

УДК 528.46:711.14

МОНІТОРИНГ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ ЗА КОСМІЧНИМИ ЗНІМКАМИ СЕРЕДНЬОГО РОЗРІЗНЕННЯ (НА ПРИКЛАДІ ШТАТУ АРІЗОНА, США)

Х. Бурштинська, Ю. Денис, Б. Поліщук, М. Тимчишин

Національний університет “Львівська політехніка”

Ключові слова: лісові пожежі, моніторинг лісових пожеж, космічні знімки, тематична класифікація, еталони, навчальні вибірки.

Постановка проблеми та аналіз літератури

Лісові пожежі є другим після вирубування глобальним чинником знищення лісових масивів. Незважаючи на послідовну профілактичну роботу, спрямовану на захист лісів, щороку внаслідок пожеж пошкоджуються та знищуються тисячі гектарів лісових угідь.

Лісовою пожежею прийнято вважати стихійне поширення вогню територією лісового фонду. Об'єктом горіння у лісі є лісові горючі матеріали, що мають просторову структуру та характерні вертикальні шари: підстилка завтовшки 2–5 см; мох, лишайники та опале листя завтовшки 6–8 см; трав'янисті рослини; чагарники заввишки до 2 м; сукупність крон молодих дерев (підріст) заввишки до 6 м; сукупність крон дорослих дерев, вищих за 6 м. Горючість лісових матеріалів залежить від таких чинників, як пора року, час доби з урахуванням погодних умов. Склад кожного ярусу залежить від ґрунтово-кліматичних умов у регіоні [10].

Пожежну небезпеку лісових ділянок оцінюють з урахуванням конкретних параметрів лісу: типу лісу, типу деревостану, віку, повноти, зімкнутості крон тощо. На пожежну небезпеку впливає захаращеність лісового масиву. Разом із наявністю кущів, підросту та низько опущених гілок дерев це призводить до займання інших ярусів лісу під час горіння наземного шару та виникнення верхової пожежі. За сприятливих умов швидкість поширення у вертикальному напрямку в 6–10 разів вища за горизонтальну [10].

Середня величина пожежного навантаження у лісах за великих лісових пожеж коливається в діапазоні 5–10 кг/м². В умовах сухої тривалої погоди та високих температур наземний шар висихає і досягає рівня критичної вологості, за якої поширюється горіння [10].

Погода є чинником, який сприяє або перешкоджає виникненню та поширенню пожежі. Часті дощі, сира погода запобігають лісовим пожежам і навпаки, після тривалої спеки за відсутності дощів літні грози можуть спричинити пожежі. Удари блискавок у землю за наявності сухої трави або сухого вітролому спричиняють загоряння. Особливо небезпечні так звані “сухі грози”, під час яких розряди атмосферної

електрики між хмарами та землею не супроводжуються випаданням дощу. Виникненню пожеж багато в чому сприяє засуха, яку можна розглядати як комплекс атмосферних процесів, коли опади протягом понад 20 днів не перевищують 30 % від середньомісячної норми для лісового району. Сезонам із підвищеною пожежною небезпекою лісів передують тепла осінь та холодна малосніжна зима, а улітку спостерігається висока температура повітря, критично низька відносна вологість, помірні або сильні вітри і мала кількість опадів [8].

Моніторинг лісових пожеж – це система спостережень і контролю за пожежною небезпекою у лісі, за умовами погоди, станом лісових горючих матеріалів, джерелами вогню і лісовими пожежами з метою своєчасного розроблення і проведення заходів щодо запобігання лісовим пожежам і зниження збитків від них [1].

Існують такі способи моніторингу лісових пожеж:

- супутниковий моніторинг – спостереження за розвитком лісових пожеж за супутниковими знімками: великі пожежі виявляють за допомогою аналізу супутникових даних, прогнозують виникнення лісових пожеж на певній території;
- авіаційний моніторинг – огляд лісових масивів, виявлення пожеж за допомогою авіації;
- наземний моніторинг – виявлення пожеж наземними засобами [12, 14].

