

УДК 528.88 (914/919):629.783

В. В. Омельчук

к. т. н.

Центр космічних інформаційних технологій

І. В. Рассохіна

Центр космічних інформаційних технологій

М. П. Фомін

к. т. н.

Житомирський національний агроекологічний університет

АНАЛІЗ РИНКУ МАТЕРІАЛІВ КОСМІЧНОГО РАДІОЛОКАЦІЙНОГО ЗНІМАННЯ

Проаналізований склад угруповання діючих комерційних космічних апаратів радіолокаційного знімання поверхні Землі та споживчі характеристики інформації, що надається. Описані можливі способи отримання матеріалів космічного радіолокаційного знімання для інформаційного забезпечення вирішення наукових, народногосподарських і оборонних завдань споживачами, які не мають власних космічних апаратів видового спостереження. Вибрані світові компанії, які здійснюють продаж матеріалів космічного радіолокаційного знімання, та описані їх ціни на вказані матеріали. Проаналізований світовий ринок матеріалів космічного радіолокаційного знімання італійських, канадських, німецьких та японських космічних апаратів

радіолокаційного знімання. Описані можливості отримання матеріалів космічного радіолокаційного знімання Європейського космічного агентства.

Ключові слова: космічний апарат, космічне радіолокаційне знімання, інформаційні характеристики, ринок матеріалів космічного знімання.

Постановка проблеми

Розвиток радіолокаційної науки й техніки та інформаційних технологій створив технологічне підґрунтя для впровадження у бортові інформаційні комплекси космічних апаратів видового спостереження радіолокаторів із синтезованою апертурою антени (англ. SAR – synthetic aperture radar – синтезована апертура радара), які при використанні надширокосмугових зондувальних сигналів, забезпечили субметрове просторове розрізнення радіолокаційних зображень. Використання поляриметричних й інтерферометричних (знімання з двох різних кутів або у різний час та подальше сумісне когерентне оброблення обох прийнятих радіолокаційних сигналів) технологій наблизили інформативність радіолокаційного знімання до оптико-електронного. Це стало в останнє десятиліття причиною більш інтенсивного нарощування чисельності угруповання діючих космічних апаратів (КА) видового радіолокаційного спостереження. Радіолокаційне спостереження реалізує активний метод дистанційного зондування Землі (ДЗЗ), при якому зондувальний сигнал опромінює вузьким променем поверхню спостереження, а відбиті сигнали приймаються й обробляються бортовим радіолокатором КА [1, 2].

Сучасні радіолокаційні зображення земної поверхні високого просторового розрізнення використовуються для інформаційного забезпечення вирішення широкого кола оборонних, наукових і народногосподарських завдань: воєнна розвідка, картографічне забезпечення, кліматичні дослідження, дослідження природних ресурсів, геологічна розвідка й геологічне картування, моніторинг катастроф і екологічних забруднень, оцінка біоресурсів, створення топографічних карт, забезпечення судноводіння у північних широтах, контроль змін земної поверхні тощо [1].

Радіолокаційному космічному зніманню притаманні усі переваги (об'єктивність, глобальність і можливість отримання інформації про важкодоступні райони Землі, екстериторіальність, велика оглядовість, висока ступінь узагальнення просторової інформації та висока живучість орбітальних засобів) й недоліки (відносно велика відстань між апаратурою спостереження й об'єктом спостереження (сотні кілометрів й більше), жорстка просторово-часова програма польоту космічних апаратів ДЗЗ, що обмежує їх маневреність та тривалість контакту з об'єктом спостереження) супутникових методів ДЗЗ. Порівняно із оптико-електронним радіолокаційним космічним зніманням вигідно відрізняється: незалежністю від метеумов й прозорості атмосфери у районі радіолокаційного знімання; незалежністю від умов освітленості поверхні Землі, тобто можливістю здійснення радіолокаційного знімання у будь-який час доби й

