

UDK 528.8:004

V.V. Hnatushenko¹, Dr. Sci. (Tech.), Professor,
 Vik.V. Hnatushenko², Cand. Sci. (Tech.),
 D.K. Mozgovyi¹, Cand. Sci. (Tech.),
 V.V. Vasiliev¹

1 – O. Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine, e-mail: vvgnat@ukr.net
 2 – National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipropetrovsk, Ukraine

SATELLITE TECHNOLOGY OF THE FOREST FIRES EFFECTS MONITORING

В.В. Гнатушенко¹, д-р техн. наук, проф.,
 Вік.В. Гнатушенко², канд. техн. наук, доц.,
 Д.К. Мозговий¹, канд. техн. наук,
 В.В. Васильєв¹

1 – Дніпропетровський національний університет імені Олесья Гончара, м. Дніпропетровськ, Україна, e-mail: vvgnat@ukr.net
 2 – Національна металургійна академія України, м. Дніпропетровськ, Україна

ТЕХНОЛОГІЯ СУПУТНИКОВОГО МОНІТОРІНГУ НАСЛІДКІВ ЛІСОВИХ ПОЖЕЖ

Purpose. To develop the automated processing technology of the low and medium spatial resolution multispectral satellite images, which provides increasing reliability and efficiency of determining the area of forest burnt.

Methodology. We used the methods of assessment of the state of vegetation on the burnt area, a complex of different vegetation indices and satellite image classification methods. The method of fire-sites decoding included the following main steps: selection of the image showing the area before and after a fire and calculation of vegetation indices.

Findings. The efficient technology of automated estimation of the area affected by forest fires, using satellite imagery, has been suggested. The technique allows us to fulfill all the processing procedure by means of the web-service that provides current and reliable data about the fire effects. Using the developed method we analyzed the multispectral images with low spatial resolution from Terra and Aqua satellites (instrument MODIS) in order to identify areas and periods of active burning in the selected area (California). Then we processed the multispectral images with medium spatial resolution from Landsat 8 satellite (shooting device OLI) to define accurately the boundaries of the burnt areas and to calculate their size. The area of the forest burnt during the period from July 30 to August 12 in 2015 exceeds 41 477 ha.

Originality. In contrast to the existing methods of determining the burned areas by means of satellite images and using the Differential Normalized Burn Index (dNBR), the proposed technology allows determining the areas burnt more accurately through independent determination of optimal binarization thresholds for each image. In addition, it is possible to analyze the temporal changes in the affected forest areas for long periods of observation, by using vector layers with attribute information. The essential advantage of the technique is the high degree of automation of the satellite images processing and the use of remote sensing data, which are freely available on the Internet.

Practical value. The developed technology allows creating a web service for regular space monitoring of the consequences of forest fires. The users of such a service may be state monitoring bodies, state and private insurance companies, energy and oil refining companies, municipal services, private companies, farmers, TV and radio companies and other mass media, as well as population living close to the territories affected by forest fires.

Keywords: *remote sensing, satellite monitoring, multispectral imagery, forest fires, spectral indexes, NBR, image processing*

Introduction. Every year around 400 thousand forest fires occur in the world. They cause huge damage to the forestry destroying millions of hectares of forests, up to 0.5–1% of all forests on the Earth. Besides the direct damage, they pollute the atmosphere with large amounts of carbon dioxide and combustion products. Forest fires are responsible for around 60% of all forest stand destroyed annually by all anthropogenic and natural factors. Annually, from 10 to 20% of the area taken by fire gets into the category of burnt-out territories, and regarding the remaining part of this area, different levels of damage of forest stand are registered. Of all the factors killing forests, the most negative consequences for the biosphere are caused by forest fires. They do not only destroy the forest, but also, as a result of burning of huge mass

of organic substances, emit large quantities of carbon dioxide into the atmosphere, increasing the greenhouse effect. Forest fires also destroy stocked lumber, structures built in the forests, forest floor and undergrowth as well as stocks of hay and peat. Fires scare away or kill animals inhabiting forests, decrease crops of berries and mushrooms, disrupt the water balance of territories and stipulate shoaling of rivers and erosion of banks, decrease humus in soils.

