

АВТОМАТИЗОВАНИЙ АНАЛІЗ КОСМІЧНИХ ЗОБРАЖЕНЬ ТЕРИКОНІВ

¹Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

Розглянуто складові інформаційної технології виявлення тліючих териконів на основі методів інтелектуального аналізу різночасових даних багатоспектральних космічних зйомок. Запропоновано структуру автоматизованої системи, що реалізує етапи інформаційної технології та забезпечує підтримку прийняття рішень в задачах космічного моніторингу ділянок розташування териконів та інших об'єктів, які становлять небезпеку виникнення вугільних пожеж. Проведено апробацію за різночасовими даними космічних зйомок Landsat TM/ETM+ ділянки Донецького вугільного басейну. Результати експериментальних досліджень дозволили виявити тліючі терикони з різними категоріями пожежонебезпеки і температурної активності.

Ключові слова: інформаційна технологія, космічна зйомка, автоматизована система, геоінформаційна модель, терикон.

Вступ

Виявлення тліючих териконів, що завдають шкоди навколишньому середовищу, є першочерговою задачею для своєчасного вжиття заходів щодо ліквідації осередків тління з дотриманням державних природоохоронних стандартів. В Україні вивчення проблем тліючих териконів здійснюється, як правило, наземними методами [1]. Локальна прив'язка, висока трудомісткість і вартість робіт не дозволяє застосовувати наземні методи для дослідження великих територій. Тому зарубіжні дослідники для пошуку ділянок тривалого горіння вуглевмістких порід — вугільних пожеж, використовують методи обробки даних дистанційного зондування Землі з космосу [2, 3].

Необхідність оперативної обробки космоснімків вимагає створення спеціалізованих засобів інтелектуального і геоінформаційного аналізу просторових даних. На сьогоднішній день в Україні відсутні автоматизовані системи і технології, спрямовані на розв'язання задач якісної оцінки та розрахунку кількісних показників теплового стану териконів за різночасовими даними багатоспектральних космічних зйомок, що визначає актуальність роботи.

Під інформаційною технологією автоматизованого аналізу космічних зображень териконів слід розуміти сукупність засобів і методів збору, зберігання, оброблення і візуалізації просторово-координованих даних, спрямованих на отримання нової інформації для підтримки прийняття рішень про тепловий стан териконів — наявність чи відсутність процесів тління.

Метою роботи є створення складових інформаційної технології на базі програмного та функціонального інструментарію підтримки прийняття рішень в задачах вивчення теплового стану, виявлення тліючих териконів та інших об'єктів вугільно-промислових територій, схильних до виникнення процесів горіння.

Існуючі технології обробки даних космічних зйомок

Існуючі інформаційні технології обробки космічних зображень можна умовно розділити на такі категорії:

- інформаційні технології розробки програмних продуктів обробки растрових зображень;
- веб-технології візуалізації космоснімків;
- інформаційні технології зберігання просторових даних;
- інформаційні технології тематичної обробки даних космічних зйомок.

Інформаційні технології розробки програмних продуктів обробки растрових зображень.

Розробка сучасних інформаційних систем обробки й аналізу даних космічних зйомок здійснюється з використанням великої кількості об'єктно-орієнтованих мов і середовищ програмування, до яких належать мови Object Pascal, C++ (середовище швидкої розробки додатків Embarcadero Delphi), C# (платформа Microsoft .NET Framework), Python, Java та ін.

Інформаційні системи обробки растрових зображень, створені з використанням високорівневої мови програмування Python, оперують засобами бібліотеки Python Imaging Library (PIL), що підтримує більшість операцій растрової графіки (фільтрація, матричні перетворення, алгебра растрів та ін.). Використання в Python-додатках (так само як і в додатках, створених на мовах Java, C++, C#) засобів бібліотеки GDAL (Geospatial Data Abstraction Library) організації OSGeo (Open Source Geospatial Foundation) забезпечує можливість управління представленими в різних форматах растровими геопросторовими даними, у тому числі космічними зображеннями.

