УДК 629.78 https://doi.org/10.15407/itm2021.04.079

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

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ЗАСОБІВ ДИСТАНЦІЙНОГО ЗОНДУВАННЯ ЗЕМЛІ

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

Метою статті є аналіз ефективності використання засобів дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) з урахуванням тенденцій їх розвитку за останні десять років. У статті аналізуються: ефективність використання засобів ДЗЗ для соціально-економічного розвитку (у картографії, метеорології й кліматології, океанології, гідрології, сільському господарстві, лісовому господарстві, у завданнях міського й регіонального керування, для охорони навколишнього середовища, при надзвичайних ситуаціях); ефективність діяльності індійської галузі ДЗЗ (як приклад однієї із провідних держав в області ДЗЗ); основні тенденції розвитку систем ДЗЗ, що підвищують ефективність їхньої роботи (відкритий доступ до даних ДЗЗ, приватне й приватно-державне партнерство, оперативність доставки інформації, обробка даних ДЗЗ на борту космічного апарата, аналітика на основі даних ДЗЗ), порівняння частки ринку даних безпілотних літальних апаратів з часткою ринку даних ДЗЗ із космосу.

Результатами статті є виявлення в світовій галузі дистанційного зондування Землі таких тенденцій, що сприяють підвищенню ефективності використання даних ДЗЗ:

– поступова переорієнтація до отримання не тільки даних дистанційного зондування, але також і аналітики на основі цих даних;

– інтенсивний розвиток методів геопросторового моніторингу, бізнес-аналітики, машинного навчання, нейронних мереж, хмарної архітектури й автоматичної обробки великих масивів даних ДЗЗ;

– незважаючи на широкі можливості застосування даних дистанційного зондування Землі і зниження цін на космічні знімки, ступінь використання цієї інформації для вирішення соціально-економічних завдань, за оцінками деяких аналітиків, зовсім незначний, тому що менше ніж 1 % даних, отриманих від супутників дистанційного зондування Землі коли-небудь знаходять своїх клієнтів;

– в Індії, Китаї, Російській Федерації та Україні провідними принципами розвитку галузі ДЗЗ є планове державне фінансування, яке уже не використовується в більшості розвинутих країн, де розвиваються приватно-державні й комерційні структури ДЗЗ;

– підхід до поширення продуктів ДЗЗ на внутрішньому ринку з метою компенсації капітальних витрат на розробку супутників ДЗЗ в країнах, де здебільше державне фінансування в цій галузі, неминуче веде до негативних результатів;

– створюються національні ринки даних ДЗЗ, які використовують: відкритий доступ до даних, приватне й приватно-державне партнерство, оперативність доставки інформації за рахунок застосування вебсервісів і хмарних обчислень, аналітику на основі даних ДЗЗ, обробку даних на борту космічного апарата в недалекому майбутньому;

– в перспективі майбутнє дистанційного зондування Землі 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), Big Data (великі дані), Cloud Computing (хмарні обчислення) та Io (Інтернет речей), які будуть мати вирішальне значення для сегмента дистанційного зондування Землі.

В статті використано метод системного аналізу.

Практична значимість статті полягає у можливості використання тенденцій розвитку світової галузі дистанційного зондування Землі при створенні і експлуатації національних космічних апаратів ДЗЗ.

Ключові слова: *безпілотний літальний апарат, віртуальна реальність, дистанційне зондування Землі, ефективність даних ДЗЗ, космічний апарат, потреби користувачів, просторове розрізнення, хмарні обчислення.*

The aim of this paper is to analyze the efficiency of use of Earth remote sensing (ERS) means in the light of the trends in their development in the past ten years. The paper analyzes the efficiency of use of ERS means in the interests of socioeconomic development (in cartography, meteorology, climatology, oceanology, hydrology, agriculture, forestry, in local and regional management tasks, and in emergencies), the efficiency of the Indian ERS segment (as an example of one of the leading ERS countries), the basic trends in the development of ERS systems that increase their efficiency (open access to ERS data, private and public-private partnership, information delivery promptness, onboard ERS data processing, and ERS-based analysis), and a comparison of the ERS data market fraction of drones with that of satellites.

