

# ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА, ОХОРОНА ПРАЦІ

---

UDC 528.8:004

V. V. Hnatushenko, Dr. Sc. (Tech.), Prof.,  
D. K. Mozhovyi, Cand. Sc. (Tech.),  
V. V. Vasyliiev

Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine,  
e-mail: vvgnat@ukr.net

## SATELLITE MONITORING OF DEFORESTATION AS A RESULT OF MINING

В. В. Гнатушенко, д-р техн. наук, проф.,  
Д. К. Мозговий, канд. техн. наук,  
В. В. Васильєв

Дніпровський національний університет імені Олеся  
Гончара, м. Дніпро, Україна, e-mail: vvgnat@ukr.net

## СУПУТНИКОВИЙ МОНІТОРИНГ ВИРУБУВАННЯ ЛІСІВ У РЕЗУЛЬТАТІ РОЗРОБКИ РОДОВИЩ КОРИСНИХ КОПАЛИН

**Purpose.** Development of a method for automated processing of satellite images, which would provide higher reliability and efficiency of determining the area of mining-related deforestation by the data of multispectral space imaging.

**Methodology.** For identification and quantitative evaluation of the deforested area a method for processing images from Landsat 7 and Landsat 8 satellites was developed, which includes the following stages: threshold binarization of the indexed image; morphological filtering of the binary image; vectorization of the binary image, determination of boundaries and area of vegetation; formation of the differential image, binarization, vectorization and determination of the boundaries and area of clearings; visualization of changes on the digital map, recording of attributes of the objects (areas of deforestation) into a dbf file and export of the vector layer into a kml-file.

**Findings.** The proposed method provides a possibility to perform detection of territories and determination of the areas of illegal logging as a result of mining in an automated mode. With the use of the developed method, processing of multispectral images of Landsat 7 of the year 2002 and Landsat 8 of the year 2013 was carried out. According to the Landsat satellite data, the area of deforestation on the observed territory amounted to around 27 thousand hectares.

**Originality.** In contrast to known methods for determination of the area of deforestation by satellite images of visible spectrum obtained at different time, the proposed method enables automatic determination of areas of deforestation owing to complex utilization of spectral channels of visible and near infrared bands. A complex mask of clouds and shadows was proposed, which, in comparison with the standard mask obtained with the algorithm of automatic cloud assessment (ACCA), helps to reduce errors in determination of the deforestation area. The use of the spectral index instead of radiometric and color indicators enables automatic exclusion of accidental non-vegetation objects from the results of processing. This also provides an opportunity to analyze temporal changes of the NDVI on the damaged forest territories over long periods of observations using the created vector layers with attributed information.

**Practical value.** The developed method can be implemented in software as a web-service for monitoring of anthropogenic changes in the environment due to the availability of satellite imagery and advanced processing technologies. Potential users of such a service are: state supervising authorities; police; emergency services; forestry service; municipal services; environmental services (taking measures to remediate damaged areas).

**Keywords:** *remote sensing, deforestation monitoring, Landsat, multispectral satellite imagery, spectral indexes*

**Introduction.** There are several negative effects of mining on the environment [1]. To make mining possible, several forests are cleared and this leads to deforestation.

The forests of the world cover about 3.4 billion hectares. The largest loss to growth ratio of forested areas has been registered in the tropical zone. Establishment of large mining enterprises in Amazonia leads to deforestation and erosion of soils; moreover, mining there is predominantly open-pit. Open-pit mining is a type of strip mining in which the ore deposit extends very deep in the ground, necessitating the removal of layer upon layer of overburden and ore. For instance, open-pit extraction of bauxites in Brazil has destroyed huge areas of forests and arable land.

Satellites are already valuable tools for deforestation monitoring. In recent years they have delivered consistent data on forest change over large and often remote areas. Deforestation in the Amazon basin is a global problem because the Amazon rainforest plays a key role in the hydrological and climate systems of the Earth and strongly influences the global climate. Forests absorb around a third of the carbon emission from burning fossil fuels (they take approximately 2.4 billion tons of carbon out of the atmosphere a year). In order to reduce the pace of the climate change at least a little, felling of the Amazon rainforests has to be minimized.