Statement of the research problem. Many papers have discussed the assessment of post-fire forest areas by using NBR (Normalized Burn Ratio) and difference NBR (dNBR) [1–6]. The main problem of fighting forest fires is related to difficulty of their early detection on huge territories (especially in low populated places). To solve this problem, satellite imaging has come into use recently, which, in comparison with observations from the surface and patrolling, provides full coverage of the territory of forests. And the pos-

sibility of frequent observations of the same territory from satellites makes this method more advantageous than any other, especially away from populated regions. For the remote detection and monitoring of active forest fires around the world there are special services which use data from the satellites Terra, Aqua (device MODIS) and NOAA (device AVHRR) providing every day multiple coverage of the whole land with low resolution images. Open access to these images makes it possible to carry out up to date monitoring at much lower cost in comparison with patrolling and stationary methods of detection.

Evaluation of economic and environmental consequences of forest fires requires timely obtaining of unbiased data about the state of the damaged forestry, including information about drying out and dry trees on those territories. This kind of data is currently obtained, as a rule, with the use of on the ground periodical inspections of pathology of trees. Because of high labour intensity and limited accessibility of remote areas, such inspections cover only an insignificant part of the forest area damaged by fires. This encourages development of alternative methods for evaluation of the state of the forests damaged by fires with the use of satellite imaging. For evaluation of aftermath of forest fires, data from the Landsat, SPOT, IRS and RapidEye providing periodical global or regional coverage with medium and high resolution images are used. But the use of high spatial resolution images requires the use of complex processing methods [7].

Objectives. The main objective is to develop an automated processing technology of the low and medium spatial resolution multispectral satellite images, which provides increasing reliability and efficiency of determining the area of forest burnt.

The input data. Below are the results of monitoring of the consequences of forest fires which occurred in July-August, 2015 on a selected territory of California based on publicly available low and medium resolution satellite images. To determine locations of seats of fire and dynamics of motion of the flame front, images from satellites Terra and Aqua were used (imagine device MODIS), which have the field of view of the optical system 110° wide and provide survey imaging of the whole surface of the Earth twice a day (the width of the strip of the imaging is 2330 km).

The spectroradiometer MODIS has 36 spectral channels of visible and infrared bands which are tuned to the windows of transparency of the Earth atmosphere. The radiometric resolution of the source images is 12 bits, which makes it possible to observe different natural objects and solve a wide range of scientific and applied problems. For more detailed analysis of the consequences of the fire images from the satellite Landsat 8 were used (imaging devices OLI and TIRS); it has 11 spectral channels of visible and infrared bands in the windows of transparency of the Earth atmosphere (table 1).

Methodology. We use the methods of assessing the state of vegetation on the burnt area, applied in a complex different form vegetation indices and satellite image classification methods. The method of decoding burnt included the following main steps: the image selection for the period before and after the fighting fixed and the calculation of vegetation indices. The burned area classification is a technology using remotely sensed data to assess the severity of fire damage to

vegetated areas developed by the US Forest Service and US Geological Survey. It is premised on the contrast in near infrared (NIR) and mid infrared (MIR) reflectance between pre-fire vegetated surfaces and post-fire denuded surfaces. Indexed image NBR (Normalized Burn Ratio) makes it possible to determine a burnt-out place in a satellite image with the use of spectral channels of the near IR (NIR) and short wavelength IR (SWIR) bands according to the formula $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. This formula uses the significant difference in reflection coefficients (albedo) in spectral channels of NIR and SWIR bands, corresponding to the healthy forest and to burnt-out territories:

- in the NIR band the healthy forest has a higher albedo;
- in the SWIR band the burnt-out forest has a higher albedo.

Table 1
Spectral channels of Landsat 8

Spectral channels	Wave lengths	Resolution	Device
Channel 1 – Shores and aerosols	0.433 - 0.453 μm	30 m	OLI
Channel 2 – Blue	0.450 - 0.515 μm	30 m	
Channel 3 – Green	0.525 - 0.600 μm	30 m	
Channel 4 – Red	0.630 - 0.680 μm	30 m	
Channel 5 – Near IR	0.845 - 0.885 μm	30 m	
Channel 6 – Short wavelength IR	1.560 - 1.660 μm	30 m	
Channel 7 – Short wavelength IR	2.100 - 2.300 μm	30 m	
Channel 8 – Panchromatic	0.500 - 0.680 μm	15 m	
Channel 9 – Cirri clouds	1.360 - 1.390 μm	30 m	
Channel 10 - Far IR	10.30 - 11.30 μm	100 m	
Channel 11 - Far IR	11.50 - 12.50 μm	100 m	

For the quantitative evaluation of the consequences of the forest fire on a selected territory in July-August, 2015, processing of images from the satellite Landsat 8 was performed, which included the following stages:

- preliminary operations (selection of the area of interest, search for an image by date, check of its quality);
- spectral synthesis in natural colours and artificial colours of heat channels;
- creation of the indexed NBR image;
- threshold binarization of the indexed image;
- morphological filtering of the binary image;
- vectorization of the binary image and calculation of characteristics (the area of burnt-out patches);
- visualization of the changes on the map and export of the vector layer into a kml-file.