As a result, the following global ERS trends that increase the efficiency of ERS data use are identified:

– gradual reorientation from purely obtaining ERS data to making an analysis based thereon;

– intensive development of methods of geospatial monitoring, business analysis, machine learning, neural networks, cloud architecture, and automatic processing of large ERS data arrays;

– despite the ample scope for ERS data use and the reduction of space imagery prices, this information, as

estimated by some analysts, is used in the solution of socioeconomic problems only to quite a small extent because less than one per cent of the ERS satellite data can ever find their users;

– in India, China, the Russian Federation, and Ukraine, ERS is funded from the state budget, which is no longer the case in most of the developed countries, where public–private and commercial ERS structures are dominant;

– in the countries where ERS is mostly funded from the state budget, the approach to the distribution of ERS products on the home market with the aim to compensate for the capital costs of ERS satellite development inevitably produces negative results;

– the formation of national ERS data markets is in progress; the features of these markets are open access to ERS data, private and public-private partnership, information delivery promptitude due to the use of web servers and cloud computing, ERS-based analysis, and onboard ERS data processing in the near future;

– in the long term, the future of ERS will depend on breakthrough technologies, innovative solutions, new applications, and the integration of technologies such as VR (virtual reality), AR (added reality), AI (artificial intelligence), Ml (machine learning), Big Data, Cloud Computing, and IoT (Internet of things), which will be of crucial importance in the ERS segment.

In the paper, the system analysis method is used.

The practical significance of the paper lies in the possibility of using the global ERS advancement trends in the development and operation of national ERS spacecraft.

Keywords: *drone, virtual reality, Earth remote sensing, ERS data efficiency, spacecraft, users' demands. spatial resolution, cloud computing*.

Використання даних дистанційного зондування Землі. Дистанційне зондування Землі (ДЗЗ) з космосу швидко розвивається. Основними складовими для його розвитку служать джерела у вигляді космічного угруповання супутників ДЗЗ, наземна інфраструктура центрів прийому й обробки, вебпортали доступу до каталогів, архівів і оперативної космічної інформації, а також законодавство, що визначає політику доступу й поширення даних ДЗЗ. Необхідними компонентами є також програмні продукти й система підготовки кваліфікованих кадрів.

Далі будуть розглядатися лише цивільні засоби дистанційного зондування Землі – космічні апарати і безпілотні літальні апарати.

Аналіз даних, приведених в [1] – [5], дозволив прослідкувати, де використовуються дані ДЗЗ для соціально-економічного розвитку.

Картографія. Технології дистанційного зондування Землі мають істотні переваги перед іншими засобами для формування карт місцевості:

– ефект масштабу (глобальне охоплення великих територій з можливістю огляду невеликих ділянок, що дозволяє складати карти абсолютно різного масштабу);

– динамічне картографування й можливість якісного моніторингу динамічних процесів; картографування важкодоступних територій у горах, заполяр'ї, болотах, лісах, пустелях, льодах;

– поява нових засобів відображення карт замість паперового подання – фотокарт; наочне подання на одному знімку всіх видів територіальних ландшафтів.

У США і Європі регулярно використовують високодетальну космічну зйомку для розробки цифрових моделей рельєфу й відновлення картографічних продуктів. У США високодетальні цифрові плани міст із високою динамікою розвитку оновлюються не рідше одного разу у два місяці. Геологічна служба США щорічно виділяє 5 млн дол. на закупівлю космічної інформації високого й надвисокого розрізнення в приватних компаніях.