Дані дистанційного зондування є важливим джерелом отримання тематичної інформації щодо типів землекористування та наземного покриття на різних масштабних рівнях. Процес отримання тематичної інформації за даними дистанційного зондування із застосуванням автоматизованих методів їх оброблення називається автоматичною тематичною класифікацією [7, 15].

У дистанційному зондуванні Землі застосовують дві математичні моделі класифікації об'єктів: метод неконтрольованої класифікації, в основу якого покладено спеціальний математичний апарат багатовимірного аналізу даних – кластерний аналіз, та метод контрольованої класифікації, оснований на статистичних характеристиках [4, 9].

Неконтрольована класифікація полягає у розподілі всіх пікселів зображення на порівняно однорідні класи лише на підставі близькості їхніх спектральних

характеристик у багатовимірному просторі спектральних ознак.

Контрольована класифікація передбачає зарахування пікселя на знімку до відомого класу об'єктів, якому відповідає попередньо визначений спектральний образ у багатовимірному просторі спектральних ознак. Для отримання цього спектрального образу застосовують еталонні ділянки знімка, які добре репрезентують визначені тематичні класи. Значення пікселів еталонів застосовують як навчальні вибірки для налаштування алгоритму розпізнавання. Під час розпізнавання кожен піксель знімка послідовно порівнюють з еталонами та зараховують до того чи іншого класу [7, 11].

Еталони визначають за даними польових спостережень, які в ідеальному випадку повинні відбуватися у день знімання. Якщо це неможливо, то знімання та польові спостереження повинні відповідати тій самій порі року. Додатково джерелами для вибору еталонів можуть бути тематичні карти, знімки вищої розрізняльної здатності, звітні матеріали тощо. Еталони визначають якість навчальної вибірки та, як наслідок, точність контрольованої класифікації [6].

Виклад основного матеріалу та результати досліджень

Технологічна схема дослідження. Завданням дослідження є визначення площ пошкодженої внаслідок лісових пожеж рослинності на підставі космічних зображень середнього просторового розрізнення з використанням методів неконтрольованої та контрольованої класифікації. Технологічну схему досліджень подано на рис. 1.

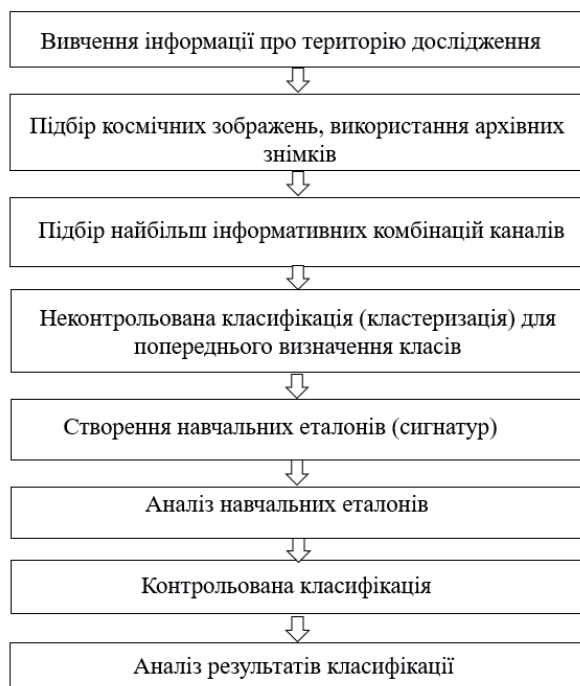


Рис. 1. Технологічна схема дослідження

Вихідні матеріали. Вихідними матеріалами для цього дослідження слугували три пари космічних знімків, отриманих оптико-електронними знімальними системами із супутників: Landsat-5 (30 травня 2011 р.; 15 червня 2011 р.), Landsat-7 (7 червня 2011 р.) на ділянку лісу штату Арізона (США). Космічні системи Landsat-5 та Landsat-7 дають зображення у семи та восьми спектральних діапазонах відповідно. Розрізняльна здатність системи Landsat-7 становить 30 м у спектральних діапазонах та 15 м у панхроматичному режимі, системи Landsat-5 – 30 м у спектральних діапазонах. Знімки завантажено із сайту USGS із прив'язкою WGS_1984_UTM_Zone_12N.