Інтерфейс прикладного програмування програмної платформи Java (Application Programming Interface, API) включає в себе класи, бібліотеки для розробки інформаційних систем обробки зображень, зокрема Java Advanced Imaging API (JAI) — набір об'єктно-орієнтованих API для реалізації процедур обробки та аналізу зображень. Технологія Java підтримує можливості роботи з просторово-координованими даними космічних зйомок. Компонентом технології Java є відкрите програмне забезпечення World Wind, розроблене Національним управлінням з повітроплавання і дослідження космічного простору США (National Aeronautics and Space Administration, NASA). Засоби розробки World Wind Java SDK забезпечують можливість використання тривимірних представлень даних багатоканальних космічних зйомок в структурі прикладних інформаційних систем на базі технології тривимірної візуалізації NASA World Wind. Технології Java становлять основу вільної растрово-векторної геоінформаційної системи з відкритим вихідним кодом gvSIG.

Веб-технології візуалізації космоснімків. Інформаційна технологія візуалізації просторових даних Google Maps API дозволяє впроваджувати інтерактивні карти і космічні зображення в інформаційні системи і веб-сайти користувачів. Службові утиліти Google Maps JavaScript API призначені для управління картами і знімками Google, що використовуються в якості основи для візуалізації растрових і векторних просторово-координованих даних.

Побудова веб-додатків, орієнтованих на використання Google Maps API, базується на технологіях веб-програмування. Наприклад, кросплатформна технологія PHP (Personal Home Page Tools: Hypertext Preprocessor) окрім мови програмування й інтерпретатора містить також бібліотеку функцій для доступу до різних мережевих ресурсів і підтримує більшість баз даних, серед яких: PostgreSQL, MySQL та ін.

Інформаційні технології зберігання просторових даних. Програмний інструментарій ArcGIS дозволяє зберігати просторові дані про розташування й атрибути об'єктів у формі баз геоданих.

База геоданих ArcGIS — це спеціальна модель зберігання і візуалізації інформації у вигляді тематичних шарів і просторових представлень, яка забезпечує інструментарій доступу й управління геоданими.

Перевагою використання бази геоданих ArcGIS на основі серверної технології ArcSDE компанії ESRI є підтримка багатьох механізмів зберігання різних типів інформації та її впровадження з використанням стандартних СУБД, можливість визначення правил зв'язування даних, встановлення топологічних відношень та ін.

Інформаційні технології тематичної обробки даних космічних зйомок. Світовими лідерами зі створення та практичної реалізації технологічних рішень у сфері роботи з просторовими даними та супутниковими зображеннями є компанії Hexagon Geospatial, Intergraph, ІТЦ «СканЕкс», ESRI, Leica Geosystems та ін.

Більшість стандартних процедур тематичної обробки растрових даних космічних зйомок реалізовані в рамках спеціалізованих геоінформаційних систем (ГІС) обробки та аналізу просторових даних. Всю множину ГІС-пакетів умовно можна розділити на такі категорії:

— спеціалізовані комерційні програмні продукти обробки даних дистанційного зондування Землі з космосу: ERDAS Imagine (компанія Intergraph), ENVI (компанія Visual Information Solutions), ER Mapper (компанія ERDAS Inc.), TNT Mips (компанія MicroImages) та ін.;

— комерційні геоінформаційні системи, що мають розвинутий інструментарій просторового аналізу растрових, векторних і сіткових даних: ArcGIS (компанія ESRI) та ін.;

— вільне програмне забезпечення: Quantum GIS, GIS GRASS, MultiSpec, BEAM, SAGA, GeoTools, GeoServer, OpenMap, бібліотеки GDAL, PostGIS та ін.;

— пакети, орієнтовані на розв'язання тематичних задач;

— MATLAB — макромова й інтерактивна середа для організації обчислень.

Особливістю деяких спеціалізованих програмних пакетів є наявність інтегрованих можливостей доповнення стандартних функціональних засобів процедурами користувача. Наприклад: інструмент Model Maker пакета ERDAS Imagine, мова IDL пакета ENVI та ін.

Зазначені особливості визначили вибір програмних продуктів, що використані в роботі для реалізації складових (методів та алгоритмів) інформаційної технології: програмні комплекси ERDAS Imagine, ENVI, ГІС ArcGIS і мова макрокоманд MATLAB.

В Україні питаннями створення інформаційних технологій аналізу просторових даних займаються співробітники Державної установи «Науковий Центр аерокосмічних досліджень Землі Інституту геологічних наук НАН України», Дніпропетровського національного університету імені Олеся Гончара, Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» та ін. [4].

Вченими Інституту космічних досліджень Національної академії наук та Державного космічного агентства України розроблено низку геоінформаційних та супутникових технологій моніторингу стану ґрунтово-рослинного покриву за даними сканерів TM\ETM+ та ін.

В дослідженнях вчених Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України застосовують апарат нечіткої логіки для розв'язання задач тематичного дешифрування космічних зображень з побудовою відповідних інформаційних технологій. В їх роботах використовується просторово-часовий підхід до моделювання процесів і явищ навколишнього природного середовища. Вивчаються особливості сучасних технологій створення геопорталів.

Існуючі технології тематичної обробки даних космічних зйомок слугують основою для створення складових інформаційної технології автоматизованого аналізу космічних зображень териконів.

Складові інформаційної технології автоматизованого аналізу космічних зображень териконів

Запропонована в роботі інформаційна технологія призначена для розв'язання задач:

- визначення ділянок розташування териконів за різночасовими даними багатоспектральних космічних зйомок і даними наземних спостережень за допомогою класифікації;
- оцінки динаміки зміни температурного поля поверхні териконів;
- оцінки пожежонебезпеки (схильності до загоряння) териконів з використанням спектральних індексів і відомостей про температуру;
- виявлення ділянок тривалого тління за різночасовими даними космічних зйомок в тепловому діапазоні електромагнітного спектра.

Основними складовими запропонованої інформаційної технології є: введення даних, розрахунок характеристик зображень, класифікація зображень і виявлення териконів, оцінка пожежонебезпеки, дослідження температурного поля, візуалізація результатів [5].

Інформаційна технологія дозволяє виконувати синтез геоінформаційної моделі місцевості з териконами, яка кожному об'єкту-терикону ставить у взаємно-однозначну відповідність кортеж даних про його просторове розташування і тепловий стан:

$$U \rightarrow \langle G_c, E, O_g, O_s \rangle, \quad (1)$$

де G_c — географічні координати центра терикона; E — відомості про адміністративну належність терикона; O_g — дані наземних спостережень за станом терикона; O_s — результати оцінки теплового стану за даними космічних зйомок.

Геоінформаційна модель (1) є основою для побудови геоінформаційних моделей розташування териконів з різними характеристиками теплового стану. Для візуалізації представлених в растровому і векторному вигляді результатів створено веб-додаток «Терикони» на основі картографічного сервісу Google Maps API.

Реалізацію етапів технології здійснено на основі розробленої структури автоматизованої системи розрахунку характеристик теплового стану териконів за різночасовими даними багатоспектральних космічних зйомок.

Структура автоматизованої системи аналізу теплового стану териконів

Аналіз забезпеченості особи, що приймає рішення, програмним інструментарієм підтримки прийняття рішень у сфері космічного моніторингу свідчить про наявність широкого спектра інформаційних технологій для створення спеціалізованих програмних продуктів, а також інформаційних комплексів для реалізації технологій обробки й аналізу просторових даних. Разом з тим, необхідність спільної обробки космічних і наземних просторових даних вимагає створення спеціалізованих засобів інтелектуального і геоінформаційного аналізу. В Україні на сьогоднішній день відсутні автоматизовані системи для якісної оцінки та розрахунку кількісних показників теплового

стану териконів, що зумовлює необхідність розробки автоматизованої системи аналізу теплового стану териконів (АСАТСТ). Система повинна задовольняти таким вимогам [6]:

— наявність спеціалізованих функціональних засобів для підтримки прийняття рішень в задачах виявлення процесів тління териконів;

— наявність стандартних функціональних інструментів обробки растрових даних;

— можливість розширення системи через доповнення її функціональних модулів;

— можливість спільної обробки різнорідних даних (растрові, векторні шари, табличні дані);

— можливість відкритого доступу до результатів обробки та аналізу — наявність веб-інтерфейсу;

— наявність інтуїтивно зрозумілого інтерфейсу користувача.

