

УДК 004.7

Сервіс-орієнтована інфраструктура моніторингу повеней за супутниковими даними

А.Ю. Шелестов, Н.М. Куцусь, С.В. Скакун, А.І. Міронов
Інститут космічних досліджень НАН-НКАУ
inform@ikd.kiev.ua

Abstract

A. Shelestov, N. Kussul, S. Skakun, A. Mironov. Service-Oriented Infrastructure for Flood Monitoring Using Satellite Data. We present a service-oriented infrastructure that enables fast and effective access, processing and presentation of geospatial data. These data are used for environmental and natural disasters monitoring.

Вступ

Значне збільшення кількості природних надзвичайних ситуацій за останні роки продемонструвало людству важливість моніторингу та попередження природних небезпек для захисту навколишнього середовища та населення. Зміни клімату призвели до збільшення інтенсивності злив та ураганів, повеней, посух та інших погодних аномалій. В звіті [1], підготовленому за сприянням Організація Об'єднаних Націй (ООН), зазначається значне збільшення кількості надзвичайних ситуацій за останні роки. Так, наприклад, за 2007 рік сталося 414 природних надзвичайних ситуацій, які призвели до загибелі 16847 людей та збитків на суму більше 70 млрд. дол. США. В звіті також відзначається, що більшу частину природних надзвичайних ситуацій (більше половини) складають гідрометеорологічні явища — повені та зсуви ґрунтів, обумовлені опадами. Причому за останнє десятиріччя кількість таких лих збільшується в середньому на 7,4% щорічно.

Україна є також вразливою до повеней особливо в Західному регіоні, де повені спостерігаються майже кожного року. Наприклад, під час повені в 2008 році в Західних регіонах України загинуло 34 людини, близько 25000 людей було евакуйовано. Збитки завдані повенями оцінюються в 3-4 млрд. грн. Іншим стихійним лихом, яке завдає значних втрат економіці України, є посухи. Весною та влітку 2007 року південні регіони України постраждали від значної посухи. За даними Міністерства надзвичайних ситуацій України внаслідок посухи було знищено повністю посівів площею близько 1400 тис. га (16% загибелі до посівної площі) та сталося масове пошкодження посівів сільськогосподарських культур загальною площею близько 8500 тис. га. Сума завданих

збитків становить понад 450 млн. гривень (надзвичайна ситуація державного рівня).

За оцінками спеціалістів з США, залучення даних дистанційного зондування Землі дозволяє зменшити затрати на моніторинг зрошуваних земель більш ніж на 80% порівняно з наземними методами [2].

На сьогоднішній день попередження та моніторинг надзвичайних ситуацій неможливі без залучення даних спостереження Землі з космосу. Існує ряд міжнародних ініціатив, які спрямовані на використання супутникових даних для попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій та екстреного реагування. До них слід віднести міжнародну «систему систем» GEOSS, Міжнародну хартію по космосу та великим катастрофам, Партнерство по Комплексній стратегії глобальних спостережень, Глобальний моніторинг в інтересах охорони навколишнього середовища та безпеки (GMES), Програму попередження та зменшення наслідків стихійних лих Всесвітньої метеорологічної організації, платформа ООН UN-SPIDER, міжнародну ініціатива International Charter "Space and Major Disasters". Існують також такі ініціативи, як RESPOND-GMES та UNOSAT, які надають комерційні інформаційні продукти для прийняття рішень (заходів) при надзвичайних ситуаціях.

Важливим аспектом при використанні супутникових даних в умовах виникнення надзвичайних ситуацій є оперативність отримання та обробки даних та надання відповідних інформаційних продуктів кінцевим користувачам. Наприклад, під час повені в 2008 р. на Західній Україні виявилось неможливим забезпечити оперативний прийом даних з зарубіжних супутників, які б дозволили швидко оцінити масштаби катастрофи та скоординувати зусилля для її ліквідації.

