

СУЧАСНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ КОМП'ЮТЕРНОГО ЗОРУ І ГЛИБОКИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ

1. СУЧАСНІ ПІДХОДИ ДО ЗЛИТТЯ ТА ГАРМОНІЗАЦІЇ РІЗНОРІДНИХ ГЕОПРОСТОРОВИХ ДАНИХ

Андрій Шелестов, професор
Кафедра математичного моделювання і аналізу даних
Навчально-науковий Фізико-технічний інститут
Національний технічний університет України «Київський
політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

andrii.shelestov@gmail.com

ВСТУП

Хмарні платформи відіграють критичну роль у забезпеченні ефективного злиття та гармонізації різнорідних геопросторових даних, враховуючи їхню різноманітність та велику кількість. Ці інноваційні технологічні засоби надають потужні інструменти для оптимального поєднання та аналізу різних джерел географічної інформації.

Одним з ключових аспектів хмарних платформ є їх можливості для зберігання, обробки та обміну даними в реальному часі. Це дозволяє різним користувачам з різних місць спільно працювати над даними та спрощує процеси спільної обробки. Ще однією значущою перевагою є можливість інтеграції різних форматів даних з різних джерел. Це допомагає уникнути проблем з несумісністю та забезпечує безперешкодний потік інформації з різних джерел. Хмарні платформи також надають набір інструментів для обробки та аналізу геопросторових даних. Це може включати в себе використання геоінформаційних систем (ГІС), візуальний аналіз даних, статистичний аналіз та методи машинного навчання для вилучення додаткової інформації з наявних датасетів.

Важливою функцією хмарних платформ є забезпечення доступу до готових наборів даних та географічних послуг. Це може

включати в себе геопросторові дані, картографічні послуги, інструменти геоаналізу та візуалізації. Завдяки цим можливостям, хмарні платформи дозволяють вирішувати складні задачі злиття та гармонізації геопросторових даних. Вони забезпечують швидкий доступ, зручність спільної роботи та розширені можливості аналізу, що робить їх незамінними інструментами для дослідження геопросторової інформації.

1.1. ХМАРНІ ПЛАТФОРМИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ГАРМОНІЗАЦІЇ РІЗНОРІДНИХ ДАНИХ

На даний момент у світі існує чимало хмарних платформ, які надають інфраструктуру для роботи з готовими до використання супутниковими даними у зручний спосіб, що дозволяє перейти від підготовки даних до власне їх аналізу. Зокрема, Open Geospatial Consortium (OGC) [1] у травні 2023 року анонсував формування робочої групи [2] по розробці стандартів геопросторових даних, готових до аналізу (Analysis Ready Data — ARD). Дана робоча група у партнерстві з ISO/TC 211 [3] працює з багатокomпонентним стандартом для даних, готових до геопросторового аналізу, який спиратиметься на попередню роботу, виконану Комітетом з супутникових спостережень Землі CEOS [4]. Концепція ARD спочатку була розроблена комітетом CEOS, який визначає ARD як «супутникові дані, які були оброблені відповідно до мінімального набору вимог і організовані у форматі, який дозволяє здійснювати як швидкий аналіз із мінімумом додаткових зусиль користувача, так і аналіз часових рядів, а також виконувати злиття з іншими наборами даних». Прийнявши визначення CEOS-ARD як відправну точку, робоча група OGC розширить сферу застосування ARD із супутникових даних на всі геопросторові дані та розробить відповідні стандарти обміну та представлення геопросторової інформації. Використання хмарних платформ для роботи з готовими до аналізу супутниковими даними, таких як Google Earth Engine (GEE) або хмарної платформи CREODIAS, має кілька значних переваг.

- **Масштабованість:** Хмарні платформи надають доступ до потужних обчислювальних ресурсів, що дозволяє обробляти великі обсяги супутникових даних. Можна працювати з великими архівами зображень та проводити складні обчислення без необхідності підтримки власних великих обчислювальних потужностей.

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

- **Швидкість та продуктивність:** Хмарні платформи використовують розподілені обчислення, що дозволяє розподілити завдання обробки даних між кількома серверами. Це забезпечує швидшу обробку даних, оскільки завдання можуть бути виконані паралельно.

- **Зручний доступ до даних:** Завантаження та зберігання великого обсягу супутникових даних може бути складним завданням, якщо для цього використовуються власні ресурси організації або розробника. Хмарні платформи надають централізований доступ до великих архівів даних без необхідності їх локального зберігання, що зручно для спільної роботи та обміну даними з колегами. Формат зберігання ARD-даних у хмарі передбачає можливість вичитки лише цільової частини знімку.

- **Висока доступність:** Хмарні платформи надійні і мають високу доступність, оскільки вони забезпечують резервне копіювання та реплікацію даних на різних серверах. Можна бути впевненим в доступності даних та сервісів в будь-який час.

- **Інтеграція та спільна робота:** Хмарні платформи мають інтегровані інструменти та сервіси, що сприяють спільній роботі, обміну даними та взаємодії між різними користувачами. Вони дозволяють легко обмінюватися результатами, візуалізувати дані та спільно працювати над проєктами.