Метеорологія й кліматологія. Технології ДЗЗ на основі космічних апаратів (КА) у метеорології почали застосовуватися набагато раніше, ніж в інших сферах дослідження Землі. До 1970-х років знімки з космосу застосовувалися саме в цих цілях з використанням метеорологічних супутників. Дані знімки

вперше в науці показали будову хмарного покриву й циркуляцію атмосфери в ньому. Зараз КА поставляють великий обсяг даних з теплового балансу планети. Різні КА ведуть постійний контроль за водяною парою, температурою в атмосфері, озоновим шаром і ще безліччю інших показників. Метеорологічні КА заклали, фактично, кардинально новий розвиток кліматології.

Океанологія. Технології ДЗЗ на основі КА дають можливість спостерігати процеси і явища морських просторів у масштабному характері на відміну від спостережень окремих точок. Більше того, тепловий інфрачервоний діапазон зйомок поверхні морських територій дозволив реєструвати глобальний розподіл температур з візуалізацією морських течій у морях і океанах. Технології ДЗЗ на основі КА дозволили скласти топографію поверхні дна з формуванням карти із точністю (2–3) см. Спектрометри колірного індексу, подібного нормалізованому відносному індексу рослинності в сільському господарстві, що фіксує концентрацію хлорофілу, фіксують стан фітопланктону, необхідного для прогнозу продуктивності океанів. Технології ДЗЗ дають можливість вести також моніторинг стану льодів, забруднення океанів і морів.

Гідрологія. Дані ДЗЗ у гідрології дозволяють: контролювати повені й паводки, льодову ситуацію водних об'єктів, процеси сніготанення; дешифрувати ріки, болота, озера; виявляти водозбори й водозабори; контролювати випари й опади, якість й запаси води; оцінювати запаси води в снігу; моделювати гідрологічні ситуації. Дані ДЗЗ на основі КА відслідковують негативні явища в ріках, озерах, водоймищах для подальшого прогнозу можливого збитку.

Сільське господарство. Найбільший розвиток технології ДЗЗ із всієї соціально-економічної сфери знайшли в сільському господарстві. Тут можна виділити наступні області застосування технологій ДЗЗ:

– кластеризація основних рослин, що культивуються;

– моніторинг стану посівів у всіх фенологічних фазах їхнього розвитку з наступним прогнозом урожаю в різних кількісних і якісних зрізах, моніторинг стану пасовищ;

– виявлення й прогноз несприятливих факторів у вигляді вимерзання озимих, настання посухи, появи хвороб, шкідників, у тому числі й на пасовищах, надмірного внесення різних хімічних засобів від добрив до пестицидів;

– моніторинг, виявлення й прогноз динаміки поширення ерозії полів, їхнього заболочування, інших показників зниження родючості ґрунту;

– оперативний облік якості й своєчасності здійснення сільськогосподарських операцій відповідно до технологічних карт і зіставлення сівозмінних показників посівних площ на богарі й поливних землях;

– моніторинг експлуатації пасовищ для контролю за балансом приросту трави і її поїдань худобою, що пасеться.

Сільське господарство, мабуть, єдина галузь, де зустрічається симбіоз даних ДЗЗ як з космічних апаратів, так і з безпілотних літальних апаратів, з наземних засобів ДЗЗ у вигляді "точного землеробства". Суть його полягає у вигляді інтеграції нових агротехнологій з можливістю високоточного позиціонування проведення агротехнічних заходів на полях з диференційованою хіміко-технічною характеристикою кожної ділянки на основі цифровізированих, високоефективних і екологобезпечних технічних і агрохімічних засобів. У результаті, точне землеробство дозволяє одержувати з кожної такої оцифрованої ділянки поля оптимальну кількість якісної й дешевої продукції за

рахунок створення відповідних умов росту й розвитку культур у межах границь екологічної безпеки.

Лісове господарство. Технології ДЗЗ у частині лісового господарства застосовуються при моніторингу лісових масивів для з'ясування типів дерев, їхньої цінності з розподілом по територіях, для наступного з'ясування запасів лісоматеріалів, а також втрат, заподіяних лісовими пожежами, неконтрольованими вирубками. У нашій країні актуальною проблемою є раннє виявлення лісових пожеж, шкідників, захворювань дерев.