Попереднє опрацювання. Попереднє опрацювання знімка передбачає таку синтезацію спектральних каналів, щоб отримати максимально якісну інформацію про об'єкт дослідження.

Оскільки об'єкт дослідження розміщений на стику двох знімків, для створення одного набору растрових даних у програмному середовищі ArcGIS 10.4.1 застосовано інструмент “Mosaik” (рис. 2).

Важливе значення для синтезації має правильне поєднання спектральних каналів. Адже головним в інтерпретації зміни лісового покриву, внаслідок лісових пожеж, є максимальний контраст між вигорілою територією та непошкодженою поверхнею.

Поєднання 7–4–2 каналів (рис. 3) дає можливість дешифрувати стан та види рослинності на зображенні, а також аналізувати стан атмосфери та дим. Однак наявність диму на зображенні є небажаним явищем у разі застосування контрольованої класифікації.

Тому доцільно застосувати комбінацію 7–5–4 каналів (рис. 4), яка не містить жодного каналу з видимого діапазону. Таке поєднання каналів дає змогу повністю усунути димову завісу на зображенні, роблячи його інформативнішим.

Здійснено візуальне дешифрування знімка та визначено такі основні класи: вигоріла, пошкоджена та здорова рослинність, пошкоджена та непошкоджена відкрита місцевість, місця активного горіння.

Неконтрольована класифікація. Для створення тематично визначеного набору класів застосовано неконтрольовану класифікацію. Головними в методі неконтрольованої класифікації є граничні процедури, за якими визначають кількість класів, критерій зарахування пікселя до того чи іншого класу, а також задають кількість ітерацій [16].

Неконтрольована класифікація за алгоритмом ISODATA ґрунтується на використанні формули мінімальних спектральних відстаней [3]:

$$SD_{xyl} = \sqrt{\sum_{i=1}^L (\mu_{li} - X_{xyl})^2} \quad (1)$$

де L – кількість каналів; l – номер каналу; μ_{li} – середнє значення класу i у каналі l ; i – номер класу; X_{xyl} –

значення пікселя для каналу l ; SD_{xy1} – спектральна відстань пікселя у точці з координатами x, y .

Процес класифікації відбувався за декілька етапів – ітерацій. Результати неконтрольованої класифікації подано на рис. 5, 6 та 7.

За результатами неконтрольованої класифікації визначено оптимальну кількість класів для кожного знімка візуальним методом, а саме: чотири класи для знімка із супутника Landsat-5 (30.05.2011), шість класів для знімка із супутника Landsat-7 (07.06.2011) та п'ять класів для знімка із супутника Landsat-5 (15.06.2011).

Контрольована класифікація. На основі результатів неконтрольованої класифікації створюємо навчальні вибірки для проведення контрольованої класифікації. Формування навчальних вибірок є важливим етапом у контрольованій класифікації [4, 13]. Для кращої ідентифікації об'єктів на території дослідження, використано супутникове зображення, завантажене із віртуального програмного забезпечення SAS. Планета, просторове розрізнення якого становить 5 м. Використано полігональний спосіб додавання еталонів до навчальних вибірок (рис. 8).

За результатами досліджень [2, 12] встановлено, що найточніші результати для класифікації лісів отримують, використовуючи метод максимальної вірогідності. Метод максимальної вірогідності ґрунтується на вірогідності належності певного пікселя до визначеного класу. Базове рівняння припускає, що ці вірогідності однакові для всіх класів та мають нормальний закон розподілу даних. Є можливість врахувати різну вірогідність для всіх класів, ввівши так званий ваговий чинник. Цей варіант методу максимальної вірогідності відомий ще як метод Байєса [3]. Утім, якщо немає апріорних знань про вірогідність, не потрібно вказувати ваговий фактор. У такому разі для усіх класів він дорівнює 1,0 у базовому рівнянні.