пори року; підвищеною точністю вимірювань геометричних характеристик об'єктів поверхні Землі, виявлення незначних зсувів поверхні інтерферометричними технологіями радіолокаційного знімання; можливістю створення тримірних зображень об'єктів поверхні Землі та побудови точних цифрових моделей місцевості; можливістю отримання інформації взаємодії радіохвиль різної частоти або горизонтальної й вертикальної поляризації із об'єктами спостереження на поверхні Землі; можливістю спостереження замаскованих об'єктів, що закриті снігом, рослинним покривом або шаром ґрунту тощо, а також за поверхневими проявленнями глибинних процесів у водному середовищі; можливістю контролю забруднення суходолу й водою нафтопродуктами; контроль льодової обстановки у приполярних районах судноплавства тощо [1, 2]. Держави, установи й організації, які не мають власних космічних апаратів ДЗЗ можуть користуватися матеріалами радіолокаційного космічного знімання на комерційних засадах, що визначає актуальність проблеми аналізу їх ринку.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Питання аналізу ринку матеріалів космічного знімання (МКЗ) досліджувалось у ряді наукових робіт. Так, у монографії відомих українських вчених [3], яка присвячена методам й моделям багатоспектрального ДЗЗ із космосу, аналізуються ціни та їх складові на МКЗ станом на 2005 рік, причому основний акцент зроблено на оптико-електронні МКЗ. Автори статті [4] проаналізували загальні тенденції розвитку ринку дистанційного зондування Землі, а основний акцент спрямований на аналіз розвитку світового ринку засобів ДЗЗ. У праці [5] аналізуються загальні фінансові показники світового ринку ДЗЗ та вплив відкритості даних ДЗЗ на розвиток прикладної геоінформатики. Стаття [6] присвячена аналізу ринку, в основному, оптико-електронних матеріалів космічного знімання. Суттєве послаблення обмежень на розповсюдження матеріалів космічного знімання у розвинених державах із ринковою економікою та інтенсивні технологічні досягнення сприяли в останнє десятиліття бурхливому розвитку ринку матеріалів космічного радіолокаційного знімання. Зазначене вимагає більш прискіпливого аналізу ринку матеріалів космічного радіолокаційного знімання з урахуванням існуючих реалій. Тому метою досліджень є вирішення вказаного завдання.

Мета, завдання та методика досліджень

Об'єктом досліджень є матеріали радіолокаційного космічного знімання поверхні Землі, які необхідні для задоволення потреб інформаційного забезпечення вирішення наукових, бізнесових, народногосподарських й оборонних задач.

Предметом досліджень є ринок матеріалів радіолокаційного космічного знімання та ціни на них у світових операторів комерційних космічних апаратів радіолокаційного ДЗЗ.

Методи досліджень – аналіз, систематизація й узагальнення та експертні оцінки вартості матеріалів радіолокаційного космічного знімання поверхні Землі в операторів комерційних космічних апаратів радіолокаційного ДЗЗ.

Результати досліджень

Детальний аналіз інформації сайтів agentura.ru, www.sovzond.com, www.neogeography.ru, spacea.ru, www.sinodefence.com, www.ucsusa.org, space.skyrocket.de, flowingdata.com та kosmo.cz дає підстави стверджувати, що станом на середину 2015 року у навколосезному просторі функціонувало 56 космічних апаратів видової космічної розвідки (із них 24 КА радіолокаційні) й 96 КА ДЗЗ (із них 12 КА радіолокаційні). У 2001 році в навколосезному просторі діяло у чотири рази менше космічних апаратів ДЗЗ [7]. Результати аналізу вказаних джерел інформації свідчать про випереджаючі темпи росту чисельності угруповання радіолокаційних КА військового призначення, як і завжди при появі нової техніки.

Ретроспективний аналіз розвитку техніки й технологій радіолокаційного космічного знімання дає підстави для таких висновків: просторове розрізнення матеріалів радіолокаційного космічного знімання невпинно покращується й у детальному режимі досягло субметрового значення; вказане зумовило зростаючий інтерес видової розвідки до радіолокаційних МКЗ, що спонукало регулярне збільшення кількості запусків КА радіолокаційної розвідки; кількість запусків КА радіолокаційної розвідки значно перевищує кількість запусків КА радіолокаційного ДЗЗ; просторове розрізнення діючих радіолокаційних космічних апаратів ДЗЗ наближається до аналогічних характеристик діючих військових КА. Якісний стрибок у практичній реалізації метрового й субметрового просторового розрізнення космічних радіолокаторів із синтезованою апертурою антени досягнутий на початку ХХІ століття. В інтересах видової розвідки все частіше використовуються на комерційних засадах матеріали радіолокаційного космічного знімання цивільних (невійськових) КА, що зумовило тенденцію зменшення частки розвідувальних апаратів у загальній чисельності КА видового спостереження. Угруповання діючих КА із метровим просторовим розрізненням поповнилося найбільше (на 9 КА) в 2007 році. До лідерів, крім США, долучилися Китай, Японія, Німеччина, Ізраїль, Індія, Італія та Південна Корея [7].