Тому Інститут космічних досліджень НАНУ-НКАУ ініціював виконання науково-технічного проекту зі створення сучасної геоінформаційної інфраструктури екологічного

моніторингу довкілля та надзвичайних ситуацій. Метою науково-технічного проекту стало створення геоінформаційної інфраструктури для забезпечення швидкого та ефективного доступу, обробки та представлення геопросторової інформації з метою моніторингу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій. В рамках інформаційної інфраструктури впроваджені сервіси оцінки площ затоплених територій та стану рослинності за даними супутникового спостереження. Зазначені сервіси впроваджені в межах системи GEO-Ukraine, платформи ООН UN-SPIDER та пілотного проекту Caribbean Flood Pilot, що розробляється в межах системи GEOSS.

Загальна архітектура системи автоматичної обробки даних супутника ENVISAT

В межах геоінформаційної інфраструктури забезпечено автоматизований цикл отримання, обробки та візуалізації радіолокаційних супутникових даних ENVISAT/ASAR з метою швидкого картографування затоплених повенями територій. Для доступу до супутникових даних Європейського космічного агентства (ЄКА) створено графічний інтерфейс користувача (портал) та програмні інтерфейси. В архівах ЄКА дані зберігаються протягом 1-2 годин з моменту їх отримання. Реалізація відповідних інтерфейсів дозволила оперативно (1-3 годин) отримувати необхідні дані, які використовуються для створення інформаційних продуктів щодо оцінки площ затоплених територій. В якості вхідної інформації задаються координати території, де відбувається (відбудеться) надзвичайна ситуація (повені). В результаті знаходиться перелік відповідних зображень. Отримані дані зберігаються в межах Grid-інфраструктури, яка створена в ІКД НАНУ-НКАУ та ІК НАНУ Для підвищення ефективності обробки даних автоматизований цикл реалізовано в межах Grid-середовища. В результаті виконання автоматизованого циклу надаються інформаційні продукти для прийняття рішень (заходів) при надзвичайних ситуація. Для цього використовуються міжнародні стандарти OGC та INSPIRE. Інформація щодо затоплень надається у вигляді карт, через мережу Internet та систему Google Earth (файли KML).

Розглянемо сервіси, реалізовані в межах геоінформаційної інфраструктури для виконання автоматизованого циклу обробки супутникових даних (рис. 1).

Точкою входу у систему є *портал*. Портал забезпечує прозору для користувача взаємодію з ресурсами різного рівня, дозволяючи за власноруч створеним запитом отримати оброблені супутникові дані, що покривають потрібну територію. Портал безпосередньо зв'язаний з сервісами вищого рівня. До них відносяться:

- підсистема безпеки;
- каталог даних;
- метадані (опис, доступність);
- сервіс автоматичного генерування workflow;
- сервіс агрегації, вибору та візуалізації даних.

Високорівневі сервіси, що потребують використання значних обчислювальних ресурсів, взаємодіють із сервісами нижчого рівня, які реалізовані в межах Grid-інфраструктури [3-4]. Ці сервіси призначені для планування та розподілу задач, що виконуються, на обчислювальних ресурсах.

— Grid-інфраструктура включає наступні компоненти:

- інфраструктура безпеки Grid (GSD);
- підтримка протоколу передачі даних Grid (GridFTP);
- управління та призначення Grid-ресурсів (GRAM);
- система збереження сертифікатів та управління повноваженнями (MyProxy);
- система визначення місцезнаходження реплік (RLS);
- система організації спільного доступу до даних (OGSA-DAI).

Найнижчим рівнем у ієрархії сервісів є сервери програмного забезпечення та бази даних. До них відносяться:

- Віддалене сховище даних.
- Операційне сховище даних.
- Системи обчислення.
- Сервери баз даних.

Стандартизованість та сумісність різнорівневих компонентів дозволяє за потреби масштабувати систему, не перешкоджаючи її керованості. Складність взаємодії окремих підсистем є прихованими від кінцевого користувача.

Високорівневі сервіси

Підсистема безпеки. Підсистема безпеки призначена для встановлення ідентифікації клієнта (аутентифікації) та керування правами доступу (авторизації). Основою для функціонування підсистеми безпеки є система користувацьких сертифікатів. Сучасні криптографічні алгоритми дозволяють перевірити аутентичність користувача з невеликими затратами. Єдиною умовою для надійності процесу в цілому є довіра до органу, що видає сертифікати (сертифікаційного центру). Сертифікаційні центри є публічно відомими та є суб'єктом постійного контролю за репутацією.