- **Оновлення та вдосконалення:** Хмарні платформи постійно оновлюються та покращуються, включаючи додавання нових функцій, інструментів та джерел даних. Є доступ до нових можливостей без необхідності самостійного оновлення апаратного забезпечення або програмного забезпечення.

Ці переваги хмарних платформ забезпечують зручний та ефективний спосіб роботи з великими обсягами попередньо оброблених та гармонізованих супутникових даних, дозволяючи швидко виконувати обробку, аналіз та візуалізацію даних без значних обчислювальних ресурсів та сховищ даних на локальному рівні.

1.2. ІНФРАСТРУКТУРА GOOGLE EARTH ENGINE

Google Earth Engine (GEE) - це хмарна платформа, розроблена компанією Google, яка призначена для обробки, аналізу та візуалізації геопросторових даних, зокрема супутникових зображень. GEE поєднує в собі великі обсяги супутникових даних з розподіленими обчисленнями та хмарною інфраструктурою, що

дозволяє виконувати обробку даних великого масштабу безпосередньо в хмарі (рис. 1).

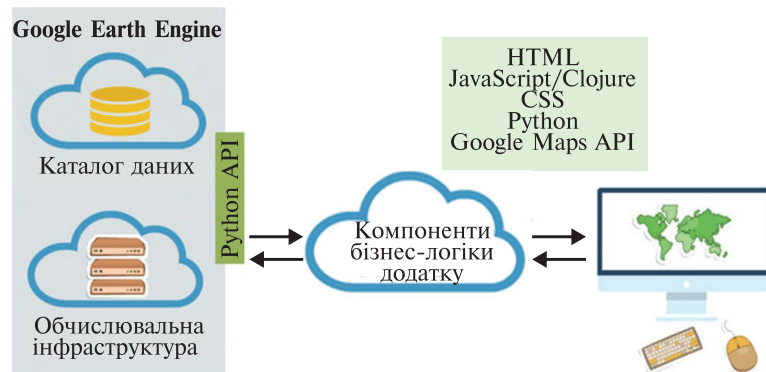


Рис. 1. Інфраструктура GEE для роботи з геопросторовими даними

Основні характеристики та можливості Google Earth Engine включають наступні.

- **Великий обсяг наявних даних.** GEE містить велику кількість супутникових даних з різних джерел, таких як Landsat, Sentinel та MODIS, а також інших джерел. Це дозволяє швидко отримувати доступ до багатогігабайтних архівів зображень та даних про земну поверхню.

- **Хмарна інфраструктура.** GEE використовує хмарну інфраструктуру Google для розподілених обчислень. Це означає, що є можливість обробляти дані безпосередньо на серверах Google, замість завантаження їх в локальну інфраструктуру чи на користувацький комп'ютер. Це забезпечує швидку та ефективну обробку великих обсягів даних.

- **Програмний інтерфейс (API).** GEE надає API для роботи з платформою, яке дозволяє розробникам створювати власні програми та скрипти для доступу до даних і виконання аналізу. API підтримує кілька мов програмування, зокрема JavaScript та Python.

- **Аналіз та обробка даних.** GEE має вбудовані алгоритми для обробки супутникових даних. Це включає розрахунок статистики, класифікацію, фільтрацію, аналіз часових рядів тощо.

- **Візуалізація даних.** GEE надає потужні інструменти для візуалізації супутникових даних. Є можливість створювати зображення, відео, анімацію та використовувати інші візуальні ефекти для представлення даних на карті або в інтерактивному режимі.

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

В інфраструктурі Google Earth Engine (GEE) доступні різні способи роботи з супутниковими даними. Ось деякі з них:

- **Запити з використанням JavaScript або Python.** GEE надає можливість створювати та виконувати запити до попередньо підготовленого каталогу супутникових даних за допомогою мов програмування JavaScript або Python.

- **Вбудовані алгоритми обробки.** GEE має багато вбудованих алгоритмів обробки супутникових даних, які можна використовувати для вилучення додаткової інформації з зображень. Це включає фільтрацію, класифікацію, аналіз часових рядів, отримання індексів (наприклад, NDVI, NDWI) та багато іншого.

- **Візуалізація даних.** GEE має потужні можливості по візуалізації супутникових даних. Можна створювати кольорові зображення, зображення з псевдокольорами, анімацію та інші візуальні ефекти для наочного представлення даних та результатів їх обробки.

- **Обробка великого обсягу даних:** Інфраструктура GEE спеціально розроблена для обробки супутникових даних великого об'єму. GEE використовує розподілені обчислення та хмарну інфраструктуру компанії Google для швидкої та ефективної обробки даних великого обсягу без необхідності їх локального завантаження.

- **Інтеграція з іншими інструментами:** GEE підтримує інтеграцію з різними інструментами та сервісами, включаючи Google Maps API, Google Earth, Google Drive та інші. Це дозволяє легко обмінюватися даними, візуалізувати їх на карті та інтегрувати з іншими проектами. Можна виконувати роботи в онлайн-редакторі в браузері (рис. 2).