Завдання міського й регіонального керування. Тут можна відзначити наступні завдання, що розв'язуються за допомогою технологій ДЗЗ:

– моніторинг і прогноз динаміки територіальних змін у містах, населених пунктах з рекомендаціями, за потреби, проведення кадастрових і картографічних робіт;

– моніторинг і прогноз динаміки екологічних порушень на окремих ділянках за широким спектром показників, наприклад, у ґрунті, повітрі, водоймах тощо;

– моніторинг за промисловим використанням природних ландшафтів, їхньою рекультивацією, якщо буде потреба;

– моніторинг несанкціонованої появи смітників, організованих населенням і підприємствами;

– моніторинг стану інфраструктури міст, населених пунктів у частині будівельних робіт, транспорту, житлово-комунального господарства.

Охорона навколишнього середовища. Багато видів людського впливу на природне середовище добре проглядаються на знімках ДЗЗ, що відображають як господарську діяльність людини, так і усілякі, у тому числі, що важливо, несприятливі наслідки цього впливу на природу. Така можливість дозволяє організувати контроль негативного впливу шляхом створення екологічних баз даних територій і організувати оперативне керування по згладжуванню негативного впливу на основі прогнозу розвитку екологічної картини.

Надзвичайні ситуації. Оперативний моніторинг надзвичайних ситуацій при повенях, пожежах, землетрусах, розливах нафтопродуктів дає часовий і інформаційний лаг для більш грамотної організації робіт із боротьби з наслідками цих нещасть. Технології ДЗЗ при інтеграції їх з накопиченими науковими даними науково-дослідних організацій відповідного профілю завдяки націленості спостережень за найнебезпечнішими місцями, великому охопленню й періодичності зйомок з КА дозволяють спрогнозувати ймовірність виникнення зазначених катастроф з визначенням деякого діапазону часу початку й можливих сценаріїв розвитку надзвичайних ситуацій.

Ці дані були опубліковані в 2013 році, коли дистанційне зондування Землі із використанням безпілотних літальних апаратів (БПЛА) для оперативного моніторингу надзвичайних ситуацій було не дуже розвиненим. Але вже з 2015 по 2018 роки доля сегмента ринку БПЛА, наприклад, в Росії виросла з 25 % до 55 %, а доля ДЗЗ із космосу впала з 55 % до 30 % [6]. Це видно із діаграми на рис. 1. Таким чином, в Росії прослідковується явна тенденція поступового витіснення з ринку космічних даних ДЗЗ даними ДЗЗ від БПЛА.

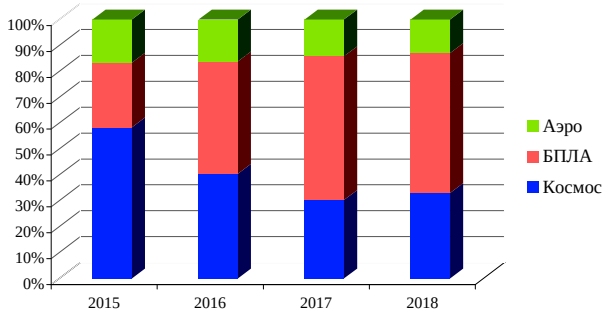

Рис. 1 – Діаграма динаміки частки сегментів ринку ДЗЗ

За результатами проведених в Інституті технічної механіки Національної академії наук України і Державного космічного агентства України (ІТМ НАНУ і ДКАУ) досліджень виявлено динаміку зміни цін на космічні знімки. Загальна тенденція за розцінками на космічні знімки за 20 останніх років полягає в їхньому поступовому зниженні як на замовлення зйомки, так і на архівні знімки. Діапазон зниження ціни коливається від 8 % (найменше зниження) до 72 % (найбільше зниження). У грошовому вираженні зниження йшло від ~ 30 дол. до ~ 0,08 дол. за 1 кв. км. Найвища вартість за 1 кв. км була для радіолокаційної зйомки із просторовим розрізненням 0,5 м і становила 132 дол. за 1 кв. км – на замовлення й 100 дол. – з архіву.