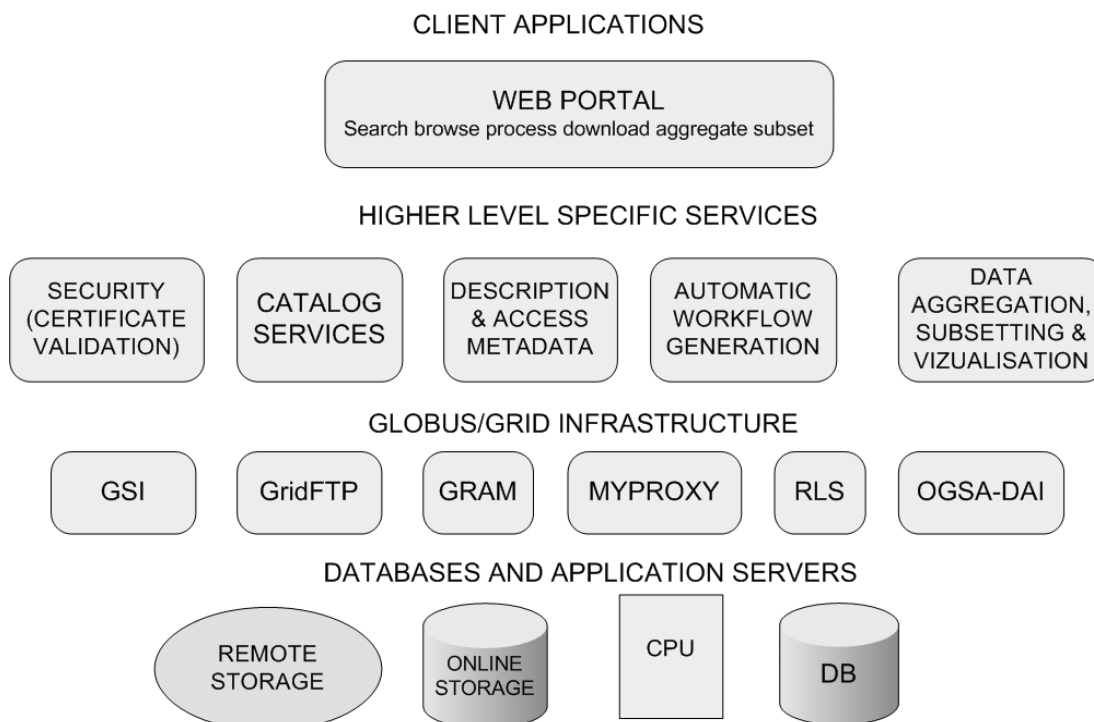


Рисунок 1 — Перелік сервісів в межах розробленої геоінформаційної інфраструктури

Каталог даних. Супутникові дані зберігаються на ресурсах Grid-інфраструктури. Для пошуку та отримання доступу до даних створено відповідні сервіси.

Метадані. В межах порталу користувачеві надаються можливості по пошуку та вибору необхідних супутникових даних. Для цього використовуються метадані, які зберігаються в каталозі метаданих. Серед важливої інформації, яка використовується при пошуку, належить ім'я файлу, дата зйомки, географічне покриття, режим зйомки (Wide Swath Mode — WSM, Image Mode — IM, Alternating Polarization Mode — APM). За запитом серверної підсистеми дана підсистема формує відповідь, яка використовується для відображення на порталі необхідної інформації.

Сервіс автоматичного генерування потоку виконання задач. Різні компоненти, які відповідають за кроки передобробки, обробки та візуалізації геопросторових даних, об'єднані в межах єдиного циклу автоматизованої обробки. Для підвищення ефективності обробки даних цей цикл реалізовано в межах Grid-середовища. Крім того, створено паралельну версію алгоритму тематичної обробки супутникових зображень. Паралелізацію виконано в такий спосіб: вихідне супутникове зображення автоматично розбивається на рівномірні частини, які обробляються на різних обчислювальних вузлах з використанням інтерфейсу OpenMP Application Program Interface (www.openmp.org). Для управління циклом обробки використано стандартні засоби для роботи з потоком виконання задач в Grid-системах (мова Karajan). Використання паралельної версії дозволило

зменшити час необхідний для виконання обчислень з 30 хв. на одному обчислювальному вузлі до менше 1 хв. в межах Grid-системи.