Сучасні космічні апарати радіолокаційного спостереження зазвичай мають на борту радіолокатор із синтезованою апертурою антени, який може знімати у різних режимах: детальний або прожекторний з високим просторовим розрізненням; маршрутне знімання смуги поверхні вздовж траси польоту КА із

середнім просторовим розрізненням; оглядове широкосмугове знімання із низьким просторовим розрізненням. Найдетальніші інформаційні характеристики діючих станом на середину 2015 року комерційних КА із апаратурою радіолокаційного знімання наведені у табл. 1 [1-3, 8, 9]. Найкраща просторова детальність матеріалів радіолокаційного космічного знімання від 1,0 м й більше. Об'єм інформації зображення окремої сцени (кадру) високого просторового розрізнення становить від одиниць до сотень мегабайт, а об'єм інформації зображення 1 км² поверхні Землі становить від часток до одиниць мегабайт. Значна частина матеріалів космічного знімання може бути отримана на двох, а то й чотирьох, поляризаціях. Для більшості наведених у табл. 1 даних щодо радіометричного розрізнення радіолокаційних зображень не виявлено, тому при розрахунках об'єму інформації радіометричне розрізнення кожного пікселя радіолокаційних зображень вважалось таким, що дорівнює 1 байт.

Таблиця 1. Характеристики космічних апаратів радіолокаційного ДЗЗ діючих станом на кінець 2015 року

Назва КА (системи)	Державна належність /рік запуску	Діапазон хвиль, см	Розмір сцени, км×км	Найкраще розрізнення, м	Об'єм інформації сцени/1 км ² поверхні, МБ × поляризація	Передача даних, Мбіт/с
SENTINEL-1A	ЄКА / 2014	6,0*	80×80	5×5	256,0 / 0,04 ×2п	520*
RISAT-1	Індія / 2012	5,6	10×10	2,0	25,0 / 0,25 ×1п	160×4
Cosmo-SkyMed-1, -2, -3, -4 (подвійне признач)	Італія / 2007, 2008, 2010	3,1	10×10	1,0	100,0 / 1,0 ×1п	310
HUAN JING-1C	КНР / 2012	9,4	40×40	5,0	64,0 / 0,04 ×1п	105×2*
Radarsat-2	Канада / 2007	5,6	20×20	3,0	89,2 / 0,22 ×4п	105×2
KOMPSAT-5	Пд.Кор./ 2013	3,2	5×5	1,0	25,0 / 1,0 ×4п	310
ALOS-2	Японія / 2014	23,6	25×25	1,0×3,0	208,3 / 0,33×1п	120/240
TerraSAR-X	ФРН / 2007	3,1	5×10	1,0	50,0 / 1,0×1п	300
TANDEM-X	ФРН / 2010	3,1	5×10	1,0	50,0 / 1,0×1п	300*

Примітка: (*) – експертні (приблизні) оцінки значення характеристики.

Добування матеріалів космічного знімання поверхні Землі в операторів комерційних космічних апаратів ДЗЗ на комерційних засадах може здійснюватися такими способами [10]:

– замовлення необхідних іконічних даних ДЗЗ із потрібним рівнем оброблення в оператора комерційного космічного апарата ДЗЗ або у його дистриб'юторів;

– придбання й встановлення власної наземної станції приймання інформації, купівля в оператора космічного апарата, ліцензії на їх приймання, замовлення знімання й ліцензійне приймання видових даних безпосередньо із борту

космічного апарата ДЗЗ (однак оператори найбільш інформативних сучасних космічних апаратів ДЗЗ (WorldView-1, -2, GeoEye-1, RapidEye, TerraSAR-X, TanDEM-X тощо) не передбачають можливість використання наземної станції приймання замовника МКЗ);

– використання замовником технології “віртуальної станції приймання”, яка передбачає: встановлення замовнику на комерційних засадах спеціального програмного забезпечення, що дає можливість замовляти космічне знімання через глобальну телекомунікаційну мережу, тобто надання замовнику інформаційного ресурсу космічного апарата ДЗЗ; приймання даних ДЗЗ будь-якою наземною станцією оператора, яка знаходиться у зоні радіовидимості КА ДЗЗ; передавання прийнятих даних ДЗЗ замовнику через глобальну телекомунікаційну мережу у режимі он-лайн.

Продаж матеріалів радіолокаційного знімання із космосу здійснюють компанії-оператори комерційних апаратів ДЗЗ та компанії-дистриб'ютори. Вартість матеріалів радіолокаційної космічної зйомки одиниці площі поверхні Землі високого просторового розрізнення значно більша ніж вартість аналогічних МКЗ оптико-електронної зйомки. Ціна радіолокаційних МКЗ у компанії-дистриб'ютора або оператора космічного апарата суттєво залежить від їх детальності та просторових характеристик. Ціна архівних радіолокаційних МКЗ у 1,5-2 рази нижче оперативних, тобто МКЗ замовленої космічної зйомки. До категорії архівних зазвичай відносяться матеріали космічного радіолокаційного знімання, які, залежно від типу космічного апарата й режиму огляду, добути більше 30 діб тому, а у деяких випадках й суттєво більшої давності.