Рівняння для проведення класифікації за методом найбільшої вірогідності має вигляд [3]:

$$D = \ln(a_m) - [0.5 \ln(|K_m|)] - [0.5(X - M_m)^T (K_m^{-1})(X - M_m)] \quad (2)$$

де D – вагова відстань (вірогідність); a_m – відсоток вірогідності належності класифікованого пікселя до класу m (дорівнює 1,0 або вводиться на основі апріорних даних); $|K_m|$ – детермінант матриці Km .

Піксель належить до класу m , якщо обчислене для нього D є мінімальним.

Результати класифікації за методом максимальної вірогідності подано на рис. 9, 10 та 11.

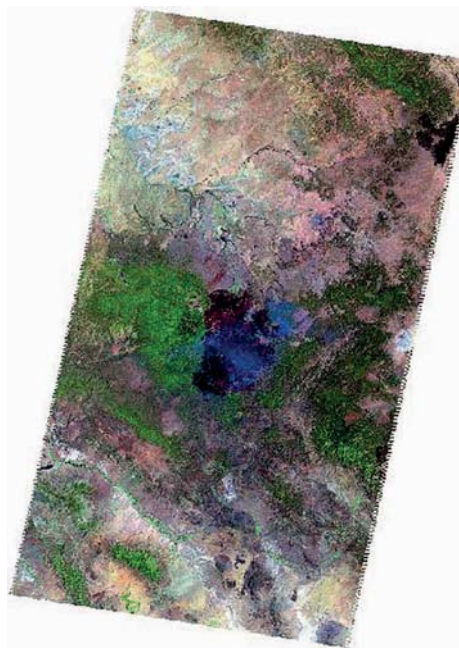


Рис. 2. Результат застосування інструмента “Mosaik” до пари знімків, отриманих із Landsat-5 (15.06.2011)

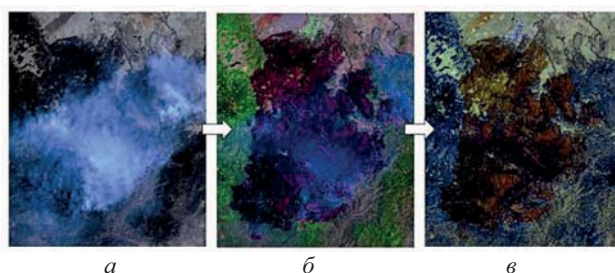


Рис. 3. Аналіз результатів синтезації зображення із Landsat-5(15.06.2011) : а – 3-2-1; б – 7-4-2; в – 7-5-4

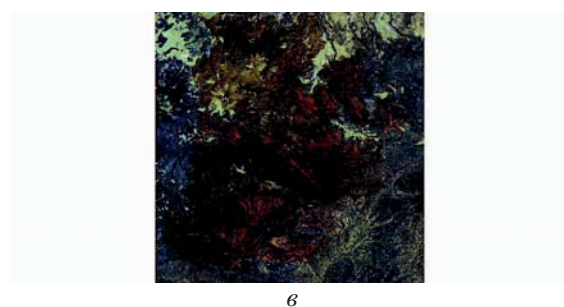
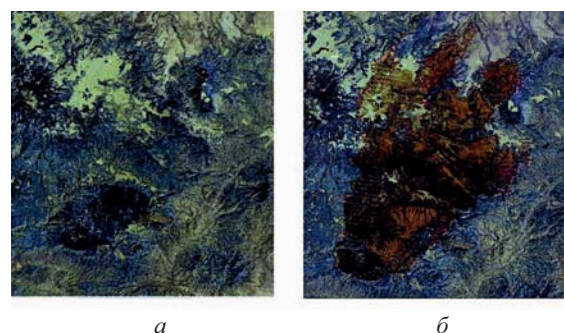
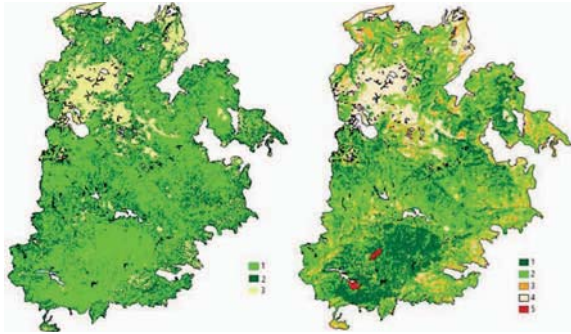