Сервіс агрегації, вибору та візуалізації даних. Результати обробки даних необхідно представити у вигляді, доступному для використання у широко розповсюдженому програмному забезпеченні. Для цього використовуються міжнародні стандарти візуалізації та представлення інформації (KML, WMS, ESRI shape). Сервіс агрегації, вибору та візуалізації даних призначений для трансформації внутрішнього представлення результатів обробки даних у загальнодоступний формат.

Сервісу Grid-інфраструктури

Інфраструктура безпеки Grid (GSI). Інфраструктура безпеки Grid забезпечує виконання політик доступу до даних, специфічну для Grid-систем. Кожна взаємодія в межах інфраструктури потребує двосторонньої аутентифікації: клієнт має переконатися, що сервер є тим, за кого себе видає, та навпаки. Для цього також використовуються сертифікати (користувацькі та серверні), підписані довіреним сертифікаційним центром.

Специфічною для Grid-систем є концепція делегування прав від користувача до сервера. Для проведення обчислень сервер повинен мати можливість виконувати дії від імені користувача. Реалізується це за допомогою короткострокових проксі-сертифікатів. Їх використання дозволяє досягнути гнучкості, зберігаючи безпеку.

Підтримка протоколу передачі даних

Grid (GridFTP). Обмін даними між вузлами Grid-інфраструктури здійснюється за певним протоколом, який являє собою розширення стандартних протоколів передачі даних. Необхідність розширення стандартних протоколів викликана, по-перше, вимогами до швидкої передачі даних великих об'ємів, і, по-друге, вимогами до безпеки системи в цілому. Надійність та доступність збережених даних забезпечується за рахунок використання сховищ великого об'єму.

Управління та призначення Grid-ресурсів (GRAM). В умовах високої завантаженості важливо оптимально використовувати наявні ресурси. За розподілення задача між обчислювальними ресурсами відповідає окрема підсистема. Вона зберігає та аналізує інформацію про поточне завантаження ресурсів і приймає рішення щодо умов виконання задач, що надходять. Компонентам, що використовують GRAM, надається прозорий інтерфейс для запуску задач і отримання результатів їх виконання.

Система збереження сертифікатів та управління повноваженнями (MyProxу). Незважаючи на принципову загальнодоступність сервісу, існують обмеження, пов'язані з необхідністю наявності у користувача його особистого сертифікату при здійсненні запиту до системи. Для того, щоб полегшити використання однією особою або компонентом системи ресурсів з різних місць, введений окремий сервіс, що керує повноваженнями. Клієнт, переконавшись у аутентичності сервісу, може передати йому повноваження, використовуючи свій сертифікат. Ця делегація повноважень обмежена у часі, але є достатньо довгою для зручної роботи (як правило, один-два тижні). Протягом цього часу користувач може безпечно використовувати Grid-сервіси від свого імені, не маючи безпосереднього доступу до власного сертифікату, за тієї умови, що використовувані сервіси довіряють серверу MyProxу.

Система визначення місцезнаходження реплік (RLS). Сервіс RLS працює у зв'язці з GridFTP та створює більш високий рівень абстракції для роботи зі збереженням даних. Сервіс дозволяє отримувати доступ до даних за системою імен, що є незалежною від фізичного місцезнаходження даних. Користувач згідно з цією схемою є ізольованим від деталей розподілення даних по ресурсам. Сервіс дозволяє отримати меншу затримку при доступі к даним у разі використання реплікацій за рахунок автоматичного вибору найближчої репліки.

Система організації спільного доступу до даних (OGSA-DAI). Сервіс OGSA-DAI призначений для уніфікації доступу до даних, що зберігаються у багатьох місцях та у різних форматах. Цей сервіс дозволяє трансформувати дані із однієї форми представлення у іншу,

інтегрувати дані з різних джерел у єдину базу та надавати дані кінцевим користувачам за допомогою загальноживаних механізмів передачі даних.