Українські компанії, які розповсюджують матеріали космічного знімання, відносяться до числа компаній-дистриб'юторів. Частина цих компаній є офіційними дистриб'юторами провідних компаній-операторів супутників ДЗЗ DigitalGlobe, GeoEye, SpotImage, MDA, RESTEC, Infoterra тощо. Назва й реквізити найбільш відомих компаній-дистриб'юторів України, які здійснюють продаж матеріалів космічного знімання, наведені у табл. 2. Українські компанії-дистриб'ютори (Державний науково-виробничий центр (ДНВЦ) “Природа”, “ЕКОММ со”, “ТВІС”, СЕС тощо) зазвичай не публікують прайс-листи матеріалів космічного знімання на своїх офіційних сайтах, а, як правило, конфіденційно домовляються із потенційними покупцями про ціну [11].

Таблиця 2. Компанії-дистриб'ютори України, які розповсюджують матеріали космічного знімання

Назва компанії 1	Реквізити компанії 2
Державний науково-виробничий центр (ДНВЦ) “Природа”	Україна, 03680, м. Київ, пр-кт Глушкова 40, корпус 4/1. тел.: +38(044)5265217 факс: +38(044)5225894 e-mail: grekov@pryroda.gov.ua http://www.pryroda.gov.ua
Закрите акціонерне товариство “ЕКОММ со”	Україна, 03115, м. Київ, вул. Анатолія Петрицького 4. тел./факс: +380 44 502 41 21 e-mail: info@ecomm.kiev.ua/ http://www.ecomm.kiev.ua/

Закінчення таблиці 2

1	2
Товариство з обмеженою відповідальністю (ТОВ) "ТВІС"	Україна, 04209, м. Київ, вул. Богатирська 9, оф. 322 тел./факс: +380 44 225 28 61 e-mail: info@tvis.com.ua/ http://www.tvis.com.ua/
ТОВ "Картографічні Електронні Системи" (CES)	Україна, 03028, м. Київ, вул. Куренівська, 26 тел.: +380 44 259 81 27 факс: +380 44 258 38 41 http://www.ukrgis.com.ua/
Компанія "Pixel Solutions"	Україна, 02121, м. Київ, вул. Вербицького 16, офіс 1. тел. +38(044) 228 90 93 e-mail: info@pixelsolutions.com.ua http://www.pixelsolutions.com.ua/

Міжнародний продаж МКЗ космічних апаратів радіолокаційного спостереження COSMO-SkyMed-1, ...-2, ...-3, ...-4 й RadarSat-1, ...-2 та оптико-електронного ДЗЗ Ikonos, QuickBird, GeoEye-1, WorldView-1, ...-2, ...-3, IRS-P5, IRS-P6, IRS-1C/D здійснює італійська компанія e-GEOS (співвласники: компанія ASI – 20% і компанія TELESPAIZO – 80%) [12].

Угрупування малих італійських космічних апаратів ДЗЗ Cosmo-SkyMed-1, ...-2, ...-3, ...-4 подвійного призначення із радіолокатором SAR-2000 забезпечує радіолокаційне знімання поверхні Землі у різних режимах із періодичністю 16 діб. Вартість замовлення стандартної сцени радіолокаційного знімання (продукту) КА Cosmo-SkyMed станом на 1-е квітня 2015 року наведена у табл. 3 [12].

Замовлення радіолокаційного космічного знімання в італійській компанії e-GEOS здійснюється двічі на добу у 12-годинному вікні із 6:21 по 17:30 UTC та із 18:21 по 7:30 UTC середньоевропейського часу. Замовлення приймається за попередньої оплати й може бути скасовано не пізніше ніж за дві години до закінчення вікна замовлення. Якщо потрібна термінова зйомка (до початку зйомки залишається менше доби) то вартість замовлення стандартної сцени збільшується на 75%.

Продукт радіолокаційного знімання КА Cosmo-SkyMed-1, ...-2, ...-3, ...-4 замовленого рівня оброблення зазвичай надається протягом 24 годин з моменту зйомки або затвердження замовлення на архівні дані. Якщо потрібно термінова поставка матеріалів космічного знімання, то за терміновість (до 6 годин з моменту зйомки) надається додаткова платня 800 € за сцену. За матеріали радіолокаційного знімання із двох носіїв додаткова платня становить 35 € за сцену. За кожен додатковий формат продукту або рівень оброблення замовленої сцени (вказаний під час подання замовлення) додаткова платня становить 250 €

Таблиця 3. Вартість стандартних продуктів КА Cosmo-SkyMed

Режим зйомки	Розмір стандартної сцени, км	Розрізненість, м	Щойно отримані дані, Євро	Архівні дані (*), Євро €
1	2	3	4	5
SpotLight-1 – прожекторний	10 × 10	1 × 1	9 450	4 725
SpotLight-2 – прожекторний	7 × 7	1 × 1	6 150	3 075
StripMap Himage – маршрутний високоякісний	40 × 40	5 × 5 (багатокадровий)	3 600	1 800

Закінчення таблиці 3

1	2	3	4	5
StripMap PingPong – маршрутний стрибковий	30 × 30	20 × 20 (багатокадровий)	1 920	960
ScanSAR Wide – оглядовий широкозахватний середній	100 × 100	30 × 30 (багатокадровий)	1 650	825
ScanSAR Huge – оглядовий надвеликий	200 × 200	100 × 100 (багатокадровий)		

Примітка: (*) – до категорії “архівні” належать радіолокаційні дані КА Cosmo-Skymed, з моменту отримання яких минуло не менше 90 діб.