**Statement of the research problem.** For the vast forest territories of the Amazon, characterized by wide variety of species and difficult access, the most efficient way of monitoring is that with the use of remote sensing satellites [2–5]. Modern earth observation satellites are capable of providing the most prompt and reliable information about the current state of the forest and economic activities related to it on any most remote territory, which is unachievable with observations on the ground. The main purpose of the satellite monitoring is control over compliance with the main requirements of the legislation on wild and protected forests, as well as compliance with the rules of forest exploitation [6–9].

On the other hand, when exploring new natural deposits, especially those located in sparsely populated territories with adverse natural environment and of difficult access, where any activity, beginning with geological survey, is seriously risky and vastly expensive, requirements of industrial, labor, environmental and economic safety imply using detailed, accurate and up-to-date geospatial basis. Existing topographic maps, certainly, do not meet requirements of explorers of natural resources on the mentioned parameters; besides, they do not show objects important from the point of view of exploration of the territory.

**Objectives of the article.** The main objective is to develop an automated processing method of the medium and high spatial resolution multispectral satellite images, which provides increased reliability, accuracy and efficiency of determining the deforestation area. The main tasks of satellite deforestation monitoring are [8, 9]:

- detection of territories and determination of areas of illegal felling;
- detection of violations of acting rules in allocating of plots for industrial or sanitary felling;

- monitoring of the activities on the territories damaged by deforestation;
- analysis of consequences of the felling – monitoring of the dynamics and nature of changes (soil erosion, restoration of vegetation, swamp formation, etc.).

**The input data.** The main requirements to the satellite images are:

- the images for processing should represent the same territory;
- the images should be obtained in the same season;
- the imaging should be made by imaging devices of the similar type (comparison of images is possible only if the spectral bands of the imaging systems are the same);
- images should be of the same or similar resolution, otherwise, images will contain different information about the objects.

For the satellite deforestation monitoring it is possible to use multispectral images of medium resolution obtained from satellites Landsat 7 (imaging device ETM) and Landsat 8 (imaging device OLI). They have 8 and 11 spectral channels, respectively, with the resolution of 15 m (panchromatic channel), 30 m (channels of the visible, near IR and medium IR bands) and 100 m (channels of far IR) located in the transparency windows of the atmosphere.

**Methodology.** For this work, multispectral images of the given region from Landsat 7 of the year 2002 and Landsat 8 of 2013 were used. Images from Landsat 7 had a small percentage of clouds, and images from Landsat 8 were practically without clouds. Therefore, for the correct comparison of the images obtained at different time and accurate determination of the areas of clearings, it was necessary to mask the cloud and shadow pixels. Landsat 7 and Landsat 8 data processing used Automated Cloud Cover algorithm (ACCA) to generate scene-wide cloud scores [2].

For creating the mask of shadows our own algorithm adapted for Landsat 7 images was used [10]. For the quantitative evaluation of the area of clearings, images were processed and improved in the parts of calculating the NDVI, filtering and also superimposing the mask of clouds and shadows. The method comprises the following stages (Fig. 1):

- choice of the area of interest. Search of images by date, downloading and unpacking of files;
- formation of a multichannel image;
- spatial enhancement (pansharpening);
- for the visual evaluation of the area of clearing the rainforests, a spectral synthesis was performed with the use of visible and IR bands;
- trimming the images to the boundaries of the given territory;
- formation of the mask of clouds and shadow for the image from Landsat 7;
- creation of indexed NDVI images on the base of the Landsat 7 image and the Landsat 8 image (Fig. 2);
- threshold binarization of the indexed images obtained from the Landsat 7 and Landsat 8 images;
- formation of the difference image, binarization, vectorization and determination of boundaries and areas of clearings (Fig. 3);

- morphological filtering of the difference image images;
- vectorization of the binary images, determination of the boundaries and area of vegetation based on the Landsat 7 and Landsat 8 images;
- visualization of the changes on a digital map, recording of the attributes of objects (areas of clearings) into a dbf file and export of the vector layer into a kml file.

In the synthesized images, the areas of clearings stand out of the background of vegetation owing to using channels of the IR band. The NDVI is calculated with the formula  $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$ . The threshold of binarization is in the range of 0.2...0.4 and depends on the season of imaging. For satellite image processing own software modules in the language IDL were used.