GEE надає доступ до широкого переліку супутникових даних і геопросторових даних з різних джерел. Ось кілька прикладів джерел даних, доступних у відкритому каталозі GEE (<https://developers.google.com/earth-engine/datasets/catalog>):

- **Landsat.** Каталог Landsat включає дані різних супутників Landsat, таких як Landsat 5, Landsat 7 та Landsat 8. Ці колекції містять мультиспектральні зображення з високим просторовим розрізненням.

- **Sentinel.** Каталог Sentinel містить дані супутників Sentinel-2 та Sentinel-1. Sentinel-2 надає мультиспектральні зображення з просторовим розрізненням 10 м, а Sentinel-1 надає радарні дані з просторовим розрізненням 10 м.

- **MODIS.** Каталог MODIS містить дані супутників Terra та Aqua, обладнаних інструментом MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer). Ці дані використовуються для спостережень за кліматом, дослідження змін екології та інших глобальних процесів.

- **Landsat Global Archive Consolidation.** Цей каталог містить зображення з Landsat, які були відновлені та виправлені для забезпечення вищої якості даних.

Векторні дані: GEE також має колекцію векторних даних, таких як кордони країн, адміністративні одиниці, гідрографічні дані тощо.

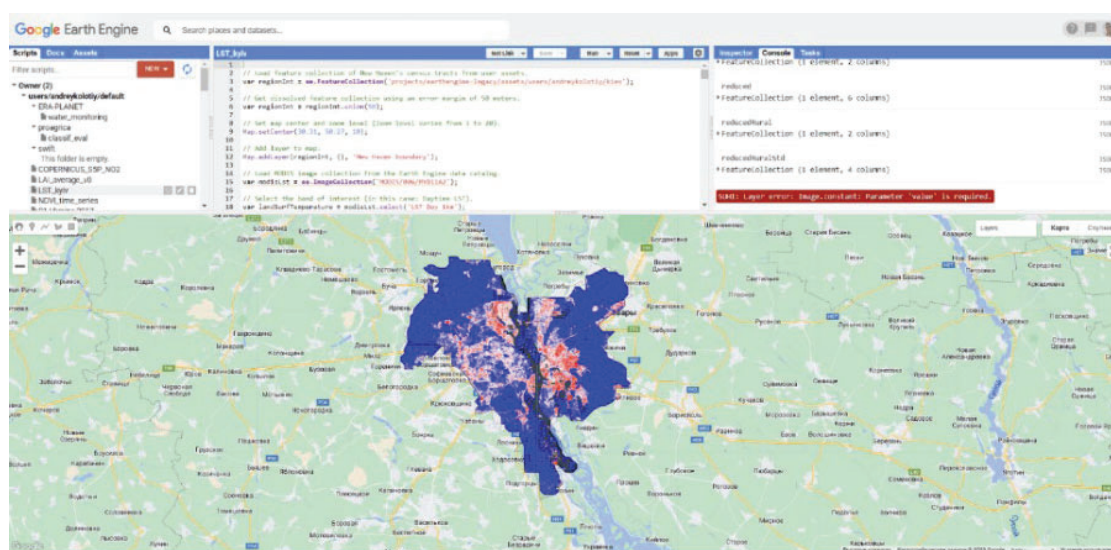


Рис. 2. Редактор коду GEE та приклад візуалізації даних

Каталог даних (рис. 3) постійно оновлюється, і в ньому можуть бути представлені дані з інших джерел, а також спеціалізовані набори даних для конкретних галузей застосування. Користувачі можуть здійснювати пошук та використовувати ці дані в прикладних дослідженнях на платформі GEE.

CREODIAS [6] - це хмарна платформа, розроблена за підтримки Європейського космічного агентства, яка надає користувачам прямий доступ до широкого спектра супутникових даних, зокрема даних від супутників Sentinel Європейської програми Copernicus, Landsat, MODIS та інших геопросторових продуктів. CREODIAS забезпечує доступ до репозиторію даних Copernicus і дозволяє користувачам зберігати, обробляти та аналізувати великі обсяги даних спостереження Землі в хмарному середовищі. Платформа надає оброблені супутникові дані (ARD) з зручним веб-інтерфейсом, полегшуючи доступ до них для дослідників, бізнесу та інших організацій.