Згідно з прайс-листом італійської компанії e-GEOS вартість сцени матеріалів радіолокаційного знімання канадського космічного апарата ДЗЗ RadarSat-2, залежно від кількості використовуваних поляризацій (наприклад HV – горизонтальна поляризація на передачу й вертикальна на прийом) електромагнітної хвилі зондувального сигналу, режиму знімання й рівня оброблення, складає від 3600 до 8400 канадських доларів, табл. 4 [12].

Можливе замовлення таких рівнів оброблення матеріалів радіолокаційного знімання КА RadarSat-2:

а) Raw Data (сирі дані) – рівень 0 – це потік цифрових даних, який не має вигляду зображення сцени; необхідні спеціальні засоби оброблення радіолокаційних даних;

б) Single Look Complex (SLC), (одиничний кадр) – дані зберігаються у нахильній дальності та включають інформацію географічної широти-довготи, здійснена корекція похибок прийому;

в) Path Image (SGF) (трасова доріжка) – передбачає вирівнювання сторони сцени зйомки за лінією траси орбіти КА;

г) Path Image Plus (SGX), (трасова доріжка +) – для встановлення розрізненості прожекторного режиму використано розміщення найменших пікселів;

д) Map Image (SSG), (карта) – орієнтація за північним полюсом та корекція сцени відповідно до картографічної проекції;

е) Precision Map Image (SPG), (точна карта) – для просторового вирівнювання сцени застосовуються наземні контрольні точки та картографічна проекція.

Можливо замовлення даних КА RadarSat-2 з більше ніж одним рівнем обробки. Додаткова платня за кожний наступний рівень оброблення складає 1200 канадських доларів, якщо замовлення було здійснено одночасно з першочерговим рівнем.

Комплексні продукти (цифрове представлення зображення) SLC включають фазову та амплітудну інформацію. Продукти SGF, SGX та SSG включають тільки амплітудну інформацію. Продукти SPG доступні за додаткову платню – 900 канадських доларів зверх стандартної ціни.

Для замовлення термінового позачергового радіолокаційного знімання на першому доступному витку траєкторії КА RadarSat-2 додаткова платня становить 3600 канадських доларів. За додаткову платню у 1200 канадських доларів може здійснюватися термінова обробка й розповсюдження видових даних електронними засобами протягом 4 годин з моменту отримання пунктом обробки даних замість 5 діб при стандартному нетерміновому замовленні. Конфіденційність замовлення зберігається за додаткову платню, розмір якої залежить від величини замовленого терміну затримки внесення отриманих МКЗ до каталогу.

Німецький космічний апарат ДЗЗ TerraSAR-X забезпечує період повторного знімання поверхні Землі 11 діб, а разом із КА TANDEM-X спроможний здійснювати радіолокаційний знімок у бістатичному режимі за технологією просторової інтерферометрії. Космічні знімки КА TerraSAR-X розповсюджує компанія INFOTERRA GmbH [<http://www.terrasar.de/>]. Вартість базових видових продуктів (*англ.* Basic Image Products) КА TerraSAR-X для різних режимів знімання згідно з прайс-листом компанії AIRBUS, наведена у табл. 5 [13].

Таблиця 4. Вартість (канадські долари) сцени матеріалів радіолокаційного знімання КА RadarSat-2 залежно від рівня оброблення й режиму знімання

Режим променя SAR	Розрізненість, м	Поляризація	Single Look Complex (SLC)	Path Image (SGF)	Path Image Plus (SGX)	Map Image (SSG)
1	2	3	4			
Spotlight A – прожекторний	1			8 400		
Ultra-Fine – ультра покращений	3			5 400		
Wide Ultra-Fine – ширококутовий ультра покращений	3			7 800		
Multi-Look Fine – багатокадровий покращений	8			4 200		
Wide Multi-Look Fine – ширококутовий багатокадровий	8			7 500		
Fine – покращений	8	одиночна		3 600		
		подвійна		3 800		
Wide Fine – ширококутовий покращений	8	одиночна		7 500		
		подвійна		7 800		
Standard – стандартний	25	одиночна		3 600		
		подвійна		3 800		