Незважаючи на широкі можливості застосування даних ДЗЗ і зниження цін на космічні знімки, ступінь використання такої інформації для вирішення різних соціально-економічних завдань, за оцінкою деяких аналітиків [7], зовсім незначна, тому що менш 1 % даних, отриманих із супутників ДЗЗ, колинебудь знаходять своїх клієнтів. Отже, існує явна неефективність використання інформації, що надходить від КА ДЗЗ, і надії на окупність цих КА, як видно, не будуть справджуватися.

Лідерами за складом космічних угруповань супутників ДЗЗ є США, країни Європи, Китай і Індія. Це різні країни із принципово різними схемами фінансування програм ДЗЗ: США і Європа створили й експлуатують бюджетні державні, приватно-державні й комерційні системи ДЗЗ. В Індії, Китаї, Російській Федерації й Україні провідними принципами розвитку галузі ДЗЗ є планове державне фінансування.

В [8] проведено аналіз діяльності індійської галузі ДЗЗ за результатами державної перевірки роботи національного центра ДЗЗ National Remote Sensing Centre (NRSC). Державна аудиторська служба Comptroller and Auditor General (CAG, аналог державної аудиторської служби України) оцінила результати використання семи супутників серії IRS (IRS-1C, -P3, -1D, -P4, -P5, -P6, Cartosat-2) національної системи ДЗЗ протягом шести років, з 2003 р. до 2009 р. Найцікавіші результати отримані з досягнутої продуктивності знімальної апаратури космічних апаратів і поверненню інвестицій. Виявилося, що реальна річна продуктивність трьох із семи супутників IRS не перевищила 50 % від розрахункової максимальної величини. Супутник IRS-P3 продемонстрував найнижчу продуктивність в 32 %, а IRS-P5 – найвищу (84 %).

У своїй відповіді на критику департамент космосу Індії вказав, що однією з причин невисокої ефективності є недостатня кількість прийомних стан-

цій у єдиному центрі NRSC, у зв'язку із чим Індія орендує ресурси норвезького прийомного центру Свальбард.

Авторам не вдалося одержати звіт про досягнуту продуктивність КА "Січ-2", але, маючи всього лише один пункт прийому інформації й строк активного існування один рік, показники КА "Січ-2" явно будуть гіршими, ніж в Індії.

Фінансові результати поширення космічної інформації системи IRS виявилися настільки ж несподіваними. Обсяг коштів, отриманих від реалізації продуктів на основі космічної інформації кожного з 7 супутників, не тільки не покрив капітальні витрати на розробку й запуск, але навіть не перевищив щорічні операційні витрати на експлуатацію. Протягом шести років Індія витратила майже 551 млн. дол. на розробку, запуск і експлуатацію 7 супутників ДЗЗ. Обсяг продажів космічних знімків за цей же період склав 39 млн. дол. (або 7 % від витрат).

Необхідно врахувати, що індійська космічна інформація, на відміну від російської та й української, активно поширюється на світовому ринку через мережу закордонних приймальних станцій в 18 країнах і дилерську мережу продажів готових продуктів. Проте, отриманий дохід від продажів космознімків на внутрішньому й зовнішньому ринках покрив ледве більше 1/5 частини всіх операційних витрат (21,49 %). Таким чином, за всі розглянуті роки жодного разу не вдалося одержати позитивний фінансовий баланс, без чого неможливе повернення капітальних витрат.

Аудиторська служба помітила також, що більше 80 % внутрішніх продажів космічної інформації здійснюється на держструктури, у той час як парламентський комітет ще в 1996 році рекомендував розвивати приватний ринок при впровадженні космічної інформації в прикладні завдання.

В Україні був проголошений аналогічний підхід до поширення продуктів ДЗЗ на внутрішньому ринку (продажу для компенсації капітальних витрат на розробку супутників ДЗЗ), що, як видно з індійського прикладу, неминуче веде до негативних результатів.