Рис. 4. Синтезовані знімки на досліджувану територію з комбінацією каналів 7–5–4: а – Landsat-5 – 30.05.2011; б – Landsat-7 – 07.06.2011; в – Landsat-5 – 15.06.2011



а *б*
 Рис. 5. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat-5 (30.05.2011) з поділом на:
 а – три класи; б – п’ять класів

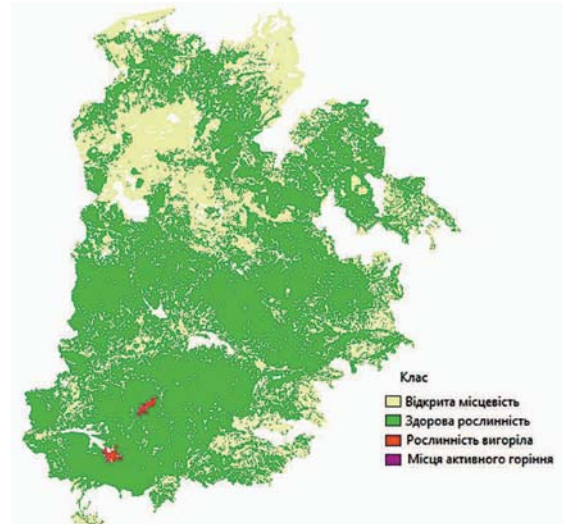
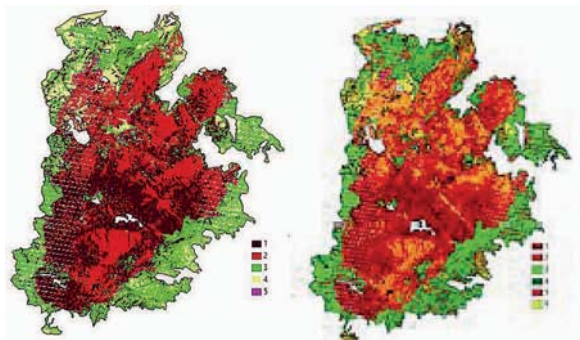


Рис. 9. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat-5 (30.05.2011) з поділом на чотири класи



а *б*
 Рис. 6. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat 7 (07.06.2011) з поділом на:
 а – п’ять класів; б – шість класів

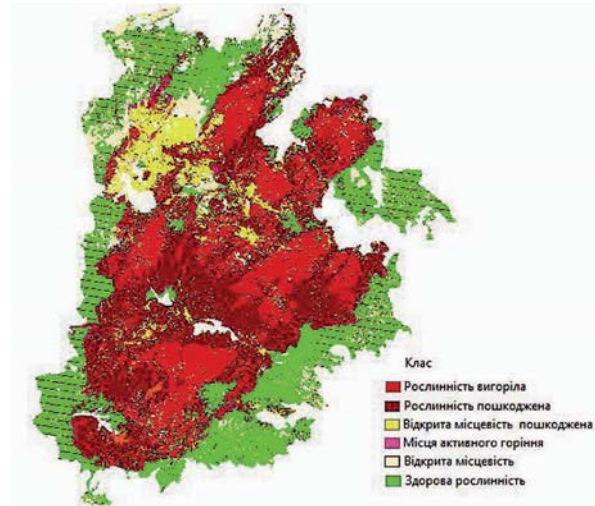
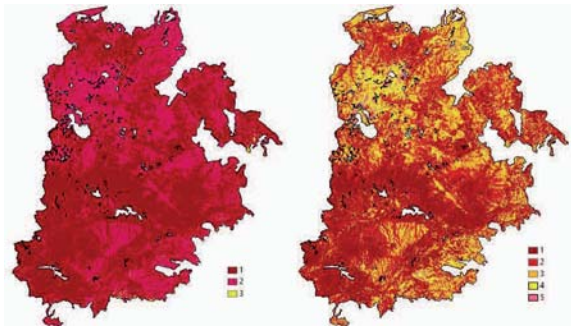