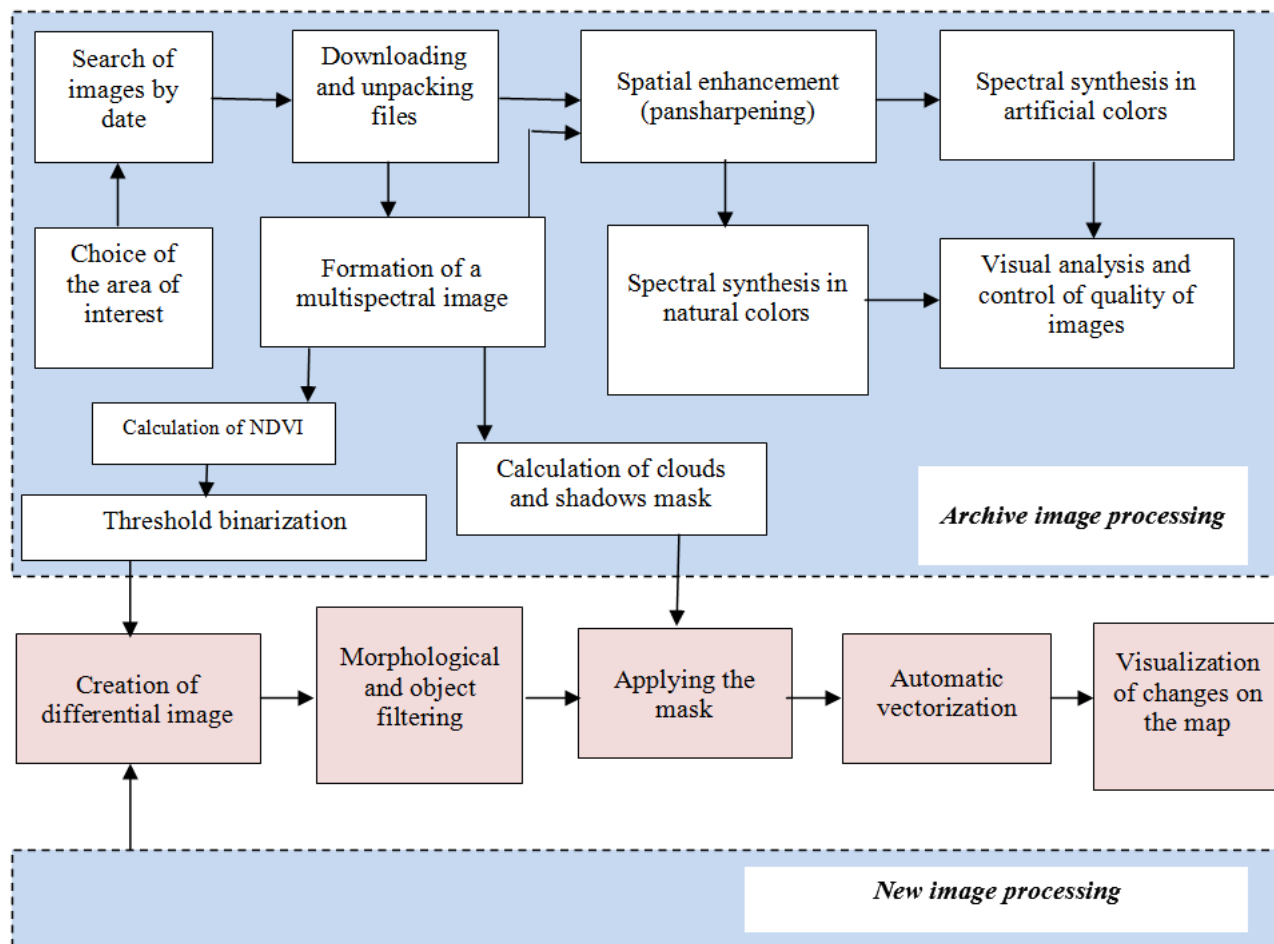


Fig. 1. Algorithm of automated processing of multispectral satellite imagery

In the synthesized images, the areas of clearings stand out of the background of vegetation owing to using channels of the IR band. The NDVI is calculated with the formula  $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$ . The threshold of binarization is in the range of 0.2...0.4 and depends on the season of imaging. For satellite image processing own software modules in the language IDL were used.

**Scientific results.** Below, the results of satellite monitoring of the Amazon rainforest felling in the selected region of Brazil are shown (Fig. 3). According to the data from Landsat satellites, the area of the cleared forest on the observed territory amounted to approximately 27 247 hectares.

**Scientific originality.** Most existing methods for determining areas of felling forests at different times panchromatic and multispectral satellite imagery in the vis-

ible range using a visual interpretation and subsequent manual processing of images, which leads to high labor intensity and low efficiency of the results.

The proposed method can determine the area of deforestation more accurately and quickly (in automatic mode) through an integrated use of spectral channels of visible and near infrared ranges. In addition, the use of the index instead of the spectral radiometric and color attributes analyzed by visual method, automatically excluded from the processing results of foreign objects, which are not plants.

At the same time it is possible to analyze the NDVI changes in the affected forest areas for long periods of observation, by using vector layers with attribute information.

**Practical value.** Since deforestation in the Amazon basin is a global problem, in the recent years, a necessity

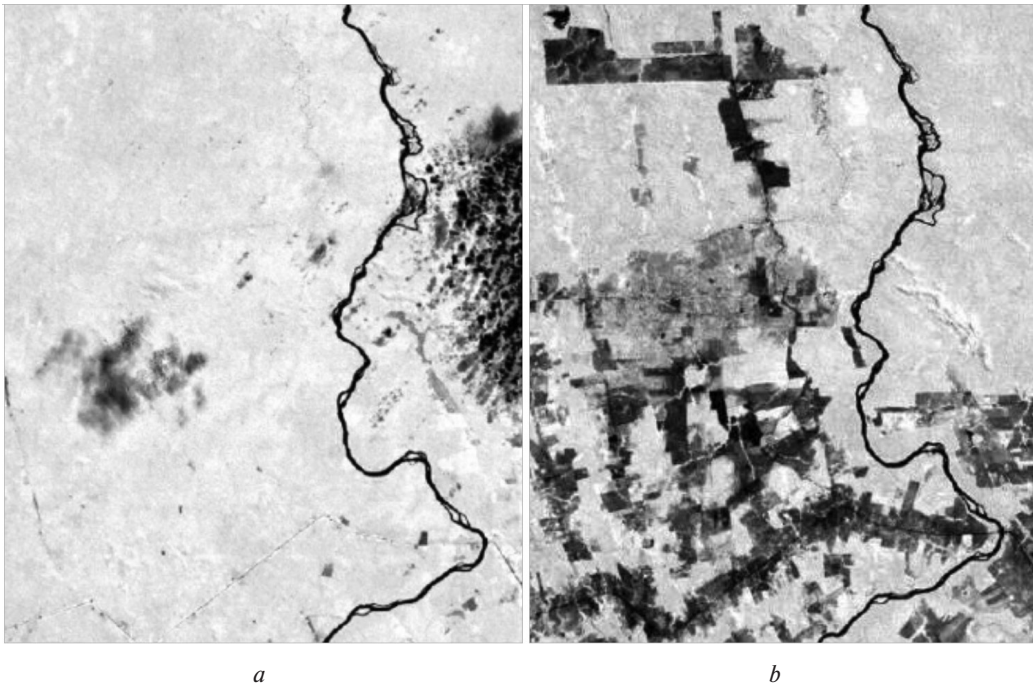


Fig. 2. Gray-scale indexed images (NDVI):  
 a – Landsat 7 of the year 2002; b – Landsat 8 of the year 2013

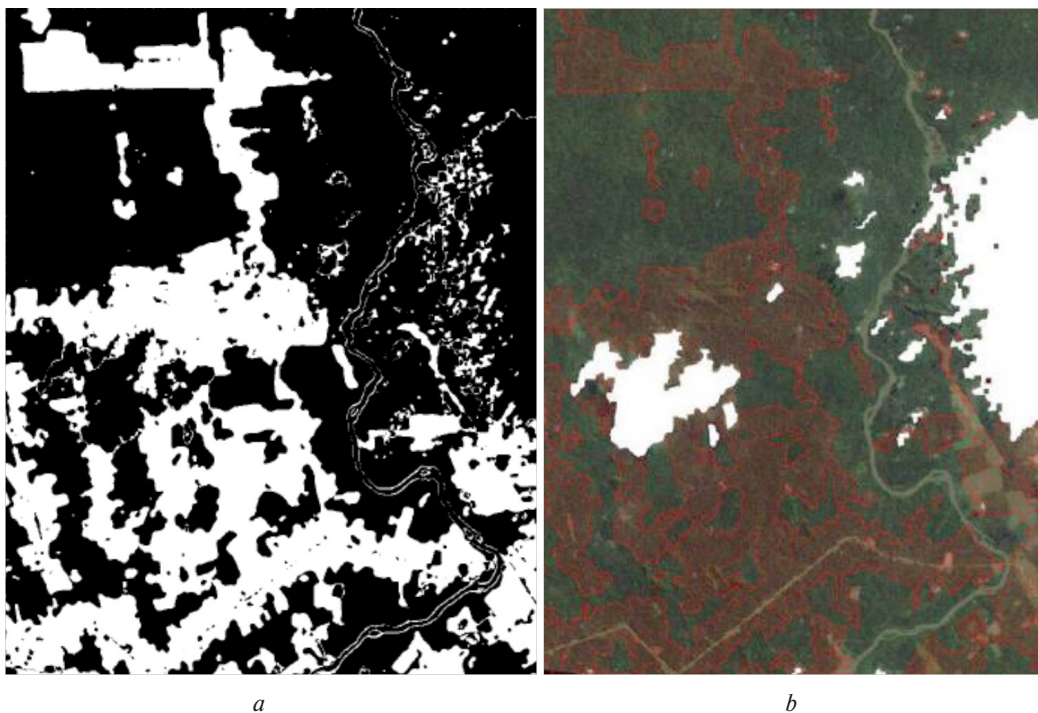


Fig. 3. Determination of boundaries of deforestation by the images from Landsat 7 and Landsat 8:  
 a – Differential binary image of NDVI; b – Deforestation vector layer

emerged to create a web-service for regular satellite monitoring of felling rainforests. Now this has become possible owing to availability of satellite images and modern technologies of their processing. Potential users of such a service are:

- state supervising authorities (supervision over agriculture, construction and manufacturing activities in the region);

- police (fighting against illegal activities);
- emergency services (firefighting service);
- forestry service (detection of violation of the acting rules in allocation of plots for industrial or sanitary felling);
- municipal services (unbiased evaluation of the scale and severity of consequences, determination of the actual damage from logging);

- environmental services (carrying out measures for restoration of affected territories);

- population living close to the territories affected by felling of rainforests (obtaining of unbiased and reliable information as for the scale and severity of the consequences of clearing of rainforests) – the most numerous user.

**Conclusions.** The proposed method allows performing basic tasks of the satellite monitoring of anthropogenic changes in the environment in automatic mode:

- detection and identification of areas of illegal logging;

- identify violations of existing rules in the allocation of plots for industrial or sanitary felling;

- control activities in areas affected by deforestation;

- analysis of the impact of felling – monitoring the dynamics and nature of the changes (soil erosion, restoration of vegetation, water logging, etc.).

The essential advantage of the technique is a high degree of automation of the satellite images processing and the use of remote sensing data, which are freely available on the Internet. Further research will be associated with analysis of texture characteristics of plant facilities with the aim of more detailed classification.

#### References.

1. Ravi, Jain, 2015. *Environmental Impact of Mining and Mineral Processing: Management, Monitoring, and Auditing Strategies*. Elsevier Science.
2. U. S. Geological Survey, Department of the Interior, 2016. *Landsat 8 Data Users Handbook Version 2.0* [Accessed 29 August 2016].
3. Hamunyela, E., Verbesselt, J. and Herold, M., 2016. Using spatial context to improve early detection of deforestation from Landsat time series. *Remote Sensing Environ*, 172, pp. 126–138.
4. Lewis, S. L., Edwards, D. P. and Galbraith, D., 2015. Increasing human dominance of tropical forests. *Science*, 349, pp. 827–832.
5. Verzhigora, V. G., Husak, O. M., 2013. Analysis of the efficiency of detection of sources of forest fires by an operator using satellite images. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(2(61)), pp. 17–19.
6. Hansen, M. C., Krylov, A., Tyukavina, A., Potapov, P. V., Turubanova, S., Zutta, B., Suspense, I., Margono, B., Stolle, F. and Moore, R., 2016. Humid tropical forest disturbance alerts using Landsat data. *Environmental Research Letters*, 11, 034008 [online]. Available at: <<http://dx.doi.org/10.1088/1748-9326/11/3/034008>> [Accessed 14 August 2016].
7. Hnatushenko, V. V., Hnatushenko, Vik. V., Mozho-vyi, D. K. and Vasyliiev, V. V., 2016. Satellite technology of the forest fires effects monitoring. *Naukovyi Visnyk Natsionalnoho Hirnychoho Universytetu*, 1(151), pp. 70–76.
8. Hermosilla, T., Wulder, M. A., White, J. C., Coops, N. C., Hobart, G. W. and Campbell, L. B., 2016. Mass data processing of time series Landsat imagery: pixels to data products for forest monitoring. *International Journal of Digital Earth* [e-journal]. <http://dx.doi.org/10.1080/17538947.2016.1187673>.

9. Zhe, Zhu, Curtis, E. Woodcock and Pontus Olofsson, 2012. Continuous monitoring of forest disturbance using all available Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 122, pp. 75–91.

10. DeVries, B., Verbesselt, J., Kooistra, L. and Herold, M., 2015. Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 161, pp. 107–121.

11. Shedlovska, Y. I. and Hnatushenko, V. V., 2016. Shadow detection and removal using a shadow formation model. In: *Proceedings of the 2016 IEEE 1st International Conference on Data Stream Mining and Processing, DSMP* [e-journal]. pp. 187–190. <http://dx.doi.org/10.1109/DSMP.2016.7583537>.

**Мета.** Розробка методу автоматизованої обробки супутникових знімків, що забезпечує підвищення достовірності та оперативності визначення площі вирубок лісів при розробці родовищ корисних копалин за даними багатоспектральної космічної зйомки.

**Методика.** Для ідентифікації й кількісної оцінки площі вирубки лісів розроблено метод обробки різночасових знімків зі супутників Landsat 7 і Landsat 8, що включає такі етапи:

- обрізка знімків по межах заданої території;  
- формування маски хмарності й тіней по знімку Landsat 7;

- створення індексних зображень NDVI по знімках Landsat 7 та Landsat 8;

- порогова бінаризація індексного зображення;

- морфологічна фільтрація бінарного зображення;

- векторизація бінарного зображення, визначення меж і площі рослинності;

- формування різницевого зображення, бінаризація, векторизація й визначення меж і площі вирубок;

- візуалізація змін на цифровій карті, запис атрибутів об'єктів (площ рубок) у dbf-файл і експорт векторного шару у kml-файл.

**Результати.** Запропонований метод дозволяє в автоматичному режимі здійснювати виявлення територій і визначення площ незаконних рубок лісу в результаті розробки родовищ корисних копалин. З використанням розробленої методики була виконана обробка багатоспектральних знімків із супутників Landsat 7 за 2002 р. та Landsat 8 за 2013 р. За даними супутників Landsat, площа вирубаного лісу на спостережуваній території склала близько 27 тис. гектарів.

**Наукова новизна.** На відміну від існуючих методів визначення площ вирубок лісів по різночасовим супутниковим знімкам видимого діапазону запропонований метод дозволяє в автоматичному режимі визначати площі вирубок лісів завдяки комплексному використанню спектральних каналів видимого й ближнього інфрачервоного діапазонів. Запропонована комплексна маска хмарності та тіні, що, у порівнянні зі стандартною маскою, отриманою за алгоритмом автоматичної оцінки хмар-

ності (АССА), дозволяє зменшити похибки визначення площі вирубок лісу. Використання спектрального індексу замість радіометричних і колірних ознак дозволяє автоматично виключити з результатів обробки сторонні об'єкти, що не є рослинністю. При цьому з'являється можливість аналізувати часові зміни NDVI на постраждалих ділянках лісу для тривалих періодів спостереження, використовуючи створені векторні шари з атрибутивною інформацією.

**Практична значимість.** Розроблений метод може бути реалізований у складі веб-служби регулярного супутникового моніторингу антропогенних змін навколишнього середовища завдяки доступності супутникових знімків і сучасних технологій їх обробки. Користувачами такої служби можуть бути державні контролюючі структури, поліція, служби з ліквідації надзвичайних ситуацій, лісова й муніципальні служби, екологічна служба (проведення заходів з відновлення постраждалих територій).

**Ключові слова:** *дистанційне зондування Землі, моніторинг, вирубка лісу, Landsat, супутникова зйомка, багатоспектральні знімки, спектральні індекси*

**Цель.** Разработка метода автоматизированной обработки спутниковых снимков, который обеