УДК 629.78 https://doi.org/10.15407/itm2020.02.047

В. Т. МАРЧЕНКО, Н. П. САЗІНА, П. П. ХОРОЛЬСЬКИЙ, Н. Я. ЧЕРНЕЦЬКА

АНАЛІЗ ТЕНДЕНЦІЙ РОЗВИТКУ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

Інститут технічної механіки
Національної академії наук України і Державного космічного агентства України,
вул. Ляшко-Попеля, 15, 49005, Дніпро, Україна; e-mail: pkorol@ukr.net

Метою статті є аналіз тенденцій розвитку засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) за двадцять останніх років. Аналізуються: космічні апарати (КА) для зйомки земної поверхні у видимому діапазоні, космічні системи для відеозйомки земної поверхні, космічні системи для радіолокаційної зйомки земної поверхні, наземні засоби прийому й обробки даних ДЗЗ, розвиток галузі ДЗЗ у майбутньому.

Останнім часом розвиток засобів ДЗЗ, як космічних, так і наземних, іде наростаючими темпами. Особливо це стосується КА з оптико-електронною апаратурою (ОЕА) високого й надвисокого просторового розрізнення. З моменту запуску в 1999 році першого КА високого просторового розрізнення IKONOS-2, за двадцять наступних років було запущено 213 КА з ОЕА високого й надвисокого просторового розрізнення з 940 загальної кількості запущених КА ДЗЗ.

У наш час основною тенденцією розвитку дистанційного зондування Землі є створення угруповань супутників. До угруповань супутників можна віднести апарати, які ідентичні або близькі за своїми інформаційними характеристиками, які працюють узгоджено й мають загальне сховище даних.

Для завдань, що не вимагають оперативного одержання даних ДЗЗ, деякими експертами прогнозується, що нова зйомка з космосу не буде замовлятися взагалі. Підставою для цього є те, що якщо ще вчора співвідношення потреби в новій зйомці й в архівних даних було 80 % на 20 %, то сьогодні 75 % доводиться на архів і тільки 25 % – це замовлення нової зйомки. Замовник буде впевнений, що протягом знімального сезону потрібна йому зйомка з'явиться в архіві. Це дуже важливий і істотний момент, що відкриває зовсім нові можливості для споживача.

Щодо наземних засобів ДЗЗ, то сучасною тенденцією тут є поява онлайн-сервісів для перегляду змін земної поверхні в щомісячному режимі. Наприклад, такий сервіс, як Planet Explorer американської компанії Planet, дозволяє користувачам переглядати дані космічної зйомки в часі і побачити зміни на земній поверхні в усьому світі

В перспективі майбутнє ДЗЗ буде залежати від проривних технологій, інноваційних рішень, нових додатків та інтеграції технологій, таких як VR (віртуальна реальність), AR (доповнена реальність), AI (штучний інтелект), ML (машинне навчання), великі дані, хмарні обчислення й IoT (інтернет речей), які будуть мати вирішальне значення для сегмента ДЗЗ.

Матеріали статті дають уявлення, як разюче змінилися засоби дистанційного зондування Землі за останні двадцять років.

В статті використано методи інформаційних технологій та системного аналізу.

Ключові слова: *відеозйомка, віртуальна реальність, космічний апарат, машинне навчання, просторове розрізнення, радіолокаційна зйомка, угруповання супутників, хмарні обчислення, штучний інтелект.*

Целью статьи является анализ тенденций развития средств дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) за двадцать последних лет. Анализируются: космические аппараты (КА) для съемки земной поверхности в видимом диапазоне, космические системы для видеосъемки земной поверхности, космические системы для радиолокационной съемки земной поверхности, наземные средства приема и обработки данных ДЗЗ, развитие области ДЗЗ в будущем.

За последнее время развитие средств ДЗЗ, как космических, так и наземных, идет нарастающими темпами. Особенно это относится к космическим аппаратам с оптико-электронной аппаратурой (ОЭА) высокого и сверхвысокого разрешения. С момента запуска в 1999 г. первого КА высокого разрешения IKONOS-2, за двадцать последующих лет было запущено 213 КА с ОЭА высокого и сверхвысокого разрешения из 940 – общего количества запущенных спутников ДЗЗ.

В настоящее время основной тенденцией развития дистанционного зондирования Земли является создание группировок спутников. К группировкам спутников можно отнести аппараты, которые идентичны или близки по своим функциональным характеристикам, работают согласованно и имеют общее хранилище данных.

Для задач, не требующих оперативного получения данных ДЗЗ, некоторыми экспертами предполагается, что новая съемка из космоса не будет заказываться вообще. Основанием этого является то, что если еще вчера соотношение потребности в новой съемке и в архивных данных было 80 % на 20 %, то сегодня 75 % приходится на архив и только 25 % – это заказ новой съемки. Заказчик будет уверен, что в течение съемочного сезона необходимая съемка появится в архиве. Это очень важный и существенный момент, который открывает совершенно новые возможности для потребителя.

Что касается наземных средств ДЗЗ, то современной тенденцией здесь является появление онлайн-сервисов для просмотра изменений земной поверхности в ежемесячном режиме. Например, такой сервис,

как Planet Explorer американской компании Planet, позволяет пользователям просматривать данные космической съемки во времени и увидеть изменения на земной поверхности во всем мире.

В перспективе будущее ДЗЗ будет зависеть от прорывных технологий, инновационных решений, новых приложений и интеграции технологий, таких как VR (виртуальная реальность), AR (дополненная реальность), AI (искусственный интеллект), ML (машинное обучение), большие данные, облачные вычисления и IoT (интернет вещей), которые будут иметь решающее значение для сегмента ДЗЗ.

Материалы статьи дают представление о том, как разительно изменились средства дистанционного зондирования Земли за последние двадцать лет.

В статье использованы методы информационных технологий и системного анализа.

Ключевые слова: *видеосъемка, виртуальная реальность, космический аппарат, машинное обучение, пространственное разрешение, радиолокационная съемка, группировка спутников, облачные вычисления, искусственный интеллект.*

The aim of this paper is to analyze the trends in the development of Earth remote sensing (ERS) means over the past twenty years. The analysis involves spacecraft for Earth surface visible-spectrum imaging, space systems for Earth surface video and radar imaging, ground means for ERS data reception and processing, and the ERS development in the future.

In recent years, the development of both space and ground ERS means has been ever accelerating. This is particularly true for spacecraft with optoelectronic equipment (OEE) of high and superhigh resolution. Since the first high-resolution spacecraft, IKONOS-2, was launched in 1999, 213 spacecraft with high and superhigh resolution OEE have been launched, while a total of 940 ERS satellites have been launched since then.

At present, the main trend in the ERS development is the formation of satellite constellations. Satellite constellations consist of spacecraft that are identical or close in their functional characteristics, operate as a system, and have a common data warehouse.

In some experts' opinion, for tasks that do not require any prompt acquisition of ERS data, new satellite imaging will not be ordered at all. The reason is that while still quite recently the ratio of the demand for new imaging to that for archive data was 4/1, today this ratio is 1/3. The customer will be sure that during the imaging season the necessary data will appear in the archive. This is a very important and essential aspect, which opens up entirely new opportunities for the consumer.

For ground ERS means, the current trend is the advent of online services for seeing monthly changes in the Earth surface. For example, the Planet Explorer of Planet Labs Inc., USA, allows users to see satellite imagery over time and detect changes in the Earth surface throughout the world.

The future of ERS will depend on breakthrough technologies, innovative solutions, novel applications, and the integration of technologies, such as virtual reality, augmented reality, artificial intelligence, machine leaning, big data, cloud computing, and the Internet of things, which will be of decisive importance to the ERS segment.

The paper gives the reader an idea how strikingly the ERS means have changed over the past twenty years.

The paper uses methods of information technologies and system analysis.

Keywords: *video imaging, virtual reality, spacecraft, machine leaning, spatial resolution, radar imaging, satellite constellation, cloud computing, artificial intelligence.*

Вступ

В даній статті автори ставили собі за мету проаналізувати тенденції розвитку галузі дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), зосередившись на найбільш цікавій, з нашого погляду, для користувачів частини засобів ДЗЗ, які мають знімальну апаратуру з високим (від 1 до 10 м) і надвисоким (менше 1 м) просторовим розрізненням. До аналізу ввійшли космічні апарати (КА) для зйомки земної поверхні у видимому діапазоні, космічні системи для відеозйомки земної поверхні, космічні системи для радіолокаційної зйомки земної поверхні, наземні засоби прийому й обробки даних ДЗЗ, розвиток галузі ДЗЗ у майбутньому.

Розглядалися зміни, що відбулися в галузі ДЗЗ за двадцять останніх років. Ці зміни вражають якістю оптико-електронної та радіолокаційної знімальної апаратури і темпами розгортання угруповань супутників на орбіті. Вже не дивина, що ці угруповання налічують десятки і навіть сотні супутників.

Нові технології дозволяють одержувати інформацію від КА ДЗЗ в потрібний час і в потрібному місці незалежно від місця розташування клієнта.

Всі ці та інші аспекти змін в галузі ДЗЗ розглядаються в даній статті.

1 Космічні апарати для зйомки земної поверхні з високим і надвисоким просторовим розрізненням

Останнім часом розвиток засобів ДЗЗ, як космічних, так і наземних, йде наростаючими темпами. Особливо це відноситься до космічних апаратів з оптико-електронною апаратурою (ОЕА) з високим просторовим розрізненням (від 1 м до 10 м) і надвисоким просторовим розрізненням (менше 1 м).

З моменту запуску в 1999 р. першого КА з високим просторовим розрізненням IKONOS-2 за двадцять наступних років було запущено 213 КА високого й надвисокого просторового розрізнення із загальної кількості 940 запущених супутників ДЗЗ[1)].

На рис. 1 показано динаміку запусків КА ДЗЗ з апаратурою високого й надвисокого просторового розрізнення за 1999–2019 роки.

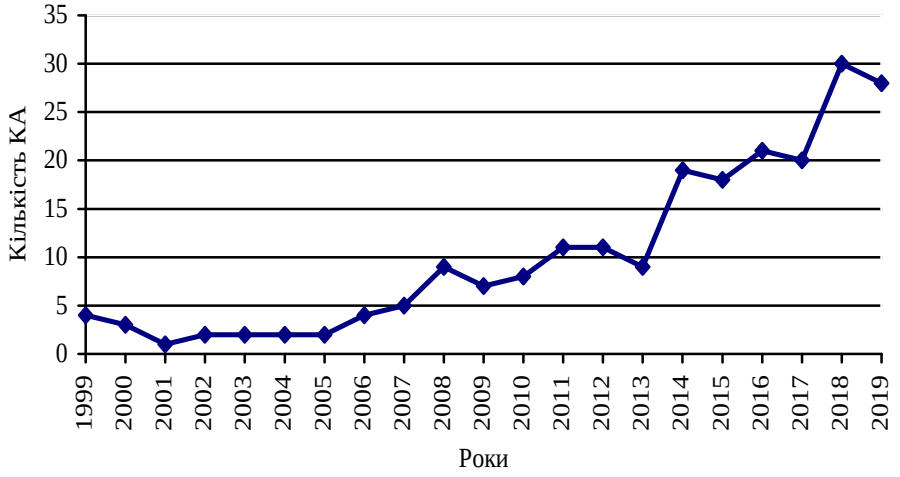

Рис. 1 – Динаміка запусків КА ДЗЗ з апаратурою високого і надвисокого просторового розрізнення

На рис. 1 не враховуються запуски військових супутників і наносупутників Flock компанії Planet.

З графіка на рис. 1 прослідкується явна тенденція щорічного нарощування кількості запусків КА ДЗЗ, що дає можливість підвищення зони покриття земної поверхні. При таких щорічних потоках запуску космічних апаратів деякі експерти [1] вважають, що протягом одного року буде проводитися повне багаторазове покриття надвисокого просторового розрізнення всієї земної поверхні.

З 940 КА, що були запущені за двадцять останніх років, більше половини (559 КА) мали масу 100 кг і менше.

Для завдань, які потребують оперативного отримання даних ДЗЗ, аналітики [1] прогнозують, що нова зйомка з космосу не буде замовлятися взагалі. Підставою для цього є те, що якщо ще вчора співвідношення потреби в новій зйомці і в архівних даних було 80 % на 20 %, то сьогодні 75 % припадає на архів і тільки 25 % – це замовлення нової зйомки. Замовник буде впевнений, що протягом знімального сезону потрібна зйомка з'явиться в архіві. Це дуже

[1] Використано інформацію з бази даних ІТМ НАНУ і ДКАУ "Інформаційно-аналітична система "Master–market".

важливий і суттєвий момент, який відкриває абсолютно нові можливості для споживача.

Нині основною тенденцією розвитку дистанційного зондування Землі є створення угруповань супутників. До угруповань супутників можна віднести апарати, які ідентичні або близькі за своїми інформаційними характеристиками, працюють узгоджено і мають загальне сховище даних.

Характеристики супутників, що входять до складу нинішніх угруповань високого й надвисокого просторового розрізнення, та тих, що плануються до розгортання до 2025 року, наведені в табл. 1.

Таблиця 1 – Угруповання КА високого й надвисокого просторового розрізнення

Найменування угруповання (КА)	Фірма	Країна	Рік	Розрізнення, м	Маса КА, кг	Кількість 2019 / 2025 рр.
Flock (Dove)	Planet	США	2014 – 2019	3,7 ОЕА	4,5	212 / 500
BlackSky-1	BlackSky Globe	США	2016 – 2019	0,9 – 1,1 ОЕА	44 – 50	1 / 60
Aleph-1 (NuSat)	Satellogic	Аргентина	2016 – 2018	1,0 ОЕА	37	7 / 25
Landmapper-HD	Astrodigital	США	2017 – 2018	2,5 ОЕА	20	2 / 28
Zhuhai-1 (OVS-1)	Zhuhai Orbita Control	Китай	2017 – 2018	1,98 ОЕА	50	2 / 6
SkySat	Planet	США	2013 – 2018	0,7 – 0,9 ОЕА	83/120	13 / 24
WorldView Legion	DigitalGlobe	США	план	0,35 – 0,5 ОЕА	500 – 700	0 / 6
AxelGlobe (GRUS)	AxelSpace	Японія	2018 – 2020	2,5 ОЕА	80	3 / 50
OptiSAR Optical	UrtheCast	Канада	план	0,25 – 0,50 ОЕА	340 – 670	0 / 16
SuperView	SuperView	Китай	2016 – 2018	0,5 ОЕА	500	4 / 16
SAR Lupe	OHB Technology	Німеччина	2006 – 2008	1,0 РСА	720	5
COSMO-SkyMed	e-GEOS	Італія	2007 – 2010	1,0 РСА	1900	4
Capella	Capella Space	США	2018	0,5 РСА	40	1 / 36
ICEYE X	ICEYE	Фінляндія	2018 – 2019	3,0 РСА	80/100	4 / 21
Примітки: РСА – радіолокатор з синтезованою апертурою.						

Лідерами за кількістю КА в угрупованні з ОЕА, а значить і за ступенем і частотою покриття земної поверхні, є компанії: Planet з супутниками Flock (225 діючих КА з 524 запланованих) і SkySat (13 діючих КА з 24 запланованих), а також NuSat (7 діючих із 25 запланованих), SuperView (4 діючих КА з 16 запланованих), GRUS (3 діючих КА з 50 запланованих), Astrodigital (2 діючих КА з 28 запланованих), BlackSky Globe (1 діючий КА з 60 запланованих).

Незначну нинішню кількість угруповань супутників з апаратурою РСА (всього 4) можна пояснити тим, що до 2015 року в США була заборона на такі комерційні супутники.

Нарощується кількість КА з РСА в угрупованнях. Це компанії Capella Space (1 діючий КА з 36 запланованих) і ICEYE (4 діючий КА з 21 запланованого).

2 Космічні системи для відеозйомки земної поверхні

Тенденцію розвитку відеозйомки з космосу можна проаналізувати за даними табл. 2, де наведені характеристики КА, що використовують апаратуру відеозйомки з високим просторовим розрізненням [2].

Таблиця 2 – Супутники ДЗЗ з відео апаратурою високого просторового розрізнення

Найменування КА (запущено / план)	Країна	Рік запуску	Маса, кг	Розрізнення, м	Поле зору, км^2	Тривалість зйомки
DLR-Tubsat	Німеччина	1994	45	6	4,5 х 3,5	Сеанс зв’язку
LAPAN-Tubsat	Індонезія	2007	56	6	4,5 х 3,5	Сеанс зв’язку
LAPAN-A2	Індонезія	2015	68	6	12 х 12	Сеанс зв’язку
SkySat-1, -2; C1–C11 (13/24)	США	2013 – 2017	80/120	1,1	2,0 х 1,1	90 с
Lingqiao Video-1-8 (8/12)	Китай	2015 – 2018	95	1,1	4,3 х 2,4	120 с
Kent Ridge-1	Сінгапур	2015	78	6	5,75 х 4,75	–
Carbonite-1, 2 (2/5)	Великобританія	2015 – 2018	91	1,5 1,0	5,0х5,0	120 с
Iris	Канада	2014	–	1	3,8 х 2,2	60 с
NuSat (7/25)	Аргентина	2016 – 2020	37	1	–	–

Спостерігається тенденція створення великих угруповань КА відеозйомки земної поверхні. Так Аргентина планомірно нарощує угруповання супутників NuSat і планує довести їх кількість до 25 КА. Компанія Planet в 2017 році створила угруповання SkySat із 13 КА та зараз має можливість повторної зйомки одних і тих же районів Землі до трьох разів на день. Всього планується створити угруповання з 24 супутників SkySat.

3 Космічні системи для радіолокаційної зйомки земної поверхні

У зв’язку із прогресом в радарних технологіях різними експертами стверджується тенденція збільшення числа супутників для всепогодної зйомки бортовими радарами із синтезованою апертурою із середнім (10 м – 250 м), високим (від 1 м до 10 м) і надвисоким (менше 1 м) просторовим розрізненням.

У табл. 3 наведено характеристики КА ДЗЗ з РСА середнього, високого і надвисокого просторового розрізнення, виведених на орбіту за 1995 – 2019 роки без урахування військових КА.

На рис. 2 за даними табл. 3 наведено динаміку запусків супутників з радіолокаторами із синтезованою апертурою за шістнадцять років (2003 – 2019 рр.).

Таблиця 3 – Характеристики КА ДЗЗ із РСА

№ п/п	Найменування КА	Країна	Дата запуску	Поляри-зація*)	Маса, кг	Розрізнення, м
1	IGS 1B, IGS R-2a	Японія	2003		1200	3
2	SAR Lupe 1	Німеччина	2006	4	720	1; 60
3	Yaogan 1	Китай	2006		2700	5; 7
4	COSMO-SkyMed 1, 2	Італія	2007	3	1900	0,8-6; 20; 40
5	IGS 4B	Японія	2007		1200	3
6	Radarsat 2	Канада	2007	4	2200	1-9; 80; 160
7	SAR Lupe 2, 3	Німеччина	2007		770	0,5;1,0
8	Terra SAR-X	Німеччина	2007	2	1230	1; 2; 3; 18
9	Yaogan 3	Китай	2007		2700	5; 7
10	COSMO-SkyMed 3	Італія	2008	3	1700	1; 100
11	SAR Lupe 4, 5	Німеччина	2008		770	1;60
12	TECSAR 1	Ізраїль	2008	4	300	1; 3-8
13	RISAT 2	Індія	2009	4	300	1; 3-8
14	COSMO-SkyMed 4	Італія	2010	3	1700	1; 100
15	TanDEM-X	Німеччина	2010	4	1340	1; 3; 16
16	Yaogan 10	Китай	2010		2700	5; 7
17	Yaogan 13	Китай	2011		2700	5; 7
18	Huan Jing 1C	Китай	2012		890	5
19	RISAT 1	Індія	2012	4	1858	1; 3-6; 9-12; 25
20	IGS 8B	Японія	2013		1000	1
21	Yaogan 18	Китай	2013		1040	1,5
22	Kompsat 5	П. Корея	2013	4	1400	1; 3; 20
23	ALOS 2	Японія	2014	4	2120	3; 6; 10; 100
24	Sentinel 1A	ESA	2014	3	2280	5; 20; 40
25	Yaogan 23	Китай	2014		2700	5, 7
26	Кондор-Э	Росія	2014	2	1140	1-2; 1-3; 5-30
27	IGS-Radar Spare	Японія	2015		1000	1
28	Yaogan 29	Китай	2015		1040	1,5
29	Sentinel 1B	ESA	2016		2280	5; 20;40
30	Gaofen-3	Китай	2016	4	2700	1-500
31	IGS-Radar 5	Японія	2017		1000	1
32	ASNARO 2	Японія	2018	2	495	1
33	Capella 1	США	2018	1	40	0,5
34	ICEYE X1	Фінляндія	2018	1	70	3, 10
35	ICEYE X2	Фінляндія	2018	1	80	3, 10
36	SAOCOM 1B	Аргентина	2018	4	1600	7-100
37	NovaSAR-S	Великобри-танія	2018	3	430	6-30
38	Paz (SEOSAR)	Іспанія	2018	4	1350	<1; 2; 3: 6; 16
39	RISAT 2B	Індія	2019	4	615	1, 2, 3,8
40	Radarsat Constellation 3 шт	Канада	2019	4	1450	3, 5,16, 30, 50
41	ICEYE X4	Фінляндія	2019		100	1
42	ICEYE X5	Фінляндія	2019		100	1
43	Gaofen 10R	Китай	2019		2700	<1
44	CSG – 1	Італія	2019		2200	0,8; 1; 3; 20
Примітка. *) - Кількість комбінацій горизонтальної (H) та вертикальної (V) поляризації вихідного сигналу РСА						

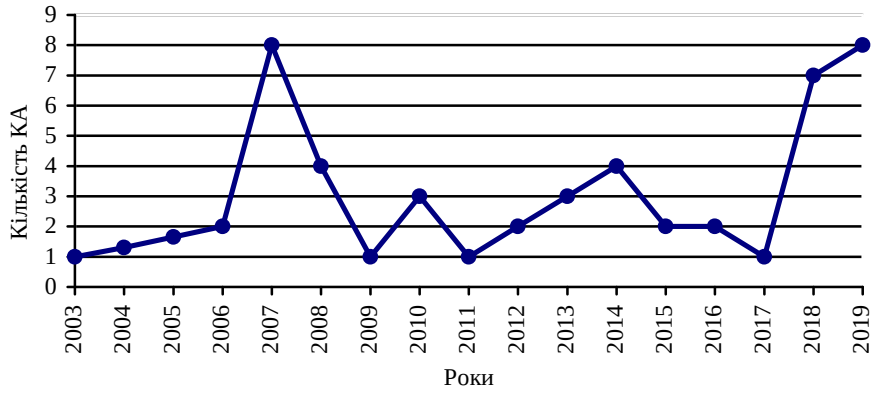

Рис. 2 – Динаміка запусків супутників з радіолокаторами із синтезованою апертурою

З рис. 2 видно, що за останні два роки прослідкується ріст кількості супутників із РСА апаратурою. Стрибок кількості КА в 2007 році пояснюється запуском по 2 КА з угруповань супутників COSMO-SkyMed і SAR Lupe.

З табл. 3 видно, що з часом відбувалося поступове збільшення просторового розрізнення РСА: від 8 м в 1995 р. на КА Radarsat 1 до 0,5 м вже в 2007 р. на КА SAR Lupe. Створюються великі угруповання КА з високим просторовим розрізненням РСА: Capella – 36 КА і ICEYE X 21 КА. Застосовуються до 4 режимів роботи РСА з різним просторовим розрізненням: КА Radarsat 2, Terra SAR-X, RISAT 1, ALOS 2, Radarsat Constellation.

Із 44 радіолокаційних супутників, що були запущені за останні 24 роки (1995 – 2019), 25 КА (більше половини) мають РСА з просторовим розрізненням 1 м і менше. А за останні п’ять років із 18 КА запущено 11 таких супутників. Тобто запити споживачів все більше схиляються до інформації із РСА високого і надвисокого просторового розрізнення.

З 2007 року простежується тенденція розробки КА з універсальними РСА із середнім, високим і надвисоким просторовим розрізненням. Це такі космічні апарати, як SAR Lupe, COSMO-SkyMed, Radarsat 2, Terra SAR X, TanDEM-X, Kompsat 5, Кондор-Э, CSG-1, Paz.

За даними розділу 3 простежуються наступні тенденції розвитку радіолокаційних засобів ДЗЗ за шістнадцять останніх років:

– послідовне збільшення кількості супутників, особливо за останні два роки;

– перевага супутників із просторовим розрізненням РСА 1 м і менше;

– підвищення максимального просторового розрізнення РСА аж до 0,5 м;

– створення великих угруповань (з декількох десятків КА) з високим просторовим розрізненням РСА;

– збільшення числа режимів зйомки (від 1 до 4) з різним розрізненням;

– розширення поляризаційних можливостей і, особливо, одночасна зйомка з чотирма поляризаціями вихідного сигналу, наземна обробка якого дозволяє одержувати цифрові моделі рельєфу місцевості.

4 Наземні засоби прийому та обробки даних ДЗЗ

Що стосується наземних засобів ДЗЗ, то сучасною тенденцією тут є поява онлайн-сервісів для перегляду змін земної поверхні в щомісячному режимі.

Наприклад, такий сервіс, як Planet Explorer, з 15.03.2017 надає американська компанія Planet. Цей сервіс дозволяє користувачам переглядати дані космічної зйомки в часі і побачити зміни на земній поверхні в усьому світі [3]. Компанія Planet є оператором найбільшого угруповання супутників дистанційного зондування Землі. Вона включає в себе нині понад двісті наносупутників Flock (багатоспектральна зйомка (БС) – 3,7 м, 4 канали в смузі 24 км). Крім того, компанії належить угруповання з п'яти супутників RapidEye (з розрізненням БС – 6,5 м, 5 каналів в смузі 77 км) і угруповання з 13 супутників SkySat (з розрізненням панхроматичної зйомки (ПХ) 0,9 м, БС 2 м в 4 каналах, відео БС 1,1 м в сеансі 80 с). За допомогою своїх супутників Planet веде зйомку всієї поверхні Землі щодня.

Для оперативної доставки інформації в потрібний час і в потрібне місце (незалежно від місця розташування клієнта) постачальники – такі як DigitalGlobe – застосовують веб-сервіси і хмарні обчислення. Ці нові структури на порядок знижують загальні витрати користувачів. Зараз, замість того, щоб вкладати гроші в інформаційний центр, можна просто скористатися веб-сервісом в рамках хмарної інфраструктури та отримати зображення за лічені секунди. За рахунок хмарних обчислень обробка зображення здійснюється в режимі реального часу в точній відповідності до вимог кожного замовника. Індивідуальна обробка, включаючи форматування, монтаж, проектування, поділ на шари, виконується в лічені секунди [4].

З'являються нові стартапи з метою зробити планетарні або геопросторові дані легкими для пошуку, аналізу та використання. Наприклад, дочірня компанія Airbus, UP42, що базується в Берліні [5]. UP 42 – це платформа для доступу і аналізу частин планети в масштабі. Вона об'єднує кілька джерел геопросторових даних, а також алгоритми обробки, що дозволяє користувачеві знаходити планетарну інформацію, яка йому потрібна.

У зв'язку з тим, що в космосі знаходиться так багато супутників, виникає зростаюча потреба в якнайшвидшому поверненні всіх цих даних на Землю для обробки. Наземні станції AWS компанії Amazon в цьому плані справді змінюють ситуацію: технологічний гігант має намір надавати наземну станцію в якості послуги через мережу із 12 супутникових станцій у всьому світі. Компанії Capella, Spire, Maxar, Myriota і Thales Alenia Space є одними з основних клієнтів і партнерів, що користуються послугами наземної станції AWS. Ідея Amazon полягає в тому, щоб інвестувати у велику кількість дорогих інфраструктур, а потім брати плату у стартапів тільки за те, що вони використовують. Це спрощує і робить доступним ведення бізнесу в космосі [6].

5 Розвиток галузі ДЗЗ в майбутньому

Аналітики вважають, що в перспективі майбутнє ДЗЗ буде залежати від проривних технологій, інноваційних рішень, нових додатків і інтеграції технологій, таких як VR (віртуальна реальність), AR (доповнена реальність), AI (штучний інтелект), ML (машинне навчання), великі дані, хмарні обчислення і IoT (Інтернет речей), які матимуть вирішальне значення для сегмента ДЗЗ [1].

Сьогодні майбутнє галузі ДЗЗ залежить не тільки від надання даних, але також від надання аналітики на основі цих даних.

У звіті GeoBuiz-18 [7] говориться, що сегмент, який в основному включає ринок аналітики знімків / карт, як очікується, досягне 42,3 млрд. дол. США в 2020 р. Стійке зростання даних ДЗЗ і аналітичних рішень дозволяє використовувати аналізовані супутникові знімки для прийняття обґрунтованих рішень у всіх секторах економіки. Завдяки тому, що супутники надають все більші обсяги даних, прогрес в обробці даних на борту прискорить їх передачу в режимі реального часу, надаючи користувачам можливість приймати більш розумні і швидкі рішення. Запуск нових технологій в аналітиці даних ДЗЗ і додатках з підтримкою веб і хмар, як очікується, будуть визначати майбутнє сегмента ДЗЗ.

У світі користь і можливості застосування геоінформаційних технологій та аерокосмічного моніторингу почали усвідомлюватися новими, нетрадиційними для сфери ДЗЗ замовниками і сферами, де раніше подібні рішення не використовувалися, наприклад, це банки, страхові компанії, рітейл[2)], FMCG[3)] та ін.

Деякі аналітики [1] вважають, що девізом області ДЗЗ на найближче десятиліття має бути: "Клієнту – сервіси та аналітика замість знімків!" Створенням геосервісів дуже активно займаються такі гіганти, як Google і Apple.

Швидкий розвиток аналітики на основі штучного інтелекту також призводить до того, що обробка даних з використанням методів машинного навчання може відбуватися на борту. Польська фірма KP Labs [6] будує унікальний супутник, який зможе аналізувати і узагальнювати зібрані ним дані. Супутник, названий Intuition-1, буде оснащений нейронною мережею на основі штучного інтелекту, змодельованого на людському мозку. Гіперспектральний томограф Intuition зробить знімки шириною смуги 15 км з просторовим розрізненням 25 м. Однак замість того, щоб передавати зображення на Землю, бортова нейронна мережа буде зшивати зображення, використовуючи потужні графічні чіпи, захищені від випромінювання.

Висновок

Основні тенденції розвитку засобів ДЗЗ:

- постійне щорічне зростання кількості супутників ДЗЗ, що запускаються в космос;

– створення засобів ДЗЗ переважно високого просторового розрізнення (від 1 до 10 м) і надвисокого просторового розрізнення (менше 1 м);

– підвищення максимального просторового розрізнення оптико-електронної і радіолокаційної апаратури аж до 0,25 м;

– створення великих угруповань КА як з оптико-електронною, так і з радіолокаційною апаратурою;

– створення великих угруповань КА відеозйомки земної поверхні;

– збільшення числа режимів зйомки РСА (від 1 до 4) з різним просторовим розрізненням;

– збільшення числа поляризаційних режимів зйомки РСА (від 1 до 4);

– поступова переорієнтація вихідної продукції ДЗЗ до надання не тільки даних ДЗЗ, але також і аналітики на основі цих даних;

[2)] Рітейлер – компанія, яка займається роздрібною торгівлею – магазини, супермаркети, гіпермаркети, вулична торгівля, ринки та інші.

[3)] FMCG сегмент – товари, які мають короткий життєвий цикл, тобто товари швидкого використання (ширвжиток).

– спостерігається інтенсивний розвиток методів геопросторового моніторингу, бізнес-аналітики, машинного навчання, нейронних мереж, хмарної архітектури та автоматичної обробки великих масивів даних ДЗЗ, з'являються стартапи в області геопросторового моніторингу на основі космічної інформації;

– в перспективі майбутнє ДЗЗ буде залежати від проривних технологій, інноваційних рішень, нових додатків і інтеграції технологій, таких як VR (віртуальна реальність), AR (доповнена реальність), AI (штучний інтелект), ML (машинне навчання), великі дані, хмарні обчислення і IoT (інтернет речей), які матимуть вирішальне значення для сегмента ДЗЗ.

1. *Дворкин Б. А., Натарова Е. В.* Космический мониторинг Земли: вчера, сегодня, завтра. URL: http://geomatica.ru/clauses/kosmicheskie-sistemy-dzz/kosmicheskij-monitoring-zemli- vchera-segodnya-zavtra. (дата звернення: 20.01.2020).
2. *Бакланов А. И.* Новые горизонты космических систем оптико-электронного наблюдения Земли высокого разрешения (часть II). URL: russianspacesystems.ru › wp-content › uploads › 2019/01 (дата звернення: 5.02.2020).
3. Новый онлайн-сервис для просмотра изменений земной поверхности в ежемесячном режиме от компании Planet. URL: https://sovzond.ru› (дата звернення: 9.02.2020)
4. *Роде Б.* Облачные вычисления в сервисах компании DigitalGlobe. URL: http://geomatica.ru/clauses/70/ (дата звернення: 12.02.2020).
5. Новая планетарная перспектива. URL: https://translate.google.com.ua/translate?hl=ru&sl=en&u=https://medium.com/ up42/a-new-planetary-perspective-e6b076e3238f&prev=search (дата звернення: 11.03.2020).
6. Новая космическая экосистема, движущая вперед индустрию наблюдения за Землей. URL: http://geomatica.ru/clauses/novaya-kosmicheskaya-ekosistema-dvizhushhaya-vpered-industriyu-nablyudeniya-za-zemlej (дата звернення: 12.03.2020).
7. Отчет GeoBuiz за 2018 год: прогноз отрасли и индекс геопространственной индустрии. URL: https://geobuiz.com/geobuiz-2018-report.html&prev=search (дата звернення: 15.03.2020).

Отримано 01.06.2020,
в остаточному варіанті 25.06.2020