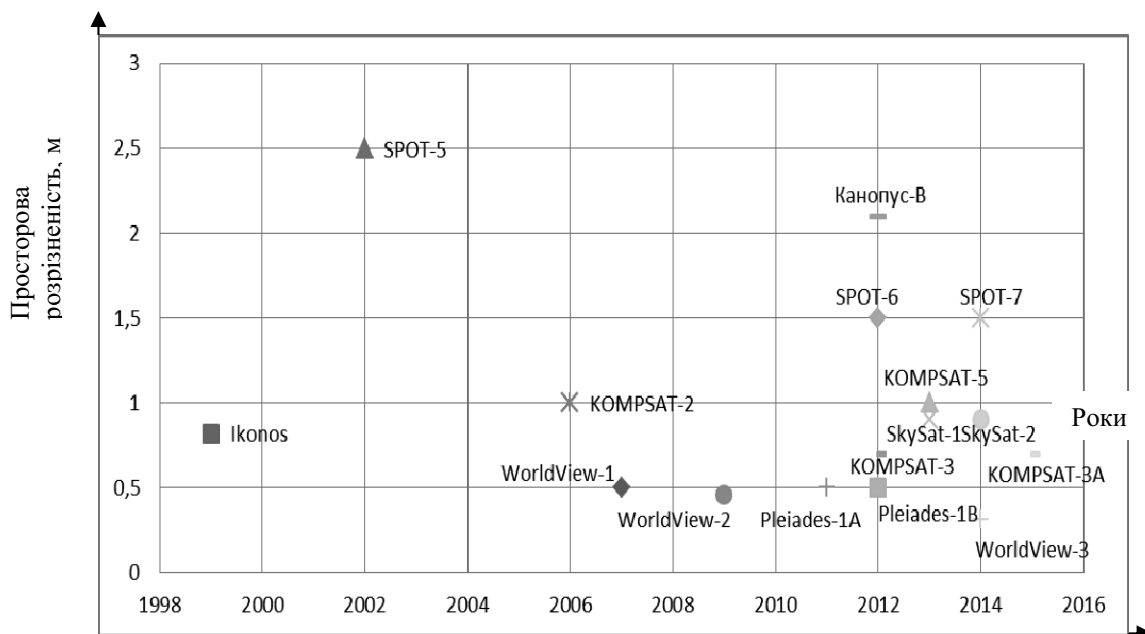


Рис. 1. Тенденції зміни просторової розрізненості дистанційного зондування Землі космічними апаратами

робництва супутника склала 502 млн дол. США, з них приблизно \$ 209 млн витрачено на виготовлення космічного апарата. За допомогою сервісу GoogleMaps користувачі мережі Internet мають безкоштовний доступ до архівних МКЗ, які отримано з КА «GeoEye-1» та ще декількох КА, що належать «Digital Globe».

Альтернативний підхід до реалізованого в компанії Digital Globe (дорогі послуги на отримання знімків) розвивають дві невеликі приватні компанії SkyBox та Planet Labs (раніше – Cosmogia Inc.) у двох сусідніх сегментах мікро- (100 кг) й нанорозмірних супутників (5-10 кг).

Каліфорнійська комерційна компанія Planet Labs зосередила зусилля в секторі дешевих наносупутників і сегменті продуктів високої просторової розрізненості 3-5 м. Компанія змогла залучити \$ 65 млн від інвесторів і здійснила запуск у 2013 році чотирьох експериментальних наносупутників Dove [1-4]. Орбітальні випробування продемонстрували можливість кольорової зйомки зі заявленими параметрами. З 11 по 28 лютого 2014 року з борту МКЗ здійснено запуск 28 наносупутників Dove (сузір'я Flock-1), як зазначено в роботі [4], розмірністю подібній Кубсат (30x10x10 см<sup>3</sup>) і масою близько 5,8 кг кожний. Розрахунковий термін існування КА близько двох років. За оцінкою фахівців, кольорові знімки високої просторової розрізненості можуть знайти попит в агробізнесі, лісовому господарстві, екологічному моніторингу й для інших завдань, де потрібна оперативна та регулярна поставка геопродуктів. Система, яку розробляє компанія PlanetLabs, дозволить отримати знімки земної поверхні високого просторового розрізнення в майже реальному масштабі часу.

Інша каліфорнійська компанія SkyBox Imaging згідно роботи [5] (\$ 110 млн інвестицій) планує на основі нових технологій створити систему з 24 порівняно недорогих мікросупутників масою 100 кг, впровадити нові оптичні камери з двомірними матрицями на основі приладів зі зарядовим зв'язком, нові технології зйомки та обробки зображень із метровою просторовою розрізненістю, включаючи детальну відеозйомку, мережу малогабаритних автоматичних станцій, систему оперативного управління, обробки, які розподілено та веб-доступу до продуктів. У 2013 році компанія запустила перший експериментальний КА «Skysat-1», на якому успішно протестувала нові технології. Оптична система забезпечує зйомку

в п'яти спектральних каналах (панхроматичний, три канали видимого та ближнього інфрачервоного діапазонів) із просторовою розрізненістю 0,9 м в смузі завширшки 8 км. КА продемонстрував можливість отримання 90-секундних відеосюжетів у форматі високої чіткості HD із просторовою розрізненістю 1,1 м і частотою 30 кадрів/с (панхроматичні відеозаписи в форматі MPEG-4 ділянок місцевості розміром 2 x 1,1 км<sup>2</sup>). У даний час із метою аналізу динаміки альтернативою відеозйомки є формування триплетів зображень із багатьох ракурсів (зйомка до 30 знімків одного об'єкта за проліт), вартість якої визначається числом знімків, які одержувано.

В 2014 році запущено КА «Skysat-2» й розпочато виробництво першої серійної партії із 13 мікросупутників. У разі повного розгортання в 2017 році система з 24 супутників забезпечить оперативну багаторазову (до 5-10 разів) зйомку будь-якого об'єкта протягом доби. Час, який заплановано від зйомки до отримання зображення, 20 хвилин. Розрахунковий термін експлуатації КА планується збільшити з 4 до 6 років. КА «Skysat-1» став лідером у класі КА ДЗЗ метрової розрізненості за співвідношенням «маса / просторова розрізненість» (100 кг / 0,9 м). Найближчі конкуренти – EROS B (290 кг / 0,7 м) та SSOT (117 кг / 1,5 м). Такий показник говорить про високу наукоємність корисного навантаження й можливості суттєвої економії коштів у разі поточного виробництва та групових запусках. Необхідно відзначити, що всі витрати й ризики компаній SkyBox та Planet Labs лежать на приватних інвесторах.

Таким чином США мають найбільшу кількість КА ДЗЗ, які дозволяють отримувати знімки будь-якої ділянки земної поверхні протягом доби з високим (до 1 м) просторовим розрізненням та використовуються з метою рішення завдань інформаційного забезпечення органів військового управління різних ланок. Спільна робота уряду США, Національного розвідувального управління та комерційних компаній ефективна на ринку ДЗЗ та в космічній галузі.

**Франція.** Станом на квітень 2015 року орбітальне угруповання КА ДЗЗ Франції складає 5 КА (табл. 2).

На протязі з 2011 до 2014 років Франція зробила серію вдалих запусків КА, та створила потужне космічне угруповання КА ДЗЗ із високою просторовою розрізненістю.

Таблиця 2. Орбітальне угруповання КА ДЗЗ Франції станом на квітень 2015 року

№№ з/п	Назва КА	Дата запуску	Просторове розрізнення, м		Спектральний діапазон, мкм	
			Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим	Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим
1.	Pleiades-1A	17.12.11	0,5	2,0	0,48-0,83	0,43-0,55 (синій)
2.	Pleiades-1B	02.12.12				0,49-0,61 (зелений)
						0,60-0,72 (червоний)
						0,79-0,95 (ближн. ІЧ)
3.	SPOT-5	03.05.02	до 2,5	10	0,48-0,71	0,50-0,59 (зелений)
						0,61-0,68 (червоний)
						0,78-0,89 (ближн. ІЧ)
						1,58-1,75 (середн. ІЧ)
4.	SPOT-6	09.09.12	до 1,5	до 6	0,45-0,75	0,45-0,52 (синій)
5.	SPOT-7	30.06.14				0,53-0,60 (зелений)
						0,62-0,69 (червоний)
						0,76-0,89 (ближн. ІЧ)

КА Pleiades-1A,-1B виготовлено за кошти держбюджету Франції, оператором системи є Національний центр космічних досліджень Франції CNES (Centre National d' Études Spatiales), КА SPOT 6 та SPOT 7, які виготовлено за кошти компанії EADS Astrium. SPOT 6 та SPOT 7 ідентичні КА, які створено на основі досвіду експлуатації SPOT 5 із використанням технологій, які були застосовано в КА серії Pleiades. Так, КА SPOT-6, 7 мають просторове розрізнення 1,5 м та отримали можливість знімати в синьому діапазоні, що дозволило отримати природні кольори зображення. КА Pleiades-1A, -1B та SPOT-6, 7 синхронізовано на одній орбіті таким чином, щоб мати можливість забезпечити щоденну зйомку одної і тої ділянки земної поверхні.

Використовуючи космічні технології нового покоління, такі, як оптико-волоконні системи гіростабілізації, що забезпечують дуже високу маневреність, вони можуть проводити зйомку в будь-якому місці 800-км смуги менше ніж за 25 секунд із точністю геопозиціонування менше 3 м (СЕ90) без використання наземних опорних точок і 1 м – з використанням наземних опорних точок.

КА Pleiades-1A, -1B, SPOT-5, 6, 7 утворюють систему оптико-електронного спостереження та працюють в тандемі з КА радіолокаційного спостереження TerraSAR-X та TanDEM-X (Німеччина), що дозволяє збільшити оперативність спостереження.

На думку західних військових аналітиків, згідно роботи [6], використання КС ДЗЗ Франції може порушити монополію США на поставку матеріалів космічної зйомки надвисокого просторового розрізнення в інтересах військових користувачів. Система

ДЗЗ, яка налічує 5 КА є оптимальною за критерієм “ефективність–вартість”. Наявним космічним угрупованням КА ДЗЗ можна здійснити зйомку будь-якого району земної поверхні протягом доби.

**Російська Федерація.** Станом на квітень 2015 року орбітальне угруповання КА ДЗЗ РФ становить 4 КА, яке представлено лише КА з можливістю оптико-електронного спостереження (табл. 3).

В 2012 році РФ здійснила запуск КА «Канопус-В», який призначено з метою забезпечення оперативною інформацією підрозділів Федерального космічного агентства РФ, міністерств РФ із справ цивільної оборони, надзвичайних ситуацій та ліквідації наслідків стихійних лих, а також інших відомств, які зацікавлено. КА обладнано двома системами зйомки: панхроматичною та мультиспектральною. Панхроматичну систему побудовано за технологією мікрокадрів. Вона формує загальний кадр із 6 матриць, які знаходяться в єдиній фокальній площині та дозволяють отримати знімок із просторовим розрізненням 2,1 м із смугою зйомки 23 км. Мультиспектральна система знімає по 4 кадри, в 4-х спектральних каналах, як зазначено в роботі [11], має максимальне просторове розрізнення 10,5 м із смугою зйомки 20 км, радіометричне розрізнення – 12 біт/піксель. Продуктивність зйомки КА 500 тис. км<sup>2</sup>/добу.

В 2006 році було здійснено запуск КА «Ресурс-ДК1», який призначено з метою ДЗЗ із метою отримання в близькому до реального масштабі часу, зображень у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах спектра. КА побудовано на платформі КА «Янтарь».

Таблиця 3. Орбітальне угруповання КА ДЗЗ Російської Федерації станом на квітень 2015 року

№№ з/п	Назва КА	Дата запуску	Просторове розрізнення, м		Спектральний діапазон, мкм	
			Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим	Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим
1.	Канопус-В	22.07.12	2,1	10,5	0,52-0,85	0,46-0,52 (синій) 0,63-0,69 (зелений) 0,69-0,72 (червоний) 0,75-0,86 (ближн. ІЧ)
2.	Ресурс-ДК	15.07.06	1	2-3	0,58-0,80	0,5-0,6 (зелений) 0,6-0,7 (червоний) 0,75-0,86 (ближн. ІЧ)
3.	Ресурс-П1	25.06.13	1	3-4	0,58-0,80	0,45-0,52 (синій) 0,52-0,60 (зелений) 0,61-0,68 (червоний) 0,72-0,80; 0,80-0,90 (червоний + ближн. ІЧ)
4.	Ресурс-П2	26.12.14				
5.	Ресурс-П3 (перспективний)	2015				

На «Ресурс-ДК1» встановлено оптико-електронну апаратуру «Геотон-1», яка забезпечує одночасну зйомку поверхні Землі в панхроматичному (1 м) та мультиспектральному (2-3 м) режимах у вигляді безперервних смуг з довжиною близько 400 км та завширшки 28 км. КА було запущено на еліптичну орбіту з висотою перигею 361, висотою апогею 604 км, але після подвійного терміну гарантованого активного існування в 2011 році було здійснено корекцію орбіти. Орбіта перетворилася на кругову сонячно-синхронну. Певним недоліком КА є нахилення орбіти ( $i$ ), яке дорівнює  $70,4^\circ$ , що обмежує зону покриття. В даному КА реалізовано можливість з одночасною передачею інформації зі запам'ятовуючого пристрою (його ємність – 768 Гб) та зйомка з накопиченням. Продуктивність зйомки КА 1 млн км<sup>2</sup>/добу.

Використовуючи напрацювання, які було досягнуто за розробку та створення космічного комплексу (КК) «Ресурс-ДК1» в 2007, почалася розробка КК «Ресурс-П» згідно робіт, [12, 13], космічна компонента якого складається з 2-х КА. В 2013 році (з запізненням на 3 роки) було запущено перший КА КК «Ресурс-П», який базується на конструктивно-апаратній основі КА «Ресурс-ДК1», але є деякі відмінності та покращення з попередником (табл. 3), а саме:

- КА виведено на кругову сонячно-синхронну орбіту ( $H = 515-550$  км);
- збільшення ширини смуги зйомки до 44 км;
- збільшення кількості спектральних діапазонів із 3 до 5;

- можливість гіперспектральної зйомки;
- введення режимів стереозйомки, зйомки площадок, розширення можливості азимутальної зйомки;
- встановлено апаратуру широкозахватної мультиспектральної зйомки високої та середньої просторової розрізненості (ШМСА-ВР – ширина смуги зйомки – 96 м) та середньої просторової розрізненості (ШМСА-СР – ширина смуги зйомки – 480 м);
- збільшення строку активного існування з 3 до 5 років;
- забезпечення можливості прив'язки знімків із точністю 20-50 м.

КА забезпечив зйомку близько 34 млн км<sup>2</sup> земної поверхні в панхроматичному режимі.

В грудні 2014 року виведено на орбіту другий апарат КК «Ресурс-П». В 2015 році планується запуск третього КА серії «Ресурс-П», як зазначено в роботі [14].

Перспективними напрямками в розробці КА ДЗЗ можна відмітити розпочаті Роскосмосом в 2012 році проекти щодо створення системи ДЗЗ «Обзор-О» та «Обзор-Р» згідно роботи [15]. КС «Обзор-О» призначено з метою оперативного оптичного спостереження земної поверхні з високим просторовим розрізненням (оптико-електронна апаратура мультиспектральної зйомки з розрізненням 7 м) та повинна мати в своєму складі 4 КА. Вартість контракту 4,66 млрд рублів. Запуск першого КА заплановано на 2017 рік. Цей КА – радіолокаційного спостереження. «Обзор-Р» буде обладнано локатором на базі АФАР (активної фа-

зованої антенної решітки), що дозволить отримувати зображення з просторовим розрізненням не гірше 1 м. Вартість проекту складає приблизно 3,6 млрд рублів.

Підтримуючи світові тенденції щодо створення космічних систем, РФ планує розробити космічну систему з 24 КА МКА-Н (малогабаритний космічний апарат нанокласу), які повинні бути максимально уніфіковано з платформою CubeSat. Вага КА не буде перевищувати 10 кг, а знімальна апаратура буде мати просторове розрізнення близько 20 м. Розробником системи є згідно роботи [16] комерційна компанія «Даурія Аэроспейс» на замовлення Роскосмосу.

Таким чином аналіз стану космічних систем ДЗЗ РФ показав, що орбітальне угруповання КА ДЗЗ складається лише з КА оптико-електронного спостереження з можливістю вести зйомку в панхроматичному, мультиспектральному та гіперспектральному режимах. Максимальне просторове розрізнення – 1 м – орбітального угруповання ДЗЗ РФ не дозволяє забезпечити потреби країни власними засобами. Проаналізувавши кількість КА ДЗЗ та їхні просторові та часові характеристики можна зробити висновок, що КС ДЗЗ не дозво-

ляє забезпечити потреби країни у військових цілях власними засобами.

**Південна Корея.** Станом на квітень 2015 року згідно роботи [17] орбітальне угруповання КА ДЗЗ Південної Кореї становить 4 КА («KOMPSAT-2», «KOMPSAT-3», «KOMPSAT-3A» (табл.4) з оптико-електронною апаратурою, «KOMPSAT-5» (табл. 5) із радіолокаційною апаратурою). КА з оптико-електронною апаратурою спостереження здатні робити знімки Землі як в панхроматичному, так і в мультиспектральних режимах із високим просторовим розрізненням.

Згідно з супутниковою програмою KOMPSAT (Korean Multi-Purpose Satellite) з 1999 до 2019 років повинно бути запущено 5 КА ДЗЗ.

Так, в липні 2006 року запущено КА «KOMPSAT-2», якій здатний вести зйомку земної поверхні з просторовою розрізненістю 1 м в панхроматичному та 4 м в мультиспектральному режимах. Радіометрична розрізненість складає 10 біт/піксель. «KOMPSAT-2» може вести безперервну зйомку до 120 тис. км<sup>2</sup> (533 сцени) на одному витку. Завширшки смуга зйомки – 15 км. Також КА має можливість стереозйомки.

**Таблиця 4. Орбітальне угруповання КА ДЗЗ із оптико-електронною апаратурою Південної Кореї станом на квітень 2015 року**

№№ з/п	Назва КА	Дата запуску	Просторове розрізнення, м		Спектральний діапазон, мкм	
			Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим	Панхроматичний режим	Мультиспектральний режим
1.	KOMPSAT-2	28.07.06	1	4	0,50-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,52-0,60 (зелений) 0,63-0,69 (червоний) 0,76-0,90 (ближн. ІЧ)
2.	KOMPSAT-3	17.05.12	0,7	2,8	0,45-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,52-0,60 (зелений) 0,63-0,69 (червоний) 0,76-0,90 (ближн. ІЧ)
3.	KOMPSAT-3A	25.03.15	0,7	2,8	0,45-0,90	0,45-0,52 (синій) 0,52-0,60 (зелений) 0,63-0,69 (червоний) 0,76-0,90 (ближн. ІЧ)

**Таблиця 5. Орбітальне угруповання КА ДЗЗ із радіолокаційною апаратурою Південної Кореї станом на квітень 2015 року**

№№ з/п	Назва КА	Дата запуску	Просторове розрізнення, м	Спектральний діапазон	Поляризація
1.	KOMPSAT-5	22.08.13	1	С-діапазон	HH, VH, HV, VV



Продовженням програми KOMPSAT у травні 2012 року став запуск КА ДЗЗ «KOMPSAT-3» з оптико-електронною апаратурою. КА «KOMPSAT-3» розроблено за сприяння EADS Astrium (Європейський аерокосмічний концерн). Просторове розрізнення КА поліпшилось відносно «KOMPSAT-2» та складає 0,7 м у панхроматичному та 2,8 м у мультиспектральному режимах. Радіометричне розрізнення складає 14 біт/піксель. Завширшки смуга зйомки – 16,8 км.

В 2013 році з космодрому РФ «Ясний» було здійснено запуск третього КА системи видового спостереження Південної Кореї «KOMPSAT-5», який обладнано радаром із синтезованою апертурою, що надає можливість отримувати знімки земної поверхні з просторовим розрізненням 1 м та шириною смуги зйомки 5 км. Зйомка земної поверхні здійснюється в С-діапазоні зі змінною поляризацією випромінювання (HH, VH, HV, VV).

В березні 2015 року було здійснено запуск КА «KOMPSAT-3A», який за характеристиками ідентичний КА «KOMPSAT-3». Після прийому в експлуатацію КА доповнить існуючу систему та завершить побудову системи оперативного видового спостереження, яка дозволить здійснювати зйомку поверхні Землі цілодобово за будь-яких погодних умов.

Враховуючи просторові та часові характеристики КС ДЗЗ та незважаючи на невелике угруповання КА, Південна Корея здатна вирішувати завдання інформаційного забезпечення, як військових, так і цивільних користувачів.

### Висновки

Таким чином проведено аналіз стану орбітальних угруповань та перспектив запуску космічних систем дистанційного зондування Землі. Він дозволяє стверджувати, що на даний час попит на інформацію дистанційного зондування Землі в основному підтримується за рахунок розвідувальних військових відомств, а також органів державного управління.

В майбутньому планується збільшення попиту на інформацію дистанційного зондування Землі з боку масових споживачів, які не є технічними фахівцями, але потребують використання геопросторових даних у своїй діяльності. Збільшення попиту з боку таких споживачів обумовлено, насамперед, появою високопродуктивної персональної

обчислювальної техніки та відповідних програмних засобів, а також вдосконаленням і розширенням сфери застосування геоінформаційних систем, основним джерелом даних для яких є матеріали космічної зйомки.

Найбільш перспективні сегменти ринку космічних послуг, які ближче всього наближено до кінцевого, масового споживача, адже саме тут реалізується головна перевага космічних технологій – глобальність і можливість застосування даних із метою рішення широкого кола завдань.

Основними тенденціями у розвитку космічних систем дистанційного зондування Землі можна вважати:

- створення космічних апаратів та їхніх угруповань як багатофункціональних, так і призначених із метою вирішення специфічних завдань;
- створення та використання оптичних та радарних космічних апаратів дистанційного зондування Землі надвисокого просторового розрізнення;
- збільшення кількості можливих режимів зйомки бортової спеціальної апаратури космічних апаратів, покращення спектральних можливостей;
- створення багатосупутникових систем із використанням малорозмірних космічних апаратів (наносупутників);
- збільшення точності визначення координат об'єктів та висоти рельєфу;
- збільшення швидкості передачі даних;
- розвиток комплексних систем отримання, оброблення та надання даних дистанційного зондування Землі споживачам;
- розвиток національних програм систем дистанційного зондування Землі;
- зменшення вартості матеріалів космічної зйомки (вартість панхроматичних (чорно-білих) космічних знімків із просторовим розрізненням 1 м знизилася з більш ніж \$ 30 до \$ 5-10 за км<sup>2</sup>), що обумовлено високою конкуренцією на ринку даних дистанційного зондування Землі.

### Список літератури

1. *Класифікатор* діючих КА, березень 2015. – *Кто издал?* – С. ... с.
2. *Федеральная космическая программа России на 2006–2015 годы* // Постан. Правительства РФ от 22 окт. 2005. – № 635. – С. ... с. (с дополнениями от 31 марта 2011 г. № 23).
3. *Итоги запусков спутников съемки Земли в 2013 году: начало эпохи микро- и наноспутников* / Журнал «Земля из космоса». – 2013. – №1 (17). – С. ...-...

4. *Матеріали* офіційного сайту компанії PLANET LABS INC. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://www.planet.com>.
5. *Матеріали* офіційного сайту компанії Skybox Imaging, Inc. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.skybox.com>.
6. *Peter B. de Selding*. Enhanced View Contract Awards Carefully Structured, Space News Sept. 10, 2010 – Режим доступу до сайту: <http://spacenews.com/enhancedview-contract-awards-carefully-structured-nga-says>.
7. *U.S. Space Programs: Civilian, Military, and Commercial*, Order Code IB92011, June 13, 2006. – .....
8. *U.S. Commercial Remote Sensing Policy // Presidential Directive of 23 April, 2003*. – 35 p.
9. *DigitalGlobe 2013 Annual Report*, United States securities and exchange commission Washington, D.C. 20549, February 2014. – ... ..
10. *Report of Organizational Actions Affecting Basis of Securities from 8937 December 2011*. – ... ..
11. *Кравцова Е.* Технология обработки снимков с перспективного КА “Канопус-В” с использованием, PHOTOMOD // «ИнтернетГео» (4’2011). – С. 33-37.
12. *Матеріали* офіційного сайту АО «РКЦ «Прогресс». [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.samspace.ru>.
13. *Матеріали* сайту компанії «Иннотер» (РФ).- [Електронний ресурс] – Режим доступу:<https://innoter.com>.
14. *Матеріали* офіційного сайту Федерального космічного агентства РФ [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.federalsspace.ru>.
15. *Матеріали* офіційного сайту компанії «Совзонд» (РФ) [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://sovzond.ru>.
16. *Матеріали* офіційного сайту компанії Dauria Aerospace. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://russia.dauria.ru>.
17. *Матеріали* офіційного сайту Korea Aerospace Research Institute. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://russia.dauria.ru>.