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

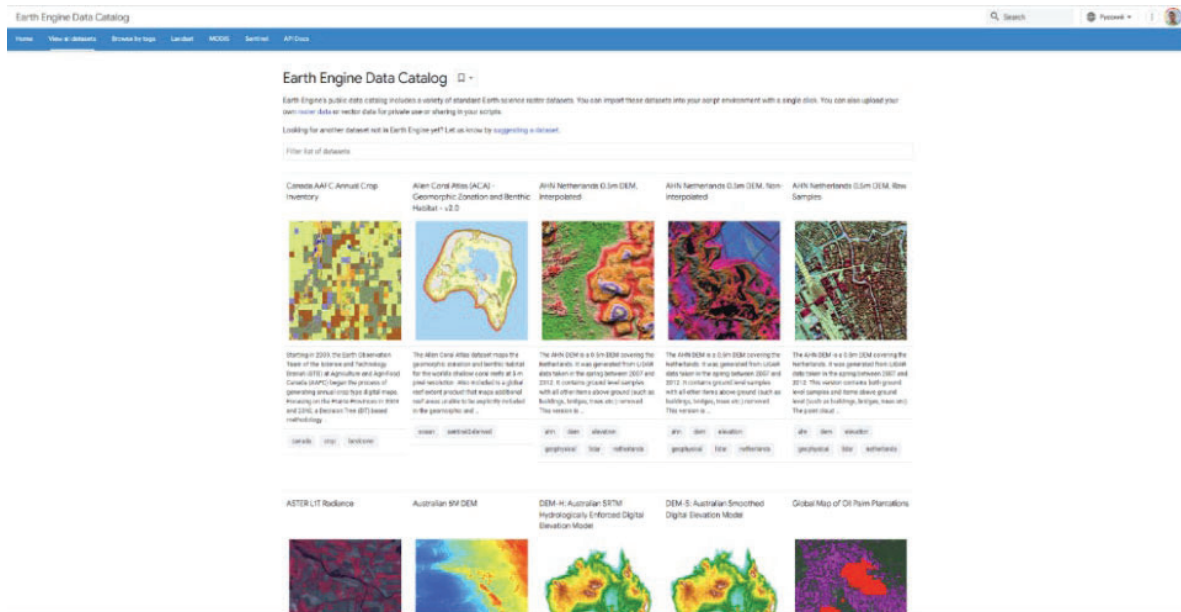


Рис. 3. Каталог даних GEE

1.3. ІНФРАСТРУКТУРА CREODIAS

CREODIAS надає наступні можливості (рис. 4).

- **Доступ до даних.** CREODIAS надає доступ до великої кількості даних спостереження Землі з різних супутників. Ці дані можна використовувати для різних цілей, наприклад для моніторингу землекористування, відстеження зміни клімату та управління природними ресурсами.

- **Обробка даних.** CREODIAS пропонує різноманітні інструменти та сервіси для обробки даних спостереження Землі. Ці інструменти можна використовувати для отримання інформації з даних, такої як розташування об'єктів, ступінь ґрунтового покриття та кількість рослинності.

- **Візуалізація даних.** CREODIAS надає різні засоби візуалізації даних спостереження Землі. Ці інструменти можна використовувати для побудови карт, діаграм та інших представлень.

- **Технічна підтримка.** В межах сервісу підтримки користувачам пропонується технічна підтримка.

- **Документація:** CREODIAS містить детальну документацію, яка може допомогти користувачам дізнатися про платформу, наявні інструменти та послуги.

- **Форуми користувачів.** CREODIAS пропонує набір форумів користувачів, де можна ставити запитання та ділитися інформацією.

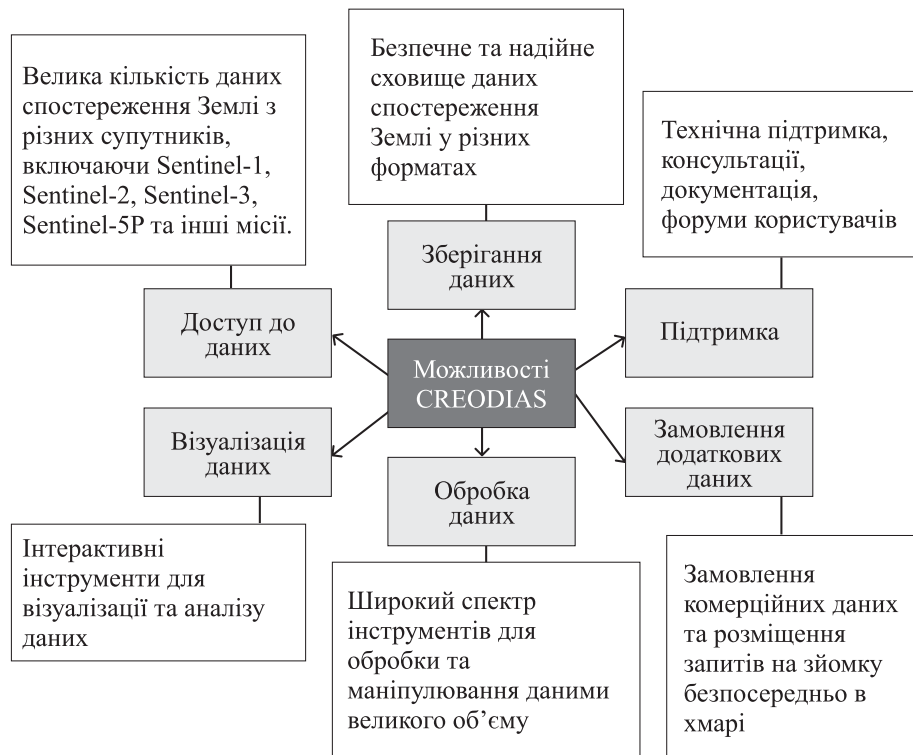


Рис. 4. Можливості хмарної платформи CREODIAS

В каталозі платформи представлені дані наступних супутникових апаратів:

- **Sentinel-1.** Радарні дані просторового розрізнення 10 м, вимірювання висоти поверхні, виявлення змін, вимірювання деформацій та багато іншого.

- **Sentinel-2.** Оптичні дані з просторовим розрізненням 10 м, що включають багатоспектральні зображення, які можуть використовуватись для оцінки вегетації, моніторингу водних ресурсів, класифікації земельного покриття, картографування тощо.

- **Sentinel-3.** Дані про океан, включаючи океанографічні параметри, температуру поверхні моря, стан хвиль, хмарність над поверхнею води, забруднення води та інші показники стану океану.

- **Sentinel-5P.** Дані про атмосферу, включаючи інформацію про розподіл газів, аерозолів, озоновий шар та інші атмосферні параметри.

- **Sentinel-6.** Дані моніторингу океанів, зокрема вимірювання рівня моря, хвиль та інших параметрів води.

- **EUMETSAT.** Дані геостационарних метеорологічних супутників Європейського метеорологічного центру EUMETSAT, включаючи дані з супутників Meteosat та MetOp.

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

Варто також висвітлити деякі ключові особливості платформи CREODIAS (рис. 5), зокрема наступні.

- **Плата за використання та пакетні підписки.** Користувачі можуть вибрати модель ціноутворення, яка найкраще відповідає їх потребам незалежно від того, чи хочуть вони платити за кожне окреме використання платформи чи підписатися на місячний або річний план.

- **Відкритість та сумісність.** платформа CREODIAS є відкритою та сумісною з різними стандартами, що дозволяє компаніям легко інтегрувати її зі іншими існуючими системами.

- **Безкоштовне надання послуг.** Платформа CREODIAS пропонує безкоштовне надання послуг, а саме кожен може отримати до неї доступ та використовувати її в некомерційних цілях.

- **Комерційний модуль для використання сторонніми операторами.** CREODIAS також пропонує комерційний модуль, який надає можливість розгортання власних програм та сервісів на платформі.

Європейська хмарна платформа пропонує зручні інструменти для навігації у великому обсязі супутникових знімків. За допомогою програми EO Browser (рис. 6) [7] можна легко отримати необхідні зображення шляхом простого запиту. Для цього потрібно вказати всього три параметри: ім'я супутникової системи, відсоток хмарності в межах від 0 до 100 та період часу. Отримані результати можна переглядати в режимах True або False Color, а також із застосуванням індексів, таких як NDVI чи EVI, або власних комбінацій каналів. Після пошуку можна зберегти посилання для подальшого обміну результатами, або завантажити зображення без геопросторової прив'язки. Цей засіб особливо корисний для швидкого виконання візуального аналізу конкретної території та порівняльного аналізу різних зображень.

Каталог даних хмарної платформи Creodias доступний за посиланням [8]. Він дозволяє виконувати операції з пошуку за локацією, часовим інтервалом, типом продукту, хмарним покривом (для оптичних даних). Після обробки дані можуть бути скопійовані у файлове сховище користувача.

Data Explorer (рис. 7) [8] — це сервіс, який втілює весь раніше накопичений досвід платформи та її користувачів і відрізняється розширеним функціоналом. За допомогою даного інструменту можна більш детально ознайомитися з наявними продуктами та одночасно використати їх при розв'язанні користувацьких задач.

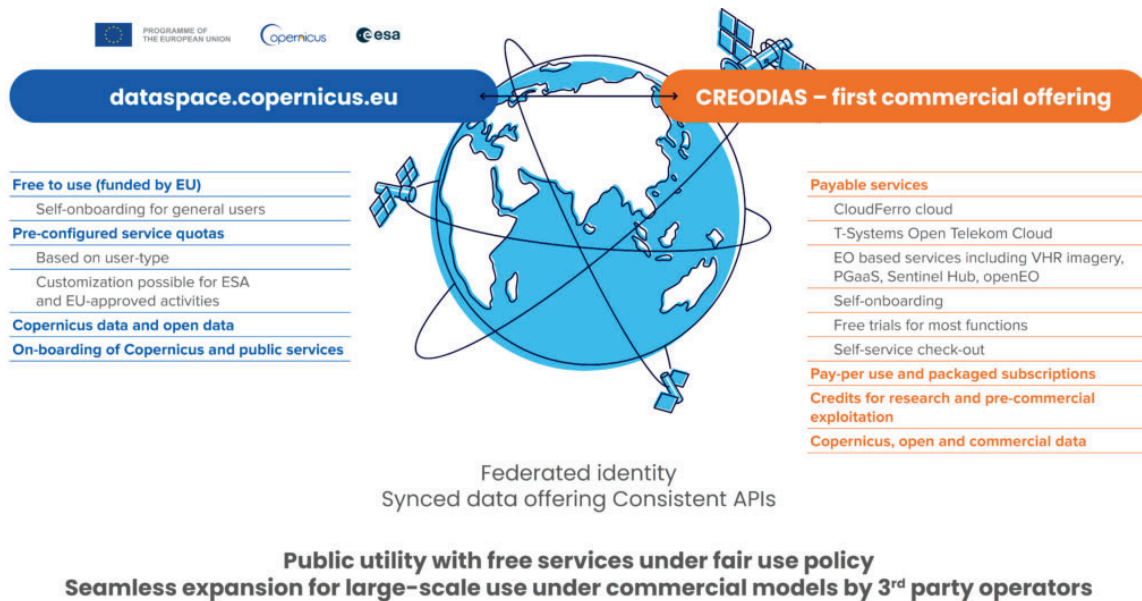


Рис. 5. Особливості хмарної платформи CREODIAS

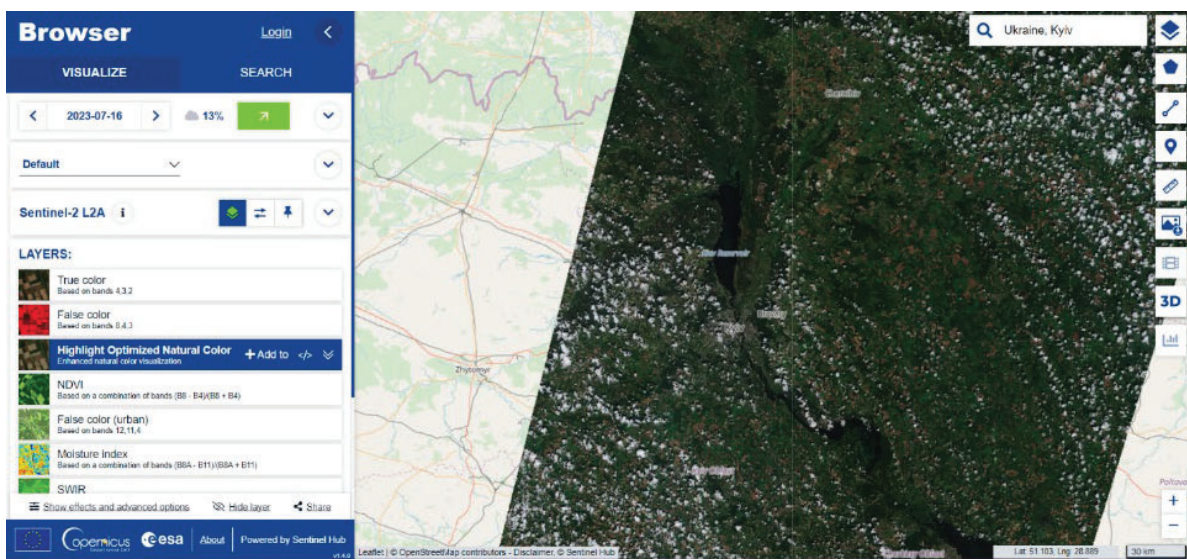


Рис. 6. Сервіс EO Browser

Для роботи з супутниковими даними на платформі CREODIAS можна використовувати API-інтерфейс, який нею надається. API CREODIAS дозволяє отримувати доступ до каталогу даних, здійснювати їх пошук, отримувати метадані та завантажувати безпосередньо самі супутникові дані.

Основними елементами API CREODIAS є наступні.

- **Catalog API:** Цей API дозволяє здійснювати пошук та отримувати інформацію про наявні супутникові дані в інфраструктурі. Є можливість шукати дані за датою,

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

географічними координатами, супутниковим сенсором, типом даних та іншими параметрами. Запити до Catalog API дозволяють знайти необхідні дані для вашого застосування.

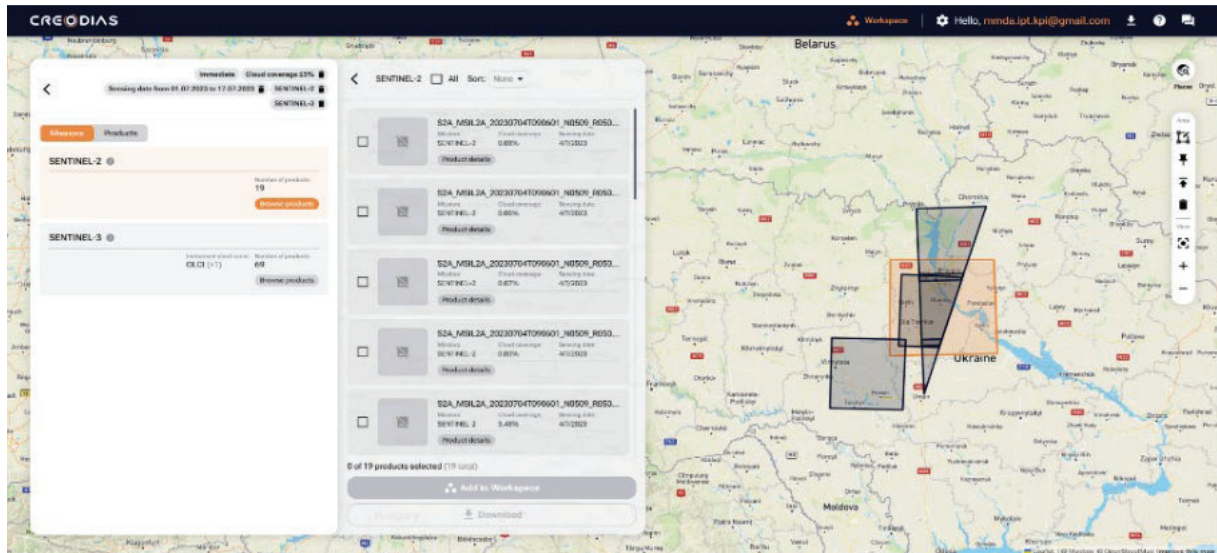


Рис. 7. Data Explorer

- **Download API:** Цей API дозволяє завантажувати супутникові дані. Після пошуку та вибору необхідних даних можна використати інструменти Download API для отримання власне файлів даних. Завантаження може здійснюватися через протокол FTP або за допомогою HTTPS-запиту.

- **Metadata API:** Цей API дозволяє отримати метадані про супутникові дані. Є можливість отримати детальну інформацію про кожний супутниковий знімок, включаючи параметри супутникового сенсора, дату та час зйомки, розміри файлу та інші характеристики. Ця інформація корисна для подальшого аналізу та використання супутникових даних.

Для взаємодії з API CREODIAS можна використовувати різні мови програмування та спеціалізовані бібліотеки. Наприклад, у Python можна використовувати бібліотеки, такі як creodiaspy або sentinelsat, для спрощення комунікації з API та зручного отримання даних.

В платформі присутній також **Horizon Cloud Dashboard** — це Веб-інтерфейс, що дозволяє легко керувати хмарними ресурсами, такими як віртуальні машини, томи сховищ і мережі (рис. 8). Він заснований на відкритому ПЗ OpenStack. Завдяки цьому інструменту, користувачі можуть швидко створювати і налаштовувати нові віртуальні машини з різними операційними системами, змінювати параметри, наприклад, об'єм SSD-диска,

або змінювати об'єм оперативної пам'яті та кількість ядер CPU. Через цей інтерфейс надається також доступ до різних хмарних послуг, таких як сховище об'єктів, бази даних і засоби балансування навантаження. Horizon Cloud Dashboard є потужним інструментом керування хмарними ресурсами. Це ідеальний вибір для організацій, що шукають масштабовану та надійну хмарну платформу з відкритим кодом.

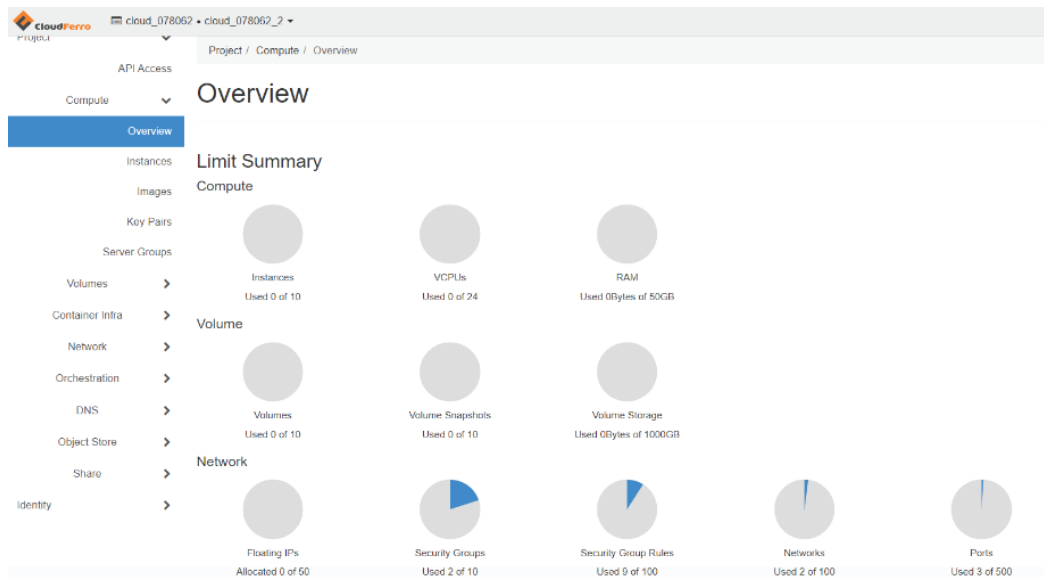


Рис. 8. Horizon Cloud Management Panel

На віртуальних обчислювальних ресурсах, доступних в інфраструктурі CREODIAS, є можливість працювати з геопросторовими даними, які зберігаються у хмарі, напряму (рис. 9).

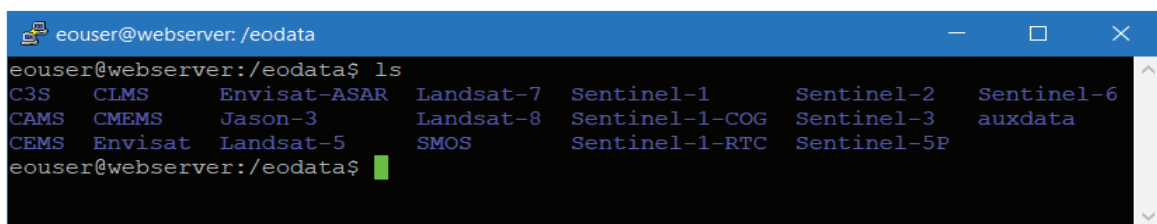


Рис. 9. Каталог даних на хмарному обчислювальному сервері CREODIAS

ВИСНОВКИ

В даному розділі проаналізовано сучасні хмарні платформи обробки геопросторових даних Google Earth Engine та CREODIAS. Вони дозволяють використовувати великі обсяги гармонізованих

4.1. Сучасні підходи до злиття та гармонізації різнорідних геопросторових...

даних, готових для подальшого аналізу, та потужну обчислювальну інфраструктуру. Сучасні хмарні платформи, які містять як обчислювальну інфраструктуру, так і каталоги гармонізованих готових до використання супутникових даних (Analysis ready data — ARD) стали невід’ємною частиною сучасного геопросторового аналізу та складовою парадигми, яка передбачає зміщення фокусу уваги на дослідження, а не на зусилля з попередньої підготовки даних. Хмарні платформи надають можливості масштабування обчислювальної інфраструктури, зручний доступ до даних, можливості інтеграції та спільної роботи. Широкий спектр даних, масштабовані обчислювальні потужності дозволяють швидко та ефективно організовувати роботу з геопросторовими даними.

Хмарні платформи дозволяють ефективно розв’язувати складні задачі обробки геопросторових даних без витрат на створення власної ІТ-інфраструктури [9–12]. Використання хмарних платформ є перспективним напрямком для розробки інформаційних систем геопросторового аналізу [13–15].

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Консорціум по розробці стандартів обміну геопросторовою інформацією OGC. [Електронний ресурс]. Режим доступу до ресурсу: <https://www.ogc.org/>.

2. Робоча група OGC щодо стандартів ARD [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.ogc.org/press-release/ogc-forms-new-analysis-ready-data-standards-working-group/>.

3. Технічний комітет по стандартизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iso.org/committee/54904.html>.

4. Комітет CEOS. URL: <https://ceos.org/>.

5. Google Earth Engine CEOS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://earthengine.google.com/>.

6. Хмарна платформа CREODIAS. URL: [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://creodias.eu/>.

7. Сервіс EO Browser платформи CREODIAS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://browser.creodias.eu/>.

8. Сервіс Data Explorer платформи CREODIAS. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://explore.creodias.eu/>.

9. Kussul, N., Shelestov, A., Yailymov, B. та ін. Cloud Platforms and Technologies for Big Satellite Data Processing. In: Dovgyi, S.,

Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. vol 809. Springer, Cham. pp. 303–321. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_19

10. Shelestov, A., Saliy, Y., Hordiiko та ін., N. Current Advances on Cloud-Based Distributed Computing for Forest Monitoring, Yailymova, H. In: Dovgyi, S., Trofymchuk, O., Ustimenko, V., Globa, L. (eds) Information and Communication Technologies and Sustainable Development. ICT&SD 2022. Lecture Notes in Networks and Systems, 2023. vol 809. Springer, Cham. pp. 322–336. https://doi.org/10.1007/978-3-031-46880-3_20.

11. B. Yailymov, A. Shelestov, H. Yailymova та ін. Google Earth Engine Framework for Satellite Data-Driven Wildfire Monitoring in Ukraine, In: Fire. 2023; 6(11):411. <https://doi.org/10.3390/fire6110411>.

12. N. Kussul, S. Drozd, H. Yailymova et. al. Assessing damage to agricultural fields from military actions in Ukraine: An integrated approach using statistical indicators and machine learning // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, Dec. 2023, Vol 125, 103562, pp. 1-21, <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103562>.

13. Kuzin V., Shelestov A., Musial J. EO4UA initiative: scientific European Support of Ukrainian scientific community // In: *12th International Conference on Dependable Systems, Services and Technologies (DESSERT'2022), December 9-11, 2022, Greece, Athens*. DOI: 10.1109/DESSERT58054.2022.10018706.

14. A. Shelestov, B. Yailymov, H. Yailymova et al. Cloud-Based Technologies for Data Processing in Ukraine: International Context, // In: Ilchenko, M., Uryvsky, L., Globa, L. (eds) Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems. MCiT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 548. Springer, Cham. pp. 101–118. DOI: 10.1007/978-3-031-16368-5_5.

15. L. Shumilo, S. Drozd, N. Kussul et.al. Mathematical Models and Informational Technologies of Crop Yield Forecasting in Cloud Environment // In: Ilchenko, M., Uryvsky, L., Globa, L. (eds) Progress in Advanced Information and Communication Technology and Systems. MCiT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, vol 548. Springer, Cham. pp. 143–164. DOI: 10.1007/978-3-031-16368-5_7.