For satellite images processing our own software modules in the language IDL were used.

Research results. Using the developed technology multispectral images with low spatial resolution from Terra and Aqua satellites (instrument MODIS) were analyzed in order to identify areas and periods of active burning in the selected area (California). Then multispectral images with medium spatial resolution from Landsat 8 satellite (shooting device OLI) were made to accurately define the boundaries of the burnt areas and the calculation of their areas.

Fig. 1–4 show the dynamics of development of the forest fire on the selected territory in July-August, 2015, according to the data of the satellites Terra and Aqua (imaging device MODIS). Fig. 5, 6 show aftermath of the forest fire on the se-

lected territory in July-August 2015 according to the data from the satellite Landsat 8 (imaging device OLI). Fig. 7, 8 show the results of the main stages of processing of an image taken by the satellite Landsat 8 on 19 August 2015.

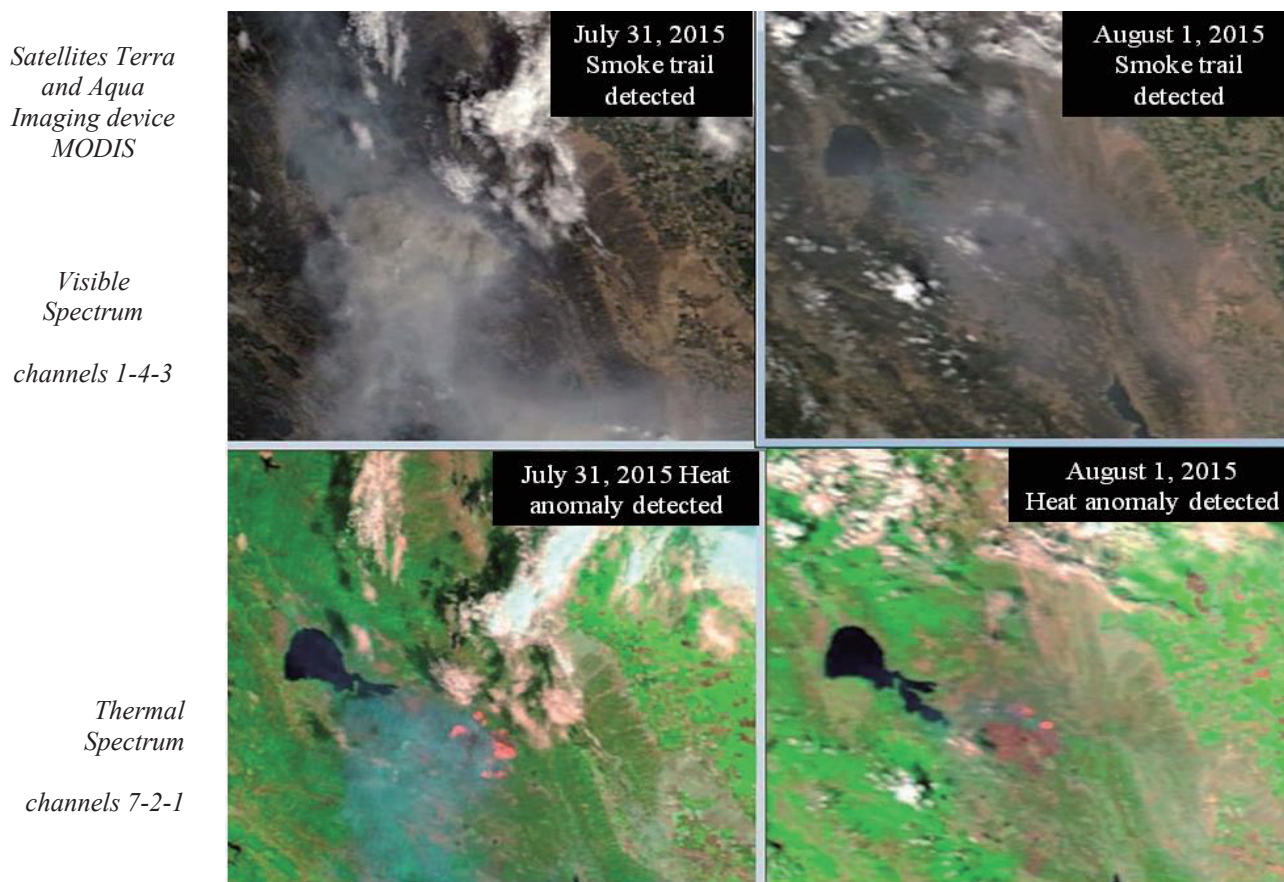


Fig. 1. The start of a forest fire (low resolution operational data)

The area of the burnt-out forest in the period from July 30 to August 12 exceeds 41 477 hectares acc. to data from Landsat 8.