Рис. 10. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat-7 (07.06.2011) з поділом на шість класів



а *б*
 Рис. 7. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat-5 (30.05.2011) з поділом на:
 а – три класи; б – п’ять класів

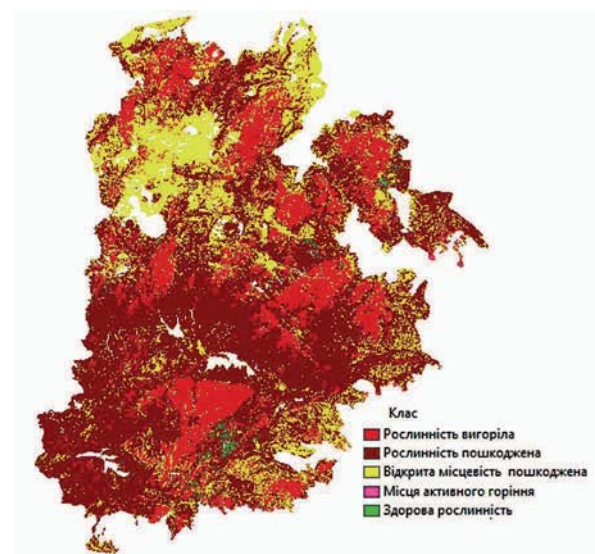


Рис. 11. Класифікований космічний знімок із супутника Landsat-5 (15.06.2011) з поділом на п’ять класів

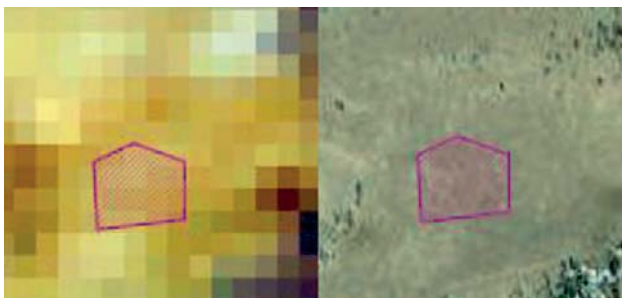


Рис. 8. Формування навчальної вибірки у програмному середовищі ArcGIS

У результаті класифікації зображень отримано такі класи :

1) Landsat-5 (30.05.2011) з поділом на чотири класи: рослинність вигоріла та здорова, відкрита місцевість та місця активного горіння;

2) Landsat-7 (07.06.2011) з поділом на шість класів: рослинність вигоріла, пошкоджена та здорова, відкрита місцевість пошкоджена та непошкоджена, місця активного горіння;

3) Landsat-5 (15.06.2011) з поділом на п'ять класів: рослинність вигоріла, пошкоджена та здорова, відкрита місцевість пошкоджена, місця активного горіння.

У табл. 1–3 подано визначені площі вибраних класів.

Таблиця 1

Площі, обчислені на підставі контрольованої класифікації

| Клас | Площа, км ² |
|-------------------------|------------------------|
| Рослинність вигоріла | 4 |
| Рослинність здорова | 1497 |
| Відкрита місцевість | 407 |
| Місця активного горіння | 1 |
| Разом | 1909 |
| Площа пожежі | 4,43 |

Таблиця 2

Площі, обчислені на підставі контрольованої класифікації для знімка

| Клас | Площа, км ² |
|--------------------------------|------------------------|
| Рослинність вигоріла | 350 |
| Рослинність пошкоджена | 649 |
| Відкрита місцевість пошкоджена | 151 |
| Відкрита місцевість | 126 |
| Місця активного горіння | 14 |
| Здорова рослинність | 549 |
| Разом | 1839 |
| Площа пожежі | 1164 |

Таблиця 3

Площі, обчислені на підставі контрольованої класифікації

| Клас | Площа, км ² |
|--------------------------------|------------------------|
| Рослинність вигоріла | 444 |
| Рослинність пошкоджена | 1010 |
| Відкрита місцевість пошкоджена | 444 |
| Здорова рослинність | 8 |
| Місця активного горіння | 2 |
| Разом | 1908 |
| Площа пожежі | 1900 |

У табл. 4 подано площі пожежі та її зміни, що відбулись за 30.05–15.06.2011 р.

Таблиця 4

Площі пожежі в різний часовий період

| Дата | Площа лісової пожежі, км ² |
|------------|---------------------------------------|
| 30.05.2011 | 4 |
| 07.06.2011 | 1164 |
| 15.06.2011 | 1900 |

СКП визначення площі обчислюють за формулою [3]:

$$m_s = m_t \sqrt{s} \sqrt{\frac{1 + K^2}{2K}}, \quad (3)$$

$$m_t = m_x \sqrt{2}, \quad (4)$$

де m_t – середня квадратична помилка визначення відстаней; K – кількість поворотних точок.

Середня квадратична помилка визначення площі становить 0,74 %. За даними національного звіту Міжвідомчого та координаційного центру США, пожежею охоплена територія площею 1969 км².

Отже, результати дослідження дають підстави стверджувати, що за космічними знімками середнього просторового розрізнення можна ідентифікувати лісові пожежі, встановити тривалість пожеж та визначити їх площі.

Висновки

1. Встановлено, що використання космічних знімків середнього просторового розрізнення є ефективним підходом для моніторингу лісових пожеж.
2. Принциповим для підбору каналів є виключення димових завіс. Оптимальною для ідентифікації об'єктів визначено комбінацію сьомого, п'ятого та четвертого каналів знімка.
3. Для визначення оптимальної кількості класів застосовано неконтрольовану класифікацію за алгоритмом ISODATA.
4. Застосовано контрольовану класифікацію для визначених класів методом максимальної вірогідності.
5. За даними класифікації, площа території, охопленої лісовою пожежею, становить 1900 км².
6. Визначено середню квадратичну помилку (СКП) визначення площ за матеріалами космічних зображень, яка становить 0,74 %.

Література

1. Азімов О. Т. Технології дистанційного зондування Землі і ГІС при створенні інформаційно-аналітичної системи аналізу ризику виникнення надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру / О. Т. Азімов, М. М. Сасюк // Матеріали конф. "ГІС

- Форум– 2000” (Київ, 13–16.11.2000). – К.: ГІС-Асоц. України, 2000. – С. 66–72.
2. Бурштинська Х. Дослідження методів класифікації лісів з використанням знімків високого розрізнення / Х. Бурштинська, Б. Поліщук, О. Ковальчук // Геодезія, картографія і аерофотознімання. – 2012. – Вип. № 78.
 3. Волоसेцький Б. Геодезія у природокористуванні: навч. посіб. / Богдан Волосецький; Нац. ун-т “Львів. політехніка”. – 2-ге вид., випр. і допов. – Львів: Вид-во Львів. політехніки, 2012. – 291 с.
 4. Дейвис Ш. М. Дистанционное зондирование: количественный поход / Ш. М. Дейвис, Д. А. Ландгребе, Т. Л. Филлипс; пер. с англ. – М.: Недра, 1983. – 415 с.
 5. Жолобак Г. М. Вітчизняний досвід супутникового моніторингу лісових масивів України / Г. М. Жолобак // Космічна наука і технологія, 2010. – Т. 16. – № 3. – С. 46–54.
 6. Книжников Ю. Ф. Аэрокосмические методы географических исследований: учеб. для студ. высш. учеб. завед. / Ю. Ф. Книжников, В. И. Кравцова, О. В. Тутубалина. – М.: ИЦ “Академия”, 2004. – 336 с.
 7. Лабутина И. А. Использование данных дистанционного зондирования для мониторинга экосистем ООПТ: мет. пособ. / И. А. Лабутина, Е. А. Балдина. – М.: WWF России, 2011. – 88 с.
 8. Національна доповідь про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2010 році [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mns.gov.ua/content/nasdopov2010.html>
 9. Свідзінська Д. Методи геоекологічних досліджень: Геоінформаційний практикум на основі відкритої ГІС SAGA: навч. посіб. / Д. Свідзінська. – К.: НУ ім. Тараса Шевченка, 2014. – 402 с.
 10. Стародуб Ю. П. Інформаційні технології в комп’ютерному моделюванні еколого-геофізичних процесів: навч. посіб. / Ю. П. Стародуб, П. П. Урсуляк. – Львів: ЛДУ БЖД, 2013.
 11. Чандра А. М. Дистанционное зондирование и географические информационные системы / А. М. Чандра, С. К. Гош [пер. с англ.]. – М.: Техносфера, 2008. – 312 с.
 12. Anderson J. R., Hardy E. E., Roach J. T., Witmer R. E. Land use and land cover classification system for use with remote sensor data / Geological Survey Professional Paper 964. – Washington: 1976. – 41 p.
 13. D. LU and Q. WENGA Survey of image classification methods and techniques for improving classification performance // International Journal of Remote Sensing. – 10 March 2007. – Vol. 28, No. 5. – P. 823–870
 14. Lim, R. and Bretschneider, T. 2004. Autonomous monitoring of fire-related haze from space // In: Proceedings of the International Conference on Imaging Science, Systems, and Technology, pp. 101–105.
 15. Sakhatsky A. I. Classification of space image for forest state identification within the Siberia region / A. I. Sakhatsky, J. McCallun, A. Ja. Khodorovsky, I. Ja. Bujanova // Pt. 1 IIASA, Laxenburg, Austria, IR-02-09, April 2002. – 45 p.
 16. Fox L. and Stuart J. D. Detecting changes in forest condition following wild fire, using image processing and GIS. ASPRS Technical Papers: ASPRS-ACSM Annual Convention, American Society of Photogrammetry and Remote Sensing, Reno, Nevada, April 1994. – P. 197–206.
- Моніторинг лісових пожеж за космічними знімками середнього розрізнення (на прикладі штату Арізона, США)**
Х. Бурштинська, Ю. Денис,
Б. Поліщук, М. Тимчишин
- Здійснено дослідження лісової пожежі у штаті Арізона (США) за космічними знімками. Для дослідження використано знімки, отримані із супутників Landsat-5 (30 травня 2011 р.; 15 червня 2011 р.) та Landsat-7 (7 червня 2011 р.) на ділянку лісу штату Арізона. Для визначення площ пожежі та її змін за 30.05–15.06.2011 р. використано методи неконтрольованої та контрольованої класифікацій.
- Моніторинг лесных пожаров по космическим снимкам среднего разрешения (на примере штата Аризона, США)**
Х. Бурштинская, Ю. Денис,
Б. Полищук, М. Тимчишин
- Проведено исследование лесного пожара в штате Аризона (США) по космическим снимкам. Для исследования использованы снимки, полученные со спутников Landsat 5 (30 мая 2011 г.; 15 июня 2011 г.) и Landsat 7 (7 июня 2011 г.) на участок леса штата Аризона. Для определения площадей пожара и его изменений за 30.05–15.06.2011 р. использованы методы неконтролируемой и контролируемой классификации.
- Monitoring of forest fires using satellite images with medium spatial resolution (the example of Arizona, USA)**
Kh. Burshtynska, Y. Denis,
B. Polishuk, M. Tymchyshyn
- A study of forest fires in Arizona, USA with using satellite images was conducted. Images taken from satellites Landsat 5 (May 30, 2011, June 15, 2011) and Landsat 7 (June 7, 2011) for the selected forest area in Arizona were used. Methods of unsupervised and supervised classification are used to determine the area of the fire and its changes for the period May, 30 – June 15, 2011.