У лютому 2021 р. Індія вирішила відмовитися від регулювання геопросторових даних і тепер всі індійські організації зможуть вільно здобувати, збирати, генерувати, готовити, поширювати, зберігати, ділитися, публікувати, обновляти, оцифровувати і/або створювати геопросторові дані, включаючи карти, будь-яких територіальних вод з використанням будь-яких геопросторових технологій.

За різними оцінками [9], ефективне й діюче використання геопросторової інформації може додати майже 2 % росту до загального ВВП Індії, створить величезні можливості для стартапів, держсектора й дослідницьких інститутів. Геопросторова інформація має основне значення для таких проєктів як розумні міста, автомагістралі, модернізація залізниць, з'єднання водних шляхів або Ініціатива Цифрової Індії. Відповідно ослаблення норм істотно допоможе в декількох секторах, які страждали через недоступність карт високої якості.

Але у світі відомі приклади успішного створення національних ринків даних ДЗЗ, які базуються на сучасних тенденціях розвитку систем ДЗЗ, що підвищують ефективність роботи цих систем.

Основні тенденції розвитку систем ДЗЗ, що підвищують ефективність їхньої роботи. Аналіз відкритих публікацій [5] – [9] дозволив сформу-

лювати основні тенденції розвитку систем ДЗЗ, що підвищують ефективність їхньої роботи.

Відкритий доступ до даних ДЗЗ. Всі кадри (сцени), що надходять, після оперативної обробки доступні для вільного скачування через веб-портали й геосервіси для перегляду, наприклад, змін земної поверхні в щомісячному режимі. Таким чином, будь-який громадянин може особисто оцінити, наскільки інтенсивно працює апаратура супутника і яку якість має його інформація. Головний ефект від вільного доступу – швидкий розвиток ринку прикладних застосувань космічної інформації, тому що компанії використовують наявні фінансові ресурси не для закупівлі супутникових зображень, а для розробки нових технологій, спеціалізованих програм або інтеграції космічної й іншої інформації в продукти, орієнтовані на специфічні потреби користувачів. Держава де-факто дотує безкоштовною космічною інформацією національні компанії геоінформаційної галузі для досягнення цілей прискореного економічного росту на основі інноваційних геопродуктів.

Аналогічний ефект можна було б одержати й в Україні, запропонувавши відкритий доступ до продуктів апаратури КА "Січ-2-1" – багатозонального сканера із просторовим розрізненням 7,8 м/піксель та шириною ділянки, яку знімають під час зйомки в надир, 46,6 км. Орієнтовна дата запуску КА – 2021 рік.

У США, наприклад, за два роки із серверів геологічної служби USGS було завантажено більше 3 мільйонів сцен програми Landsat. Серед користувачів даних Landsat є багато вітчизняних державних організацій, деякі навіть роблять сервісні послуги на основі безкоштовної американської інформації.

Компанія Earth Observing System надала список п’яти кращих на сьогоднішній день онлайн-ресурсів, які можна використати для рішення власних аналітичних завдань безкоштовно [10].

EarthExplorer пропонує всеосяжні супутникові знімки Terra і Aqua MODIS, ASTER, VIIRS і багато інших. А також знімки, які були отримані із супутників Resourcesat-1, -2 і Sentinel-2. Також є багато даних з комерційних супутників високого розрізнення, таких як IKONOS-2, OrbView-3 і даних SPOT.

LandViewer охоплює величезну кількість загальнодоступних бібліотек. Це знімки із супутників CBERS-4, Sentinel-1, -2, MODIS / NAIP, Landsat-7, -8, а також Landsat-4, -5. Також набори знімків SPOT-5, -7, Pleiades-1, Kompsat-2, -3, -3A, SuperView-1. Максимальне просторове розрізнення досягає 40 см/піксель.

В EO Browser можна одержати знімки із середнім і низьким розрізненням. До них відносяться необмежені колекції від всіх місій Sentinel, Landsat-5, -6, -7 і -8, Envisat, Meris, MODIS, GIBS і Proba-V.