Сервери програмного забезпечення та баз даних. *Віддалене сховище* дозволяє ефективно зберігати дані, які є важливими, але не потребують швидкого операційного доступу. Дані зберігаються на спеціалізованому обладнанні, налаштування якого передбачає автоматичне створення резервних копій та підтримку надлишковості збережуваних даних. Для зберігання поточних та проміжних результатів необхідне *операційне* сховище, яке буде створювати мінімальну затримку при збереженні та доступі до даних. Таке сховище є спільним для декількох сервісів. Воно фізично розташоване окремо і доступне через мережу, але робота з ним ідентична роботі з локальною файловою системою.

Система високопродуктивних обчислень. Для обчислень використовуються вузли високопродуктивного кластеру. Кластер налаштований таким чином, щоб завдання, які надходять для обчислень, не конкурували при доступі до спільних ресурсів. Локальний планувальник кластеру відповідає за організацію роботи з чергою завдань, обліком результатів та веденням статистики.

Сервери баз даних. Через значні вимоги до об'єму даних вони зберігаються на окремих ресурсах. Для зберігання використовуються спеціальні структури даних та відповідним чином побудовані індекси, що дозволяють швидко знайти необхідну підвбірку даних з великого об'єму.

Wide Area Grid — InterGrid-інфраструктура для моніторингу повеней

Метою впровадження архітектури WAG (Wide Area Grid) є об'єднання взаємодоповнюючих ресурсів Інституту космічних досліджень НАНУ-НКАУ та центру Center for Earth Observation and Digital Earth (CEODE) Китайської академії наук. Зокрема, українська сторона надає інформаційні продукти щодо затоплених територій з використанням радіолокаційних даних супутника ENVISAT/ASAR. В той час як китайська сторона надає інформаційні продукти з використанням оптичних спостережень супутників Terra та Aqua (прилад MODIS). Загальна архітектура інфраструктури наведена на рис. 2.

Портали. Безпосередньо з сервісами спільного використання даних взаємодіють портали кожної з організацій. Портали здатні повноцінно функціонувати окремо один від одного. Надбудовані над порталами сервіси дозволяють проводити оперативну взаємодію між