АСАТСТ має забезпечувати можливість виконання таких дій:

— візуалізацію різнорідних даних космічного та наземного моніторингу;

— розвідувальний аналіз даних (розрахунок оцінок температури, характеристик текстури і спектральних індексів);

— маскуванню растрів — виділення ділянок інтересу;

— класифікацію і кластеризацію космічних зображень;

— моделювання температурного поля ділянок інтересу;

— просторово-часовий аналіз даних космічних зйомок;

— генерування геоінформаційної моделі місцевості з териконами (що містить ділянки інтересу і характеристики їх стану);

— побудову тематичних карт і геоіконічних моделей розташування териконів з різними характеристиками теплового стану;

— візуалізацію тематичних карт і геоіконічних моделей на картах і зображеннях високої просторової роздільної здатності картографічних Інтернет-сервісів.

Запропоновано структуру системи, яка складається з таких основних блоків — функціональних модулів: введення даних, попередня обробка, розвідницький аналіз, інтелектуальний аналіз, візуалізація результату (рис. 1).

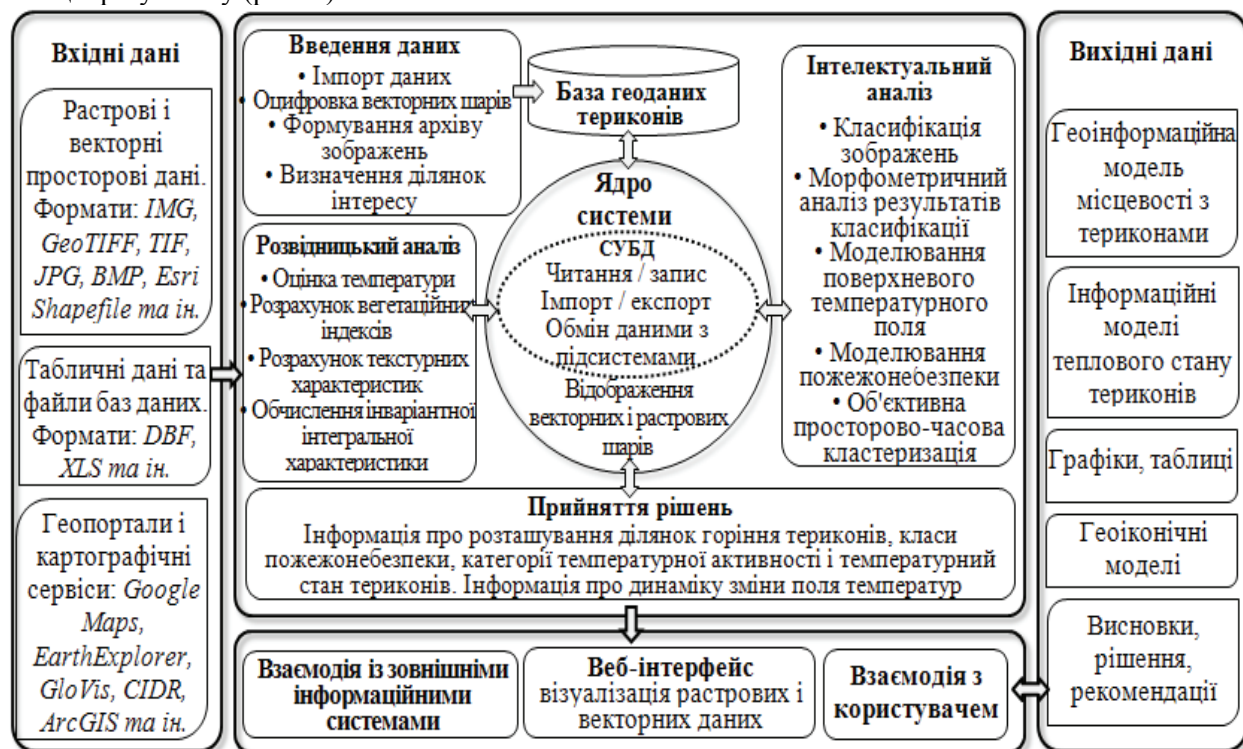


Рис. 1. Структурно-функціональна схема системи автоматизованого розрахунку характеристик теплового стану териконів

Блок введення даних повинен містити реалізацію стандартних алгоритмів завантаження багатоканальних растрових зображень, цифрових растрових картографічних даних (зображень топографічних карт), векторних, точкових, лінійних і полігональних шарів, табличних даних наземних спостережень. Візуалізація вхідних растрових даних космічних зйомок повинна передбачати можливість створення псевдокольорових зображень на основі синтезу каналів.