Sentinel – Copernicus Open Access Hub – це місце для новітніх знімків із всіх супутників Sentinel: радарні знімки Sentinel-1, оптичні мультиспектральні знімки Sentinel-2, а також дані про земну поверхню Sentinel-3 для спільного аналізу навколишнього середовища з даними про атмосферу і якість повітря в Sentinel-5P.

Каталог знімків INPE про Південну й Центральну Америку й Африку. Тут можна скористатися даними наступних місій: Aqua, DEIMOS, UK-DMC 2, Terra, Suomi-NPP, ResourceSat, Landsat-8, а також CBERS-4.

Приватне й приватно-державне партнерство. Основні обсяги продажів на світовому ринку геоданих припадають на операторів систем ДЗЗ, створених на приватні інвестиції або за схемою приватно-державного партнерства. Саме вони є сьогодні локомотивами в розвитку нової космічної техніки ДЗЗ, передових технологій доступу й надання сервісних послуг. Приватний інвестор і без державного аудиторського контролю зацікавлений у швидкому виготовленні супутника ДЗЗ (за 3–4 роки, а не за 7–10 років, як в Україні) і в інтенсивному використанні ресурсів знімальної апаратури.

Оперативність доставки інформації. Для оперативної доставки інформації в потрібний час і у 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 у рамках хмарної інфраструктури та отримати зображення за лічені секунди. За рахунок хмарних обчислень обробка зображення здійснюється в режимі реального часу в точній відповідності з вимогами кожного замовника. Індивідуальна обробка, включаючи форматування, монтаж, проєктування, поділ на шари, виконується в лічені секунди [11].

Обробка даних ДЗЗ на борту КА. 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 [12] будує унікальний супутник, який зможе аналізувати і узагальнювати зібрані ним дані. Супутник, названий Intuition-1, буде оснащений нейронною мережею на основі штучного інтелекту, змодельованого з людського мозку. Гіперспектральний томограф Intuition здійснить 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.

Аналітика на основі даних ДЗЗ. Сьогодні майбутнє галузі ДЗЗ залежить не тільки від надання даних, але також від надання аналітики на основі цих даних. У звіті GeoBuiz-18 [13] говориться, що сегмент, який в основному включає ринок аналітики знімків/карт, як очікується, досягне 42,3 млрд. дол. США в 2021 р. Спостерігається інтенсивний розвиток методів геопросторового моніторингу, бізнес-аналітики, машинного навчання, нейронних мереж, хмарної архітектури й автоматичної обробки великих масивів даних дистанційного зондування Землі. З'являються стартапи в області геопросторового моніторингу на основі космічної інформації.

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, буде визначати майбутнє сегмента ДЗЗ. Деякі аналітики [8] 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.

В перспективі майбутнє дистанційного зондування Землі 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 та Io (Інтернет речей), які будуть мати вирішальне значення для сегмента дистанційного зондування Землі.

Висновки. В світовій галузі дистанційного зондування Землі за останні 10 років спостерігаються такі тенденції, що сприяють підвищенню ефективності використання даних ДЗЗ:

– поступова переорієнтація галузі дистанційного зондування Землі стосовно надання не тільки даних дистанційного зондування, але також і аналітики на основі цих даних;

– спостерігається інтенсивний розвиток методів геопросторового моніторингу, бізнес-аналітики, машинного навчання, нейронних мереж, хмарної архітектури й автоматичної обробки великих масивів даних дистанційного зондування Землі;

– незважаючи на широкі можливості застосування даних дистанційного зондування Землі і зниження цін на космічні знімки, ступінь використання цієї інформації для вирішення соціально-економічних завдань, за оцінками деяких аналітиків, зовсім незначний, тому що менше ніж 1 % даних, отриманих від супутників дистанційного зондування Землі, коли-небудь знаходять своїх клієнтів;

– в Індії, Китаї, Російській Федерації та Україні провідними принципами розвитку галузі дистанційного зондування Землі є планове державне фінансування, яке уже не використовується в більшості розвинутих країн, де розвиваються приватно-державні й комерційні системи дистанційного зондування Землі;