The distinguishing feature of this technology is to split the search and processing into the stages:

- a more precise definition of the burning period of the low resolution operational data;
- a more precise definition of determining the area of burned areas on a periodic medium resolution data;
- formation of vector layers burnt with attribute information for each image ;
- analysis of the temporal changes in the affected areas by using only vector layers with attribute information (i.e. without the need for processing raster data).

In contrast to the known methods for determining the area of burned areas on satellite images at different times using the Differential Normalized Burn Index (dNBR), the pro-posed technology allows determining more accurately the areas burnt through independent determination of optimal binarization thresholds for each image. In addition, it is possible to analyze the temporal changes in the affected forest areas for long periods of observation, by using vector layers with attribute information.

The essential advantage of the technique is the high degree of automation of the satellite images processing and the use of remote sensing data which are freely available on the Internet.

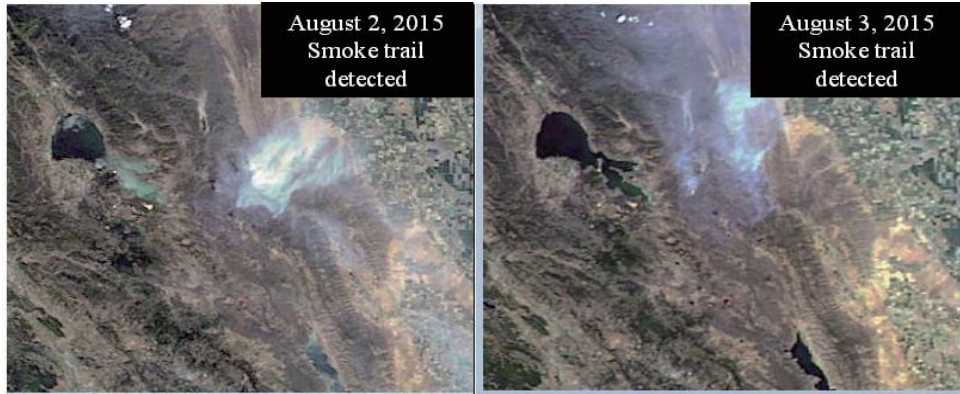
Practical significance. The developed technology allows you to create a web service for regular space monitoring of consequences of forest fires on its basis. The users of such a service may be:

- state monitoring bodies (fire-fighting, forestry, environmental services etc.);
- state and private insurance companies (unbiased evaluation of the scale and heaviness of the consequences, as well as evaluation of the real loss);
- energy and oil refining companies (evaluation of the possible influence of forest fires on electric power lines, gas and oil pipelines, etc.);
- municipal services, private companies, farmers (measures to restore the infrastructure objects);
- TV and radio companies and other mass media (propaganda of prevention of fires);
- population living close to the territories affected by forest fires (obtaining objective and trustworthy information as for the scales and seriousness of the consequences of the forest fires).

Satellites Terra
and Aqua Imaging
device MODIS

Visible
Spectrum

channels 1-4-3



Thermal
Spectrum

channels 7-2-1

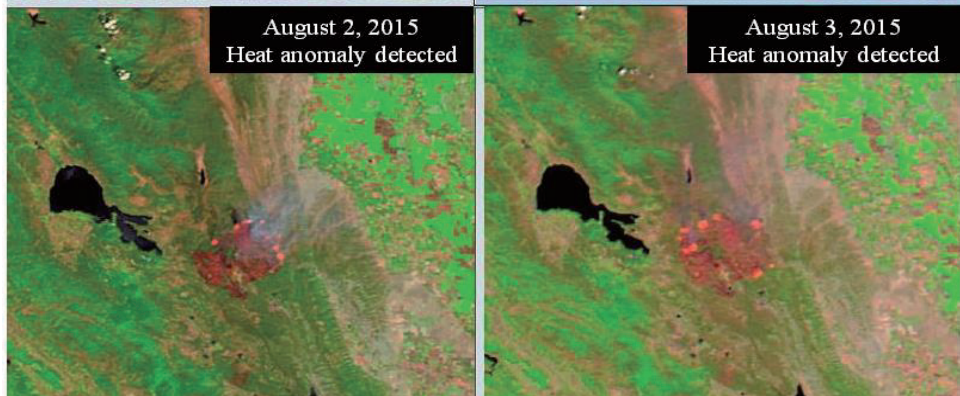


Fig. 2. Continuing forest fire (low resolution operational data)

Satellites
Terra & Aqua
Imaging device
MODIS

Visible
spectrum

channels 1-4-3



Heat band
chan. 7-2-1

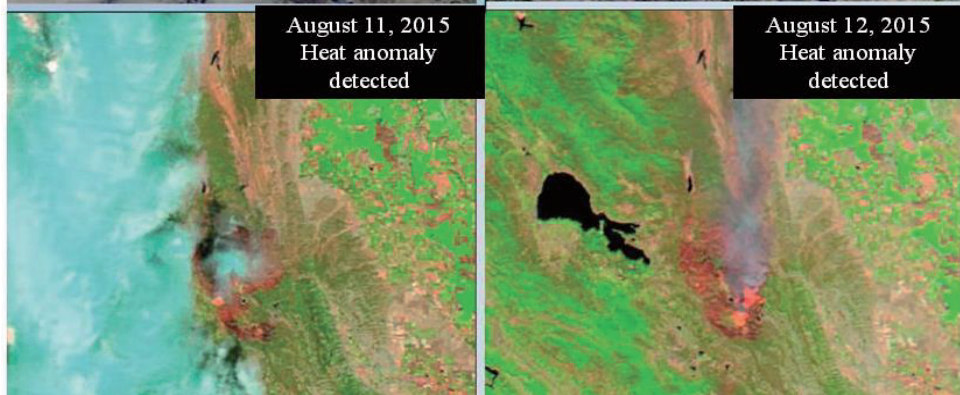


Fig. 3. Completion of a forest fire (low resolution operational data)

Satellites Terra
and Aqua Imaging
device MODIS

Visible
Spectrum
channels 1-4-3

Thermal
spectrum
channels 7-2-1

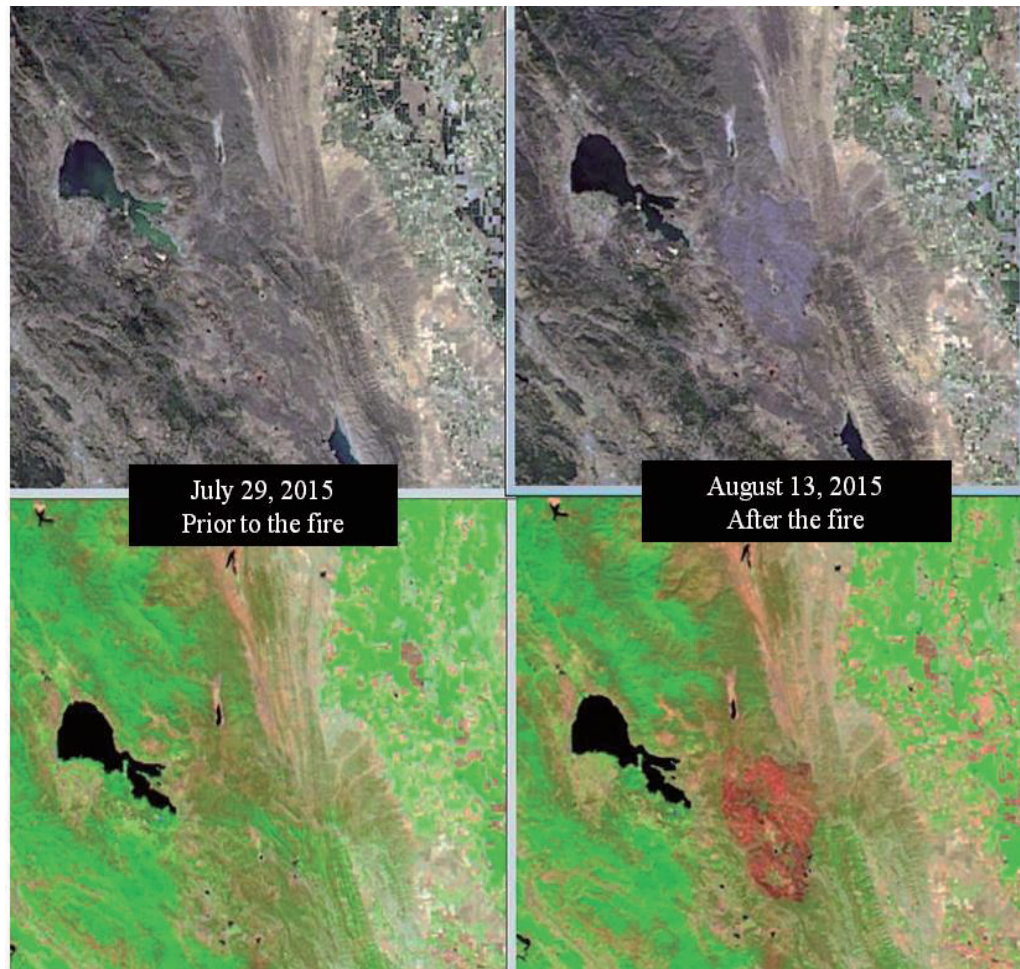


Fig. 4. Forest fire results (comparison of the low resolution operational data)

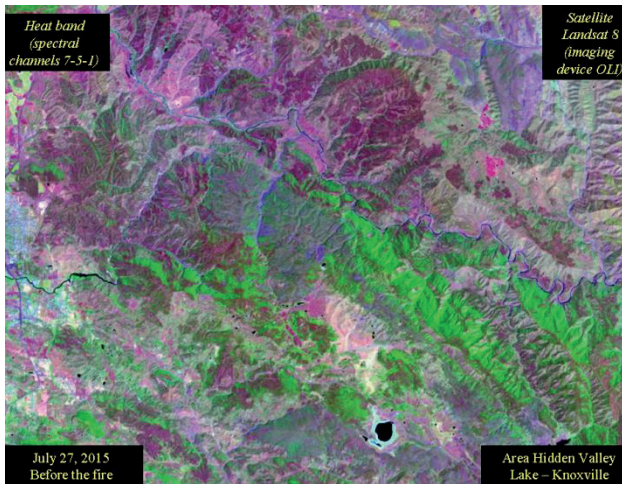


Fig. 5. State before a forest fire (medium resolution periodical data)

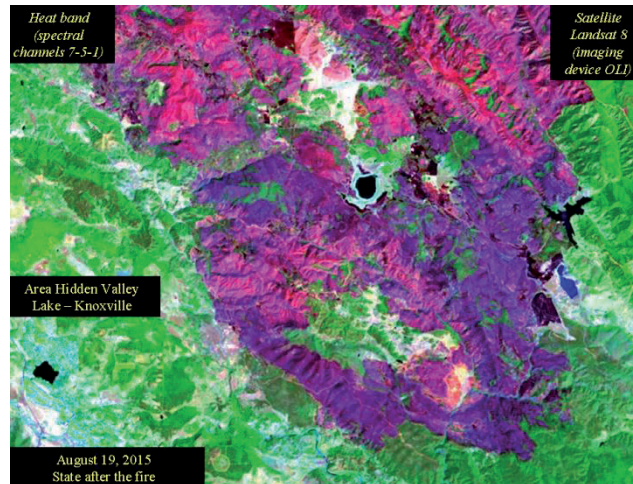


Fig. 6. State after a forest fire (medium resolution periodical data)

Conclusions. An efficient technology of automated estimate of the area affected by forest fires, using satellite imagery has been suggested. The technology allows realizing all the processing procedures such as a web service that provide current and reliable data of the fires aftermath.

Further research will be associated with advancing the proposed technique one step further for more detailed analysis of individual sections of the burnt areas using satellite imagery and super resolution methods of object processing.



Fig. 7. Satellite image processing results (medium resolution periodical data)

References / Список літератури

1. Escuin, S., Navarro, R. and Fern, P., 2008. Fire severity assessment by using NBR (Normalized Burn Ratio) and NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) derived from LANDSAT TM/ETM images. *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 29, pp. 1053–1073.
2. Loboda, T., O'Neal, K.J., and Csiszar, I., 2007. Regionally adaptable dNBR-based algorithm for burned area mapping from MODIS data. *Remote Sensing of the Environment*, 109(4), pp. 429–442.
3. Miller, J.D. and Thode, A.E., 2007. Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta normalized burn ratio (dNBR). *Remote Sensing of the Environment*. Vol. 109(1), pp. 66–80.
4. Weber, K.T., Seefeldt, S., Moffet, C., and Norton, J., 2008. Comparing fire severity models from post-fire and pre/post-fire differenced imagery. *GIScience and Remote Sensing*. Vol. 45(4), pp. 392–405.
5. Mozgovoy, D.K. and Kravets, O.V., 2009. *Ispolzovanie dannykh MODIS dlya ekologicheskogo monitoringa i kontrolya chrezvyichaynykh situatsiy* [Using MODIS data for environmental monitoring and control of emergencies], *Ecologia i Noosferologiya*. Vol. 20, no. 1–2, pp. 84–89.
Мозговой Д.К. Использование данных MODIS для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций / Д.К. Мозговой, О.В. Кравец // Экология та ноосферология. – К.-Дніпропетровськ, 2009. – Том 20. – №1–2. – С. 84–89.
6. Mozgovyi, D.K., Parshina, O.I., Voloshin, V.I. and Bushuev, Y.I., 2007. Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. *Geographic Uncertainty in Environmental Security*. Dordrecht: Springer, NATO Public Diplomacy Division, pp. 259–270.
7. Hnatushenko, V.V., Hnatushenko, Vik.V., Kavats, O.O. and Shevchenko, V.Yu., 2015. Pansharpening technology of

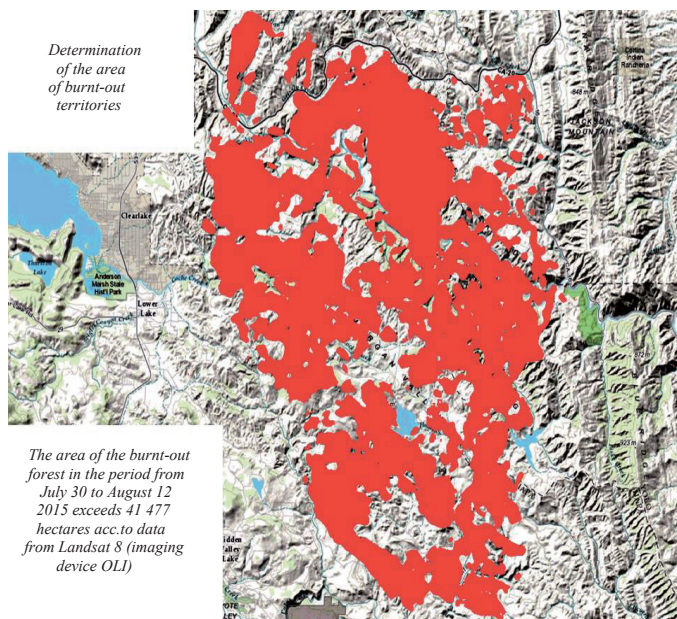


Fig. 8. The imposition of a vector layer on a digital map

high-resolution multispectral and panchromatic satellite images. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 4, pp. 91–98.

Мета. Розробка технології обробки супутникових знімків, що забезпечує підвищення достовірності та оперативності визначення площі лісових гарей за даними багатоспектральної супутникової зйомки низького й середнього просторового розрізнення.

Методика. Використовуються методи оцінки стану рослинності на вигорілих площах, застосовуються в комплексі різні вегетаційні індекси та методи класифікації космічних зображень. Методика дешифрування згарищ включала наступні основні етапи: відбір знімків за період до та після зафіксованих пожеж і розрахунок вегетаційних індексів.

Результати. Запропонована ефективна технологія автоматизованого визначення площ територій, постраждалих від лісових пожеж, з використанням супутникових знімків. Індексне зображення NBR (Normalized Burn Ratio) дозволяє визначити на супутниковому знімку площу згарища по спектральним каналах ближнього ІЧ (NIR) і середнього ІЧ (SWIR) діапазонів за формулою $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. Дана формула використовує суттєву відмінність коефіцієнтів відбиття (альbedo) в спектральних каналах ближнього ІЧ та середнього ІЧ діапазонів, відповідних здоровому лісу та вигорілим територіям. Проведено аналіз багатоспектральних знімків низького просторового дозволу з супутників Terra, Aqua (прилад MODIS) з метою визначення ділянок і періодів активного горіння на обраній території (штат Каліфорнія). Виконано обробку багатоспектральних знімків середнього просторового дозволу з супутника Landsat 8 (знімальний прилад OLI) з метою точного визначення меж вигорілих ділянок і розрахунку їх площ. Площа згорілого лісу на спостережуваній території в

період з 30 липня по 12 серпня 2015 р. склала більше 41477 гектарів. Технологія дозволяє реалізувати всі процедури обробки у вигляді веб-сервісу, що надає актуальні й достовірні дані про наслідки пожеж.

Наукова новизна. На відміну від відомих методів визначення площ вигорілих територій по різночасним супутниковим знімкам з використанням диференційованого нормалізованого індексу згарища (dNBR), запропонована технологія дозволяє більш точно визначати вигорілі ділянки завдяки незалежному визначенню оптимальних порогів бінаризації для кожного знімка. Крім того, технологія надає можливість аналізувати часові зміни на постраждалих ділянках лісу для тривалих періодів спостереження, використовуючи створені векторні шари з атрибутивною інформацією. Суттєвими перевагами технології є високий ступінь автоматизації обробки супутникових знімків і використання даних ДЗЗ, що знаходяться у вільному доступі в мережі Інтернет.

Практична значимість. Розроблена технологія надає можливість створення на її основі веб-служби регулярного космічного моніторингу наслідків лісових пожеж. Користувачами такої служби можуть бути державні контролюючі структури, страхові компанії, енергетичні та нафтопереробні компанії, муніципальні служби, приватні компанії, фермери, телерадіокомпанії та ін. засоби масової інформації, населення, яке проживає поблизу територій, постраждалих від лісових пожеж.

Ключові слова: дистанційне зондування, супутниковий моніторинг, багатоспектральні знімки, лісові пожежі, спектральні індекси, NBR, обробка зображень

Цель. Разработка технологии обработки спутниковых снимков, которая обеспечивает повышение достоверности и оперативности определения площади лесных гарей по данным многоспектральной спутниковой съемки низкого и среднего пространственного разрешения.

Методика. Используются методы оценки состояния растительности на выгоревших площадях, применяются в комплексе различные вегетационные индексы и методы классификации космических изображений. Методика дешифрирования гарей включала следующие основные этапы: отбор снимков за период до и после зафиксированных пожаров и расчет вегетационных индексов.

Результаты. Предложена эффективная технология автоматизированного определения площадей территорий, пострадавших от лесных пожаров, с использованием спутниковых снимков. Индексное изображение NBR (Normalized Burn Ratio) позволяет определить на спутниковом снимке гари по спектральным каналам ближнего ИК (NIR) и среднего ИК (SWIR) диапазонов по формуле $NBR = (NIR - SWIR) / (NIR + SWIR)$. Данная формула использует существенное различие коэффициентов отра-

жения (альbedo) в спектральных каналах ближнего ИК и среднего ИК диапазонов, соответствующих здоровому лесу и выгоревшим территориям. Технология позволяет реализовать все процедуры обработки в виде веб-сервиса, предоставляющего актуальные и достоверные данные о последствиях пожаров. Проведен анализ многоспектральных снимков низкого пространственного разрешения со спутников Terra, Aqua (прибор MODIS) с целью определения участков и периодов активного горения на выбранной территории (штат Калифорния). Выполнена обработка многоспектральных снимков среднего пространственного разрешения со спутника Landsat 8 (съемочный прибор OLI) с целью точного определения границ выгоревших участков и расчета их площадей. Площадь сгоревшего леса на наблюдаемой территории в период с 30 июля по 12 августа 2015 г. составила более 41 477 гектаров. Технология позволяет реализовать все процедуры обработки в виде веб-сервиса, предоставляющего актуальные и достоверные данные о последствиях пожаров.

Научная новизна. В отличие от известных методов определения площадей выгоревших территорий по разновременным спутниковым снимкам с использованием дифференцированного нормализованного индекса гари (dNBR), предложенная технология позволяет более точно определять выгоревшие участки благодаря независимо определению оптимальных порогов бинаризации для каждого снимка. Кроме того, технология предоставляет возможность анализировать временные изменения на пострадавших участках леса для длительных периодов наблюдения, используя созданные векторные слои с атрибутивной информацией. Существенными преимуществами технологии являются высокая степень автоматизации обработки спутниковых снимков и использование данных ДЗЗ, находящихся в свободном доступе в сети Интернет.

Практическая значимость. Разработанная технология предоставляет возможность создания на ее основе веб-службы регулярного космического мониторинга последствий лесных пожаров. Пользователями такой службы могут являться государственные контролирующие структуры, страховые компании, энергетические и нефтеперерабатывающие компании, муниципальные службы, частные компании, фермеры, телерадиокомпания и др. средства массовой информации, население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от лесных пожаров.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, спутниковый мониторинг, многоспектральные снимки, лесные пожары, спектральные индексы, NBR, обработка изображений

Рекомендовано до публікації докт. техн. наук В.М. Корчинським. Дата надходження рукопису 14.02.15.