Блок попередньої обробки повинен дозволити користувачеві виконувати операції маскування — завдання ділянок інтересу для подальшого аналізу. Передбачається можливість створення векторних полігональних шарів з контурами ділянок інтересу або векторних точкових шарів, що містять просторові або піксельні координати розташування центрів ділянок інтересу.

Необхідними складовими блоку розвідницького аналізу є процедури розрахунку поверхневої температури за даними теплових космічних зйомок різних сканерів, обчислення спектральних співвідношень каналів космічних зображень (спектральних індексів), розрахунку характеристик текстури. Важливою є можливість виконання як стандартних операцій над растрами, так і розрахунку заданих користувачем характеристик.

Блок інтелектуального аналізу даних (ІАД) може спиратися на процедури контрольованої класифікації растрових космічних зображень за набором сформованих в блоці розвідницького аналізу ознак і має забезпечувати можливість задання еталонних ділянок, розрахунку мір подібності тестових ділянок (пікселів) з еталонними і визначення класової належності тестових ділянок. Оскільки фрагменти зображень териконів характеризуються округлою або еліпсоподібною формою основи, можливе використання процедур морфометричного (розрахунку коефіцієнта компактності, коефіцієнта подібності до окружності) аналізу для підвищення точності визначення ділянок розташування териконів за допомогою контрольованої класифікації.

Процедури просторово-часового аналізу і моделювання блоку ІАД призначені для розв'язання задач аналізу теплового стану ділянок інтересу (териконів). Вони повинні забезпечувати можливість виконання операцій моделювання поверхневого температурного поля, оцінки пожежонебезпеки териконів, виявлення стійких просторово-часових структур — ділянок тління териконів.

Виявлення стійких просторово-часових структур ділянок інтересу за різночасовими даними теплових космічних зйомок дозволить користувачеві визначити розташування фрагментів досліджуваної території, незмінних за період спостережень. Розв'язуючи задачі аналізу теплового стану териконів, характеристики просторово-часових структур подаються на вхід модифікованого алгоритму об'єктивної кластеризації для віднесення ділянок інтересу до категорій температурної активності, що визначають інтенсивність або вираженість просторово-часових структур [5].

Інформаційна система має стати автоматизованим засобом аналізу теплового стану територій, що передбачає участь користувача на окремих етапах обробки просторових даних. Наприклад, в задачах класифікації користувачеві належить визначити набір результуючих класів, здійснити вибір методу класифікації та міри подібності між об'єктами еталонними і тими, що класифікуються. Для розв'язання задач оцінки пожежонебезпеки териконів і виявлення базових просторово-часових структур користувачеві попередньо слід позначити контури ділянок інтересу. Додатковими параметрами, що визначають точність результатів формування просторово-часових структур, є вибір алгоритму кластеризації і параметрів побудови кластерів.

Блок візуалізації результатів призначений для побудови тематичних карт і геоіконічних моделей розташування ділянок інтересу з різними характеристиками теплового стану, а також візуалізації тематичних карт і геоіконічних моделей на картах і зображеннях високої просторової роздільної здатності картографічних Інтернет-сервісів (рис. 2).

Функціональні можливості АСАТСТ призначені для підтримки прийняття рішень в задачах космічного моніторингу ділянок розташування териконів і можуть використовуватися для аналізу теплового стану територій шахт, ділянок проведення відкритих гірничих робіт, виходів на поверхню вугільних пластів, сховищ вугілля та інших об'єктів, що становлять небезпеку виникнення вугільних пожеж.

Результати автоматизованого аналізу космічних зображень териконів м. Донецьк

Розроблені елементи інформаційної технології використані для розв'язання прикладних задач аналізу теплового стану териконів Донбасу, в тому числі тестової ділянки (м. Донецьк) розміром $40,5 \times 26$ км і площею 1053 км² за різночасовими даними 15-ти космічних зображень Landsat TM/ETM+, зареєстрованих з 1985 по 2012 рр. За даними Управління екологічної безпеки Донецької міськради для 115 териконів з відомим станом сформовано контрольну вибірку. За даними топографічних карт 1980—1990 рр. ділянки Донбасу розміром 220×150 км і площею 33 тис. км² створено векторну цифрову базу геоданих розташування 1343 об'єктів — 590 шахт і 753 териконів.

Грунтуючись на різночасових вибірках даних теплових космічних зйомок, виявлено температурні аномалії та ділянки тривалого тління териконів м. Донецьк. Відомості про характеристики таких ділянок, інтенсивність та сезонність температурних аномалій дозволили виконати побудову

карти розташування териконів м. Донецька з різними категоріями температурної активності і локалізувати терикони, що горять, з точністю до 81 %.

Виконано розподіл териконів м. Донецька до різних категорій пожежонебезпеки. Встановлено, що 15 % териконів тестової ділянки характеризуються загрозовою пожежонебезпекою (з них 54 % — діють, 77 % — горять), 41 % — суттєвою пожежонебезпекою (з них 76 % — не діють, 44 % — горять) і для 44 % териконів пожежонебезпека незначна (з них 100 % — не діють і 95 % — не горять) (рис. 2).

В результаті виконання геоінформаційного аналізу території м. Донецька встановлено, що понад 11 % території буферних зон териконів радіусом 300 м зайняті об'єктами міської забудови, більше 58 % — зеленими насадженнями, більше 29 % — відкритими ґрунтами, менше 1 % — водними об'єктами.

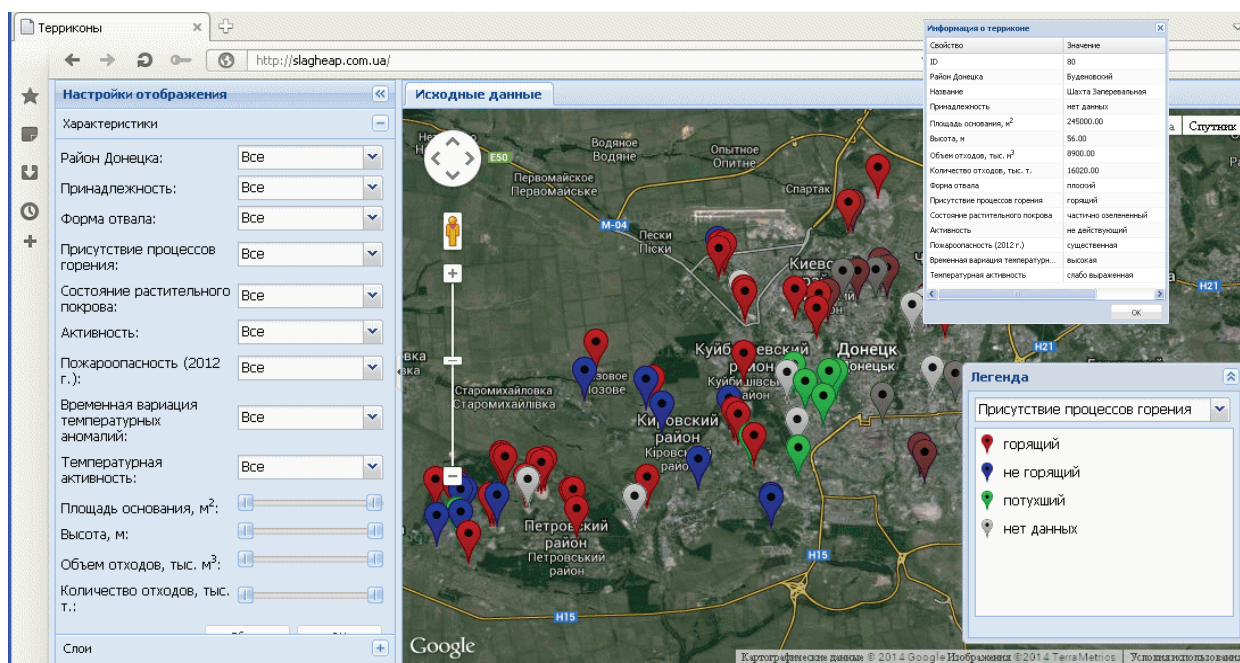


Рис. 2. Засоби веб-додатка «Терикони» на базі картографічного сервісу Google

Висновки

Розглянуто складові інформаційної технології і запропоновано структуру автоматизованої системи аналізу теплового стану териконів, що реалізують завершену послідовність етапів збору, зберігання, обробки і візуалізації просторово-координованих растрових, векторних і табличних даних про розташування і стан териконів. Система базується на існуючих інформаційних технологіях і спеціалізованих програмних комплексах тематичного аналізу просторових даних і націлена на отримання нової інформації для підтримки прийняття рішень про наявність та просторово-часову динаміку процесів тління.

Практичне застосування елементів розробленої технології дозволило виявити тліючі терикони м. Донецька з різними категоріями пожежонебезпеки і температурної активності з точністю до 81 % за даними різночасових багатоспектральних космічних зйомок Landsat TM/ETM+.

Функціональні засоби інформаційної технології призначені для використання співробітниками екологічних служб в задачах визначення теплового стану, виявлення тліючих териконів та інших об'єктів вугільнопромислових територій, схильних до виникнення процесів тління.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Смирный М. Ф. Экологическая безопасность терриконовых ландшафтов Донбасса : моногр. / М. Ф. Смирный, Л. Г. Зубова, А. Р. Зубов. — М. : изд-во ВНУ им. В. Даля. — 2006. — 232 с.
2. Gangopadhyay P. K. Application of remote sensing to identify coalfires in the Raniganj Coalbelt, India / P. K. Gangopadhyay, K. Lahiri-Dutt, K. Saha // International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation. — 2006. — Vol. 8. — P. 188—195.
3. Chatterjee R. S. Coal fire mapping from satellite thermal IR data — A case example in Jharia Coalfield, Jharkhand, India / R. S. Chatterjee // ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing. — 2006. — Vol. 60. — P. 113—128.

4. Лялько В. И. Стан і перспективи розвитку аерокосмічних досліджень Землі в Україні / В. И. Лялько // Косм. наука і технологія. — 2002. — № 2—3. — С. 29—35.

5. Сергеева Е. Л. Автоматизированный анализ состояния терриконов по данным дистанционного зондирования Земли на основе ГИС-технологии / Е. Л. Сергеева // Збірник наукових праць НГУ. — Д. : Національний гірничий університет, 2013. — № 41. — С. 103—112.

6. Сарычева Л. В. Компьютерный эколого-социально-экономический мониторинг регионов. Математическое обеспечение / Л. В. Сарычева. — Днепропетровск : НГУ. — 2003. — 222 с.

Рекомендована кафедрою моделювання та моніторингу складних систем ВНТУ

Стаття надійшла до редакції 3.02.2015

Сергеева Катерина Леонідівна — канд. техн. наук, доцент кафедри геоінформаційних систем, e-mail: sergieieva@i.ua.

Державний вищий навчальний заклад «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ

К. L. Sergieieva¹

Automated analysis of satellite images of slagheaps

¹State Higher Educational Institution «National Mining University», Dnipropetrovsk

Components of information technology of smoldering slagheaps identification are presented in the paper. It is based on Data Mining methods used for multi-temporal multispectral satellite imagery processing. The structure of automated system is proposed implementing stages of information technology and providing decision support in a problem of space monitoring of slagheaps and other coal fire danger objects. The technology is tested on the Landsat TM/ETM+ multi-temporal satellite imagery for test site of the Donetsk coal basin. The results of experimental studies allowed to reveal smoldering slagheaps with different categories of fire danger and temperature activity.

Keywords: information technology, satellite imagery, automated system, geoinformation model, slagheap.

Sergieieva Kateryna L. — Cand. Sc. (Eng.), Assistant Professor of the Chair of Geoinformation Systems, e-mail: sergieieva@i.ua

Е. Л. Сергеева¹

Автоматизированный анализ космических изображений терриконов

¹Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск

Рассмотрены составляющие информационной технологии выявления тлеющих терриконов на основе методов интеллектуального анализа разновременных данных многоспектральных космических съемок. Предложена структура автоматизированной системы, реализующей этапы информационной технологии и обеспечивающей поддержку принятия решений в задачах космического мониторинга участков расположения терриконов и прочих объектов, представляющих опасность возникновения угольных пожаров. Проведена апробация на разновременных данных космических съемок Landsat TM/ETM+ участка Донецкого угольного бассейна. Результаты экспериментальных исследований позволили выявить тлеющие терриконы с различными категориями пожароопасности и температурной активности.

Ключевые слова: информационная технология, космическая съемка, автоматизированная система, геоинформационная модель, террикон.

Сергеева Екатерина Леонидовна — канд. техн. наук, доцент кафедры геоинформационных систем, e-mail: sergieieva@i.ua