– підхід до поширення продуктів дистанційного зондування Землі на внутрішньому ринку з метою компенсації капітальних витрат на розробку супутників дистанційного зондування Землі в країнах, де здебільше державне фінансування в цій галузі, неминуче веде до негативних результатів;

– створюються національні ринки даних дистанційного зондування Землі, які використовують: відкритий доступ до даних, приватне й приватно-державне партнерство, оперативність доставки інформації за рахунок застосування веб-сервісів і хмарних обчислень, аналітику на основі даних дистанційного зондування Землі, обробку даних на борту КА в недалекому майбутньому;

– в перспективі майбутнє дистанційного зондування Землі 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 та Io (Інтернет речей), які будуть мати вирішальне значення для сегмента дистанційного зондування Землі.

1. *Сутырина Е. Н.* Дистанционное зондирование земли. Иркутск, изд-во ИГУ, 2013. С. 92–162.
2. *Новикова Н. Н.* Вопросы использования данных ДЗЗ для решения социально-экономических задач. URL: http://jurnal.vniiem.ru/text/105/7.pdf (дата звернення: 02.06.2021).
3. *Абросимов А.В., Дворкин Б. А.* Перспективы применения данных ДЗЗ из космоса для повышения эффективности сельского хозяйства в России. URL: https://en.sovzond.ru/upload/iblock/ 362/2009_04_007.pdf (дата звернення: 08.06.2021).

4. *Навулюр К., Бо Б., Пацифиц. Ф.* Тенденции развития коммерческого сектора оптической космической съемки. URL: https://sovzond.ru/upload/iblock/655/655b14b0a3817b161180e92dc7e41ca6.pdf (дата звернення: 12.05.2021).
5. Sentinel-1. ESA Sentinel online – electronicresource. URL: https:// sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/ sentinel-1 (дата звернення: 17.06.2021).
6. Объем и динамика выручки коммерческих компаний рынка ДЗЗ России с 2015 по 2018 года. URL: http://gisgeo.org/research/analitika/.bem-i-dinamika-vyruchki-kommercheskih (дата звернення: 25.05.2021).
7 *Dvorkin B. A., Natarova E. V*. Earth satellite monitoring: yesterday, today, and tomorrow. URL: http://geomatica.ru/clauses/kosmicheskie-sistemy-dzz/kosmicheskij-monitoring-zemli-vchera- segodnya-zavtra (дата звернення: 12.05.2021).
8. *Кучейко А. В.* Общественный доступ к космической информации, или насколько эффективная гражданская космическая программа ДЗЗ? URL: www.scanex.ru › company › news › obshchestvennyy (дата звернення: 28.05.2021).
9. Эксперт: России следует перенять опыт Индии в сфере регулирования геопросторових данных. URL: http://vestnik-glonass.ru/ news/intro/ekspert- rossii-sleduet-perenyat- opyt-indii-v-sfere-regulirovaniya-geoprostranstvennykh- dannykh/(дата звернення: 03.06.2021).
10. Обзор компании Earth Observing System (EOS). URL: https://www.geospatialworld.net/blogs/5-free-satellite-imagery-sources-to-drive-insights-on-your-own (дата звернення: 09.06.2021).
11. *Роді Б*. Облачные вычисления в сервисах компании DigitalGlobe. URL: https://sovzond.ru/upload/uf/9a8/9a881b42db19f82303a270a677da488a.pdf (дата звернення: 29.06.2021).
12. Новая космическая экосистема, которая двигает вперед индустрию наблюдения за Землей. URL: https://sovzond.ru/press-center/articles/ers/6103/ (дата звернення: 10.06.2021).
13. Отчет GeoBuiz за 2018 год: прогноз области и индекс геопространственной индустрии. URL: https://geobuiz.com/geobuiz-2018-report.html&prev=search (дата звернення: 21.04.2021).

Отримано 02.08.2021,
в остаточному варіанті 25.11.2021