1	2	3	4	
Wide – широкосмуговий	30	одинична	3 600	
		подвійна	3 800	
ScanSAR Narrow – оглядовий вузькосмуговий	50	одинична	3 600	-
		подвійна	3 800	
ScanSAR Wide – оглядовий широкосмуговий	100	одинична	3 600	-
		подвійна	3 800	
Extended Low – розширений низької розрізненості	25		3 600	
Extended High – розширений високої розрізненості	25		3 600	
Fine Quad-Pol – покращений чотири поляризації	8	повна	5 400	5 400
Standard Quad-Pol – стандартний чотири поляризації	25			
Wide Fine Quad-Pol – широкозахватний покращений чотири поляризації	8	повна	7 800	7 800
Wide Standard Quad-Pol – широкозахватний стандартний чотири поляризації	25			

Примітка: Одинична поляризація – (HH) або (HV) або (VV) або (VH).

Подвійна поляризація – (HH+HV) або (VV+VH).

Повнополяризований (чотири поляризації) – (HH+HV+VV+VH).

Базові продукти КА TerraSAR-X режимів High Resolution SpotLight, SpotLight, StripMap можуть бути подвійної поляризації, але при цьому зменшуються за розміром сцена та просторова розрізненість.

Стандартний термін замовлення знімка за 3 доби до затвердження термінів виконання. Затвердження термінів виконання замовлення знімка: 08:30 UTC та 21:30 UTC. При замовленні термінового знімка (менш ніж за 1 добу до затвердження термінів виконання) здійснюється додаткова платня 900 € При звичайному режимі доставки даних знімка із борту КА TerraSAR-X на наземну станцію приймання термін складає до 7 діб. При потребі термінової доставки даних знімка із борту КА TerraSAR-X на наземну станцію прийому за час до 7 годин додаткова платня становить 700 € за сцену [13].

Таблиця 5. Вартість (євро – €) сцени матеріалів радіолокаційної зйомки КА TerraSAR-X для різних режимів знімання

Режим зйомки	Розмір сцени (ширина × довжина), км	Розрізненість, м	Щойно отримані дані, євро	Архівні дані**, євро
1	2	3	4	5
Staring SpotLight (ST) *** – прожекторний з покращеними характеристиками	4 × 3,7	до 0,25	6 950	3 475
High Resolution SpotLight (HS) – прожекторний високої розрізненості	10 × 5	до 1	5 950	2 975

Закінчення таблиці 5

1	2	3	4	5
SpotLight (SL) – прожекторний	10 × 10	до 2	4 250	2 125
StripMap (SM)* – маршрутний	30 × 50	до 3	2 950	1 475
ScanSAR (SC)* – оглядовий	100 × 150	до 18,5	1 750	875
Wide ScanSAR (WS)* – широкосмуговий оглядовий	до 270 × 200	до 40	1 750	875

Примітка: (*) Можлива довжина сцени зображення до 1 500 км: ціна пропорційна довжині сцени.

(**) Архівні дані – це дані, з моменту отримання яких минуло більш 30 днів: ціна складає 50% ціни щойно отриманих даних.

(***) Розмір сцени залежить від кута нахилення радіолокаційного променя (малий кут нахилення: широкий відбиток при короткій довжині; із збільшенням кута нахилення відмічається тенденція до рівномірних пропорцій). Можливі кути: кут нахилення 20° – розмір сцени 7,5 × 2,5 км²; кут нахилення 60° – розмір сцени 4 × 3,7 км².

Крім стандартних продуктів КА TerraSAR-X можливо замовлення продуктів з покращеними характеристиками, а саме:

– MCSAR: мозаїка суміжних, геокодованих або орторектифікованих сцен, яка є безшовним зображенням області більшої за розміром ніж стандартна сцена.

– ADMSAR: результат комп'ютерної обробки двох SAR-знімків, отриманих на спадній і висхідній орбітах з правим оглядом для зменшення радіолокаційних ефектів (тіні та накладень), що покращує аналіз зображення.

Японський космічний апарат ДЗЗ Alos-2 був запущений із космодрому Танегашима 24 травня 2014 року й тепер здійснює радіолокаційне знімання за жорсткими планами власника, а тому немає можливості замовляти йому знімання необхідного району, можна тільки закуповувати отримані ним МКЗ. Період повторного знімання КА Alos-2 будь-якої території поверхні Землі складає 46 діб. Космічні знімки радіолокатора із синтезованою апертурою PALSAR КА Alos-2 розповсюджує Центр технології ДЗЗ Японії (*англ.* Remote Sensing Technology Center of Japan) [http://www.alos-restec.jp/index_e.html].

Дані радіолокаційного знімання КА Alos-2 надаються у форматі CEOC SAR / GeoTIFF. Видові дані можуть бути оброблені, залежно від замовлення, до таких рівнів: комплексні дані (амплітуда і фаза); стиснуті за азимуту амплітудні дані; зображення у картографічній проекції із прив'язкою до місцевості; покращені дані (зменшення шумів, стиснутий динамічний діапазон). Вартість сцени архівних матеріалів радіолокаційного знімання КА Alos-2 (японські ієни – ¥) залежно від рівня оброблення й режиму знімання представлена у табл. 6. Нові надходження матеріалів радіолокаційного знімання космічного апарата Alos-2 для вибраного режиму спостереження надаються за додаткову платню розміром 150 000 японських ієн за кожну сцену [14].

Доступним джерелом радіолокаційних космічних знімків є космічні апарати ДЗЗ Європейського космічного агентства серії Sentinel, що входять до

угруповання КА системи Глобального моніторингу навколишнього середовища й безпеки Copernicus (попередня назва GMES – Global Monitoring for Environment and Security). Космічні апарати радіолокаційного ДЗЗ Sentinel-1A, -1B створюють видові дані з просторовим розрізненням від 5 м одиначної поляризації (HH або VV) і подвійної поляризації (VV+VH або HH+HV) у режимах оглядового знімка SM, інтерферометричного широко оглядового знімка IW й надширокооглядової зйомки EW. Періодичність знімка складає 1–3 доби [15, 16].

Таблиця 6. Вартість (японські ієни – ¥) сцени матеріалів радіолокаційного знімання КА Alos-2 залежно від рівня оброблення й режиму знімання

Режим спостереження	Розрізнення дальність × азимут, м	Розмір сцени, км	Поляризація	Вартість сцени, ¥
Spotlight – прожекторний	3,0 × 1,0	25 × 25	одиначна	500 000
Ultra-Fine – надвисокого розрізнення	3,0 × 3,0	55 × 70	одиначна, подвійна	300 000
High-sensitive – високоточний	6,0 × 4,3	55 × 70	одиначна, подвійна	300 000
Fine – високого розрізнення	9,1 × 5,3	70 × 70	одиначна, подвійна	300 000
High-sensitive (Full Polarimetry) – високоточн. повнополяризов.	5,1 × 4,3	40 × 70	повна (чотири)	300 000
Fine (Full Polarimetry) – повнополяризований	8,7 × 5,3	30 × 70	повна (чотири)	300 000
ScanSAR – СканСар	47,5 × 77,7 або 95,1 × 77,7	350,5 × 355	одиначна, подвійна	150 000
ScanSAR wide – СканСар широкий	44,2 × 56,7	490 × 355	одиначна, подвійна	150 000

Космічні апарати радіолокаційного ДЗЗ Sentinel-1A, -1B призначені для інформаційного забезпечення вирішення таких завдань [16]:

- моніторинг льодової обстановки у арктичних морях;
- моніторинг екологічної обстановки у морських акваторіях, включаючи контроль нафтових розливів;
- спостереження за морськими суднами;
- визначення зрушень земної поверхні з метою прогнозування небезпечних природних явищ;
- картографування лісів;
- спостереження за районами природних лих;
- проведення наукових досліджень у різних областях.

Відповідно до політики безоплатного й вільного розповсюдження даних за програмою Copernicus, доступ до них відкритий для усіх користувачів, включно

із суспільними, науковими й комерційними організаціями, через процедуру попередньої реєстрації у службі Sentinel-1 Scientific Data Hub [<https://scihub.esa.int/>]. Формат розповсюдження даних KA Sentinel-1A: Standard Archive Format for Europe – SAFE. Отже замовити радіолокаційну зйомку космічним апаратом Sentinel-1A нема можливості, але можливо отримання даних систематичного знімання.

Часові можливості отримання видових даних KA Sentinel-1A [16]:

протягом години із моменту прийому даних наземною станцією у випадку виникнення екстренної ситуації (режим часу близький до реального Near Real-Time – NRT);

протягом трьох годин (режим знімка пріоритетних зон у масштабі часу близького до реального – NRT priority areas);

протягом 24 годин при отриманні архівних даних систематичного (регулярного) радіолокаційного знімання.