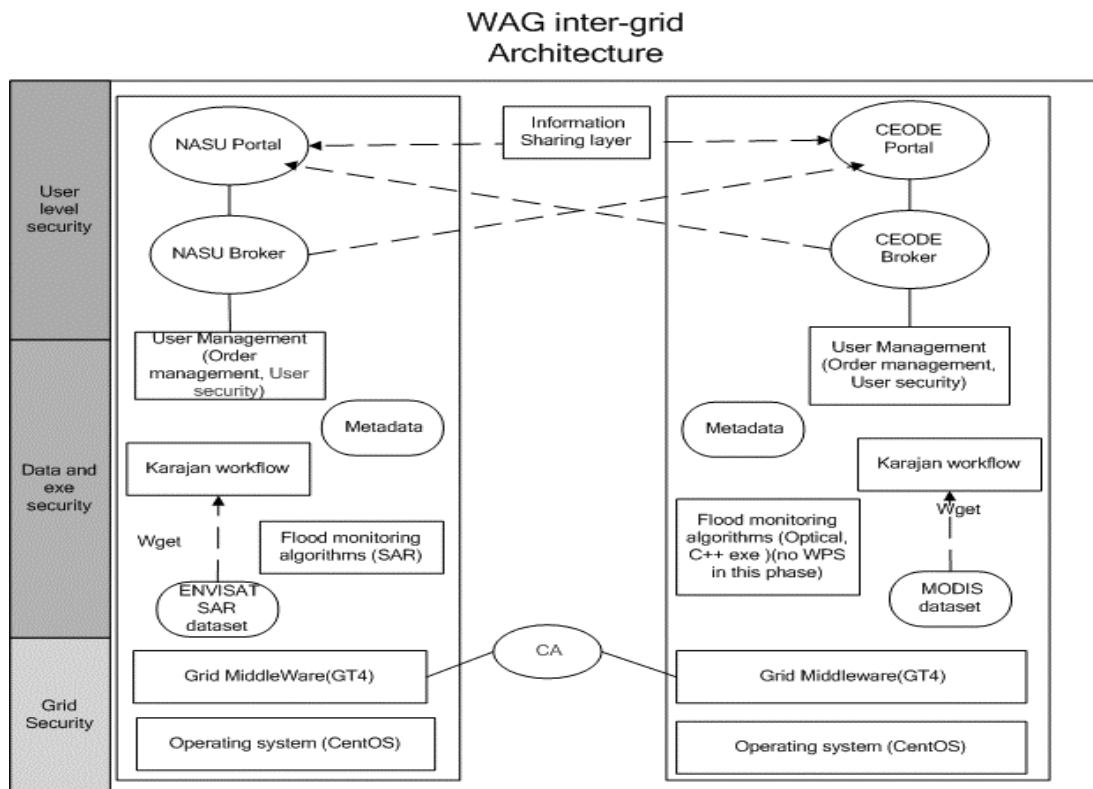


Рисунок 2 — Архітектура WAG

ними безпосередньо після отримання користувацького запиту.

Брокери. Портали організацій взаємодіють з відповідними системами через *брокер*. Так, для отримання метаданих про радіолокаційні дані, генерації та виконання автоматизованого циклу обробки даних ENVISAT/ASAR, портал CEODE створює запит брокеру, який знаходиться на ресурсах ІКД НАНУ-НКАУ. Отримуючи запит, брокер виконує пошук даних і повертає перелік знайдених даних для відображення на порталі CEODE. Після того, як користувач вибрав дані, знову генерується запит брокеру для генерації автоматизованого потоку виконання задач. Варто відзначити, що брокер транслює зовнішні запити і ініціює та викликає локальні сервіси на ресурсах ІКД НАНУ-НКАУ. Обробка радіолокаційних даних здійснюється з використанням інтелектуальної

методології, описаної в [5]. Проміжні та кінцеві результати обробки зберігаються на ресурсах ІКД НАНУ-НКАУ. Кінцеві геоінформаційні продукти надаються на портал CEODE з використанням стандартів OGC WMS та KML.

Аналогічним чином працює брокер на ресурсах CEODE. Він транслює запити, отримані від порталу ІКД НАНУ-НКАУ для ініціалізації та виклику локальних сервісів щодо отримання, обробки та візуалізації даних приладу MODIS супутників Terra та Aqua.

Підсистеми керування обліком користувачів. Для доступу для ресурсів системи користувачеві необхідно отримати відповідний сертифікат. Сервер управління сертифікатами (VOMS — Virtual Organisation Management Server) знаходиться на ресурсах ІКД НАНУ-НКАУ. Система моніторингу відслідковує всі запити, зроблені користувачами.

Інтеграція Grid-інфраструктур. Обчислювальні ресурси кожної з організацій поєднані з використанням безпечних механізмів аутентифікації сервісів. Це можливо завдяки наявності сертифікатів, підписаним центром сертифікації, який визнається обома організаціями. Для інтеграції ресурсів української та китайської сторони розроблено брокери, які транслюють зовнішні запити для виконання локальних сервісів.

В процесі автоматичної обробки даних користувач може перевірити статус виконання кожного кроку, натиснувши кнопку. Після виконання всіх етапів обробки з'являється посилання на файли візуалізації результатів обробки.

Обробка радіолокаційних супутникових даних через портал

Розглянемо процес пошуку та обробки радіолокаційних супутникових даних, а також візуалізації результатів обробки через портал

геоінформаційної інфраструктури. Відповідна діаграма послідовностей представлена на рис. 3.

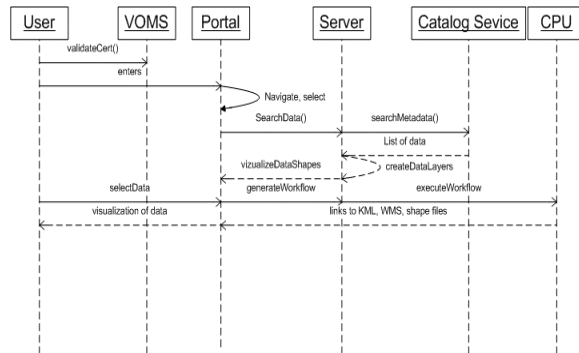


Рисунок 3 — Діаграма послідовностей

1. Для отримання доступу до ресурсів системи користувачеві необхідно отримати сертифікат через систему VOMS. Сертифікат містить інформацію про належність користувача до віртуальної організації та його роль у ній. Після отримання сертифікату користувач отримує доступ до сервісів порталу.

2. Портал надає користувачеві можливості навігації, масштабування та вибору області пошуку. Користувач вводить параметри пошуку: дату зйомки та географічний регіон і натискає кнопку «Search» («Пошук»).

3. Запит користувача надсилається серверу, який звертається до сервісів каталогу. Даний сервіс виконує пошук даних в каталозі метаданих і повертає список супутникових даних, які відповідають критерію пошуку.

4. Згенерований список даних та відповідні області зображень відображаються на порталі в інтерактивному режимі (рис. 4).

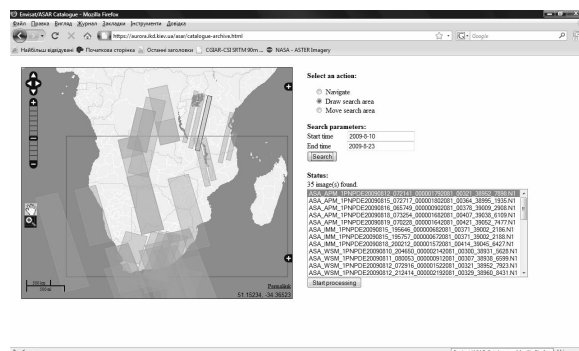


Рисунок 4 — Відображення результатів пошуку

5. Користувач вибирає файл для обробки в Grid-системі і натискає кнопку «Start processing» («Обробка»).

6. В Grid-системі автоматично генерується файл потоку виконання завдань Karajan (рис. 5). Даний файл створюється у форматі xml, містить всі кроки виконання обробки і виконується в Grid-середовищі. Наведемо приклад такого файлу:

```

<project>
<include file="cogkit.xml"/>
<set name="filename" value="ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626.N1"/><set name="wget" value="wget"/>
<set name="arg-transfer" value="-c -N --tries=10 --progress=dot:mega --user=asasur --password=asa1sra -o /1/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/wget.log -P /home/serg/neural-flooding/gfs/data/ http://oes.esa.int/ASA/{filename}"/>
<sequential>
<execute executable="{wget}" arguments="{arg-transfer}" redirect="true" provider="local"/>
<set name="fix" value="/usr/bin/python"/>
<set name="arg-fix" value="/bin/fix-envisat-file.py /data/{filename} /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed.tif"/>
<execute executable="{fix}" arguments="{arg-fix}" redirect="true" provider="local"/>
<set name="nn" value="/bin/flood-extent"/>
<set name="arg-nn" value="/path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed.tif /bin/FL3X3C-asar.COD 9 36 /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map.tif"/>
<execute executable="{nn}" arguments="{arg-nn}" redirect="true" provider="local"/>
<set name="geo" value="/usr/bin/python"/>
<set name="arg-geo" value="/bin/geocoding.py /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map.tif /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map-ll.tif"/>
<execute executable="{geo}" arguments="{arg-geo}" redirect="true" provider="local"/>
<set name="color" value="/usr/bin/python"/>
<set name="arg-color" value="/bin/create-rgb.py /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map-ll.tif /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map-ll-rgb.tif"/>
<execute executable="{color}" arguments="{arg-color}" redirect="true" provider="local"/>
<set name="kml" value="/usr/bin/python"/>
<set name="arg-kml" value="/bin/gdal2tiles.py -forcekml /path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_00002692084_00405_40539_6626/{filename}-fixed-map-ll-rgb.tif
    
```

```
/path/ASA_WSM_1PNPDE20091201_040006_000  
002692084_00405_40539_6626/kml"/>  
    <execute          executable="{kml}"  
arguments="{arg-kml}"          redirect="true"  
provider="local"/>  
</sequential>  
</project>
```

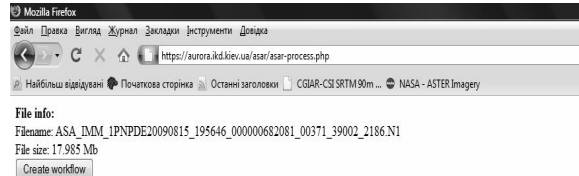


Рисунок 5 — Генерація потоку виконання завдань

7. Користувач може перевірити статус виконання кожного кроку, натиснувши кнопку «Refresh» («Оновити») (рис. 6).

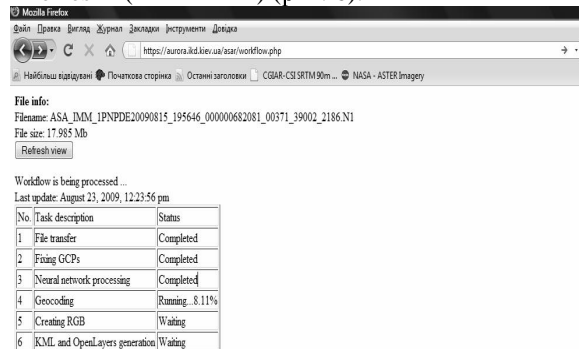


Рисунок 6 — Статус виконання завдання в Grid-середовищі

8. Після виконання всіх етапів обробки з'являється посилання на файли візуалізації результатів обробки (рис. 7).

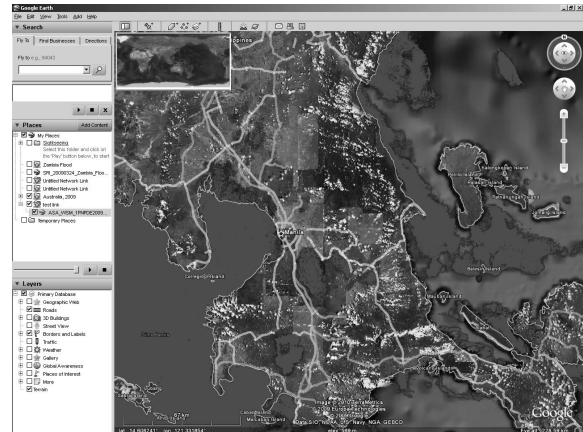


Рисунок 7 — Візуалізація результатів обробки в Google Earth

Висновки

В результаті виконання проекту створено геоінформаційну інфраструктуру, яка забезпечує швидкий та ефективний доступ, обробку та представлення геопросторової інформації з метою моніторингу навколишнього середовища та надзвичайних ситуацій, зокрема повеней. В межах виконання даного науково-технічного проекту розроблено автоматизований цикл обробки радіолокаційних даних супутника ENVISAT/ASAR та впроваджено інформаційні продукти щодо оцінки площ затоплених територій.

Даний проект виконувався у тісній співпраці з міжнародними організаціями UN-SPIDER та NASA, які виступали партнерами проекту, надаючи доступ до супутникових даних при виникненні надзвичайних ситуацій. За результатами виконання проекту в Державному департаменті інтелектуальної власності зареєстровано авторське право на комп'ютерну програму автоматичного картографування повеней на основі радіолокаційних супутникових даних ENVISAT.

Література

1. Scheuren J-M., le Polain de Waroux O., Below R., Guha-Sapir D., Ponserre S. Annual Disaster Statistical Review – The Number and Trends 2007 // Center for Research of the Epidemiology of Disasters (CRED), Jacoffsaeet Printers, Melin, Belgium. — 2008.
2. Morse A., Kramber W.J., Allen R.G. Cost Comparison for Monitoring Irrigation Water Use: Landsat Thermal Data Versus Power consumption Data // Proceedings of the 17th William T. Pecora Memorial Remote Sensing Symposium. — 2008. — Denver, CO, USA.
3. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Grid System for Flood Extent Extraction from Satellite Images // Earth Science Informatics. — 2008. — Vol. 1, No. 3. — P. 105-117.
4. Kussul N., Shelestov A., Skakun S. Intelligent Computations for Flood Monitoring // International Book Series "Advanced Research in Artificial Intelligence" (ed. Markov K., Ivanova K., Mitov I.). — 2008. — 2. — P. 48-54.
5. Кусуль Н.Н., Лупян Е.А., Шелестов А.Ю., Скакун С.В., Саворский В.П., Тищенко Ю.Г. Нейросетевой метод мониторинга затопленных территорий с использованием радиолокационных спутниковых данных // Исследование Земли из космоса. — 2008. — 4. — С. 29-35.

Надійшла до редакції 30.03.2010