Даних щодо технології замовлення й вартості комерційних матеріалів радіолокаційного космічного знімання китайським космічним апаратом HUAN JING-1C у доступних джерелах інформації не виявлено.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Матеріали радіолокаційного космічного знімання – це двовірні зображення поверхні Землі й об'єктів на ній, які вкрай необхідні для інформаційного забезпечення вирішення господарських, комерційних й наукових завдань та проблем національної безпеки й оборони. Комерційні радіолокаційні МКЗ за своїми споживчими інформаційними характеристиками (просторова детальність, оглядовість, часова й радіометрична розрізненість, точність координатної прив'язки, оперативність) наближаються до досягнутого світового прикладного рівня космічних геоінформаційних технологій. Продаж радіолокаційних даних космічного знімання здійснюють компанії-оператори комерційних апаратів ДЗЗ та їх компанії-дистриб'ютори. Цінова політика закордонних постачальників радіолокаційних МКЗ полягає у встановленні ціни на базові продукти стандартних режимів знімання. З ростом кількості поляризацій даних, покращенням просторового розрізнення, терміновості замовлення ціна зростає. На даний час можна придбати радіолокаційні дані знімання космічних апаратів COSMO-SkyMed-1,-2, ...-3, ...-4 й RadarSat-1, ...-2, TerraSAR-X, TANDEM-X, Alos-2 та Sentinel-1A, -1B. Термін надання радіолокаційних МКЗ становить від декількох годин до декількох діб із моменту проведення знімка. Вартість сцени продуктів радіолокаційного знімання надвисокого просторового розрізнення складає від 3 до 9-и тисяч євро. Вартість аналогічних архівних продуктів у 1,5–2 рази менше. За терміновість знімка та / або терміновість поставки матеріалів радіолокаційного знімання додаткова платня становить 10–30 % від вартості

замовлення. За кожний додатковий рівень оброблення матеріалів радіолокаційного знімання (окрім первинного) додаткова платня становить від 200 €

Подальше дослідження теми потребує аналізу способів покращання споживчих характеристик МКЗ, впровадження досвіду й технологій світових сервісів комерційних супутникових зображень, а також формування платіжоспроможного національного ринку України, видових космічних даних.

Література

1. Обзор современных радиолокаторов с синтезированной апертурой космического базирования и анализ тенденций их развития / *М. И. Нониашвили, И. В. Крючков, Г. А. Лесников [и др.]* // Вестн. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. Приборостроение. – 2012. – С. 94–114.
2. Радиолокационные системы землеобзора космического базирования / *В. С. Верба, Л. Б. Неронский, И. Г. Осипов, В. Э. Турук* ; под ред. *В. С. Вербы*. – М. : Радиотехника, 2010. – 680 с.
3. Багатоспектральні методи дистанційного зондування Землі в задачах природокористування : монографія / за ред. *В. І. Лялько, М. О. Попова*. – К. : Наук. думка, 2006. – 360 с.
4. *Волошин В. И.* Анализ тенденций развития рынка дистанционного зондирования Земли / *В. И. Волошин, А. С. Левенко* // Космічна наука і технологія. – 2008. – Т. 14, № 2. – С. 13–21.
5. *Кейс А.* Увеличение источников данных ДЗЗ, получаемых от государственных операторов [Електронний ресурс] / *А. Кейс* // Земля из космоса. – 2011. – Вып. 11. – С. 66–68. – Режим доступа : [ZiK_no11 Rinok DZZ-2011.pdf](#).
6. *Беспалко І. А.* Аналіз ринку матеріалів космічного знімання / *І. А. Беспалко, В. В. Омельчук, Д. В. Пекарев* // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. / Житомир. військовий ін-т ім. С. П. Корольова. – 2012. – Вип. 6. – С. 136–145.
7. Дані про склад угруповання діючих КА [Електронний ресурс] // Сайт Gunters Space Page. – Режим доступу: <http://space.skyrocket.de/>.
8. *Дворкин Б. А.* Новейшие и перспективные спутники дистанционного зондирования Земли / *Б. А. Дворкин, С. А. Дудкин* // ГЕОМАТИКА. – 2013. – № 2. – С. 16–37.
9. *Омельчук В.В.* Аналіз інформаційних характеристик космічних апаратів видової радіолокаційної розвідки / *В.В. Омельчук, С.А. Кондратюк, О.В. Демченко* // Проблеми створення, випробування, застосування та експлуатації складних інформаційних систем : зб. наук. пр. / Житомир. військовий ін-т ім. С. П. Корольова. – 2015. – Вип. 10. – С. 60–67.
10. *Болсуновский М. А.* Возможности прямого доступа к ресурсам КА ДЗЗ для организации мониторинга / *М.А. Болсуновский* // ГЕОПРОФИ. – 2010. – № 5. – С. 19–22.

11. Компанія Pixel Solutions [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.pixelsolutions.com.ua/aboutcompany.html>.

12. AN ASI/TELESPAZIO Company e-GEOS. Price List [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.e-geos.it/>.

13. TerraSAR-X Services – International Price List [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.geo-airbusds.com/>.

14. Alos-2: International Prices [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://en.alos-pasco.com/offer/price.html>.

15. Copernicus: Sentinel-1. [Електронний ресурс]. – Режим доступу <https://directory.eoportal.org/>.

16. Sentinel-1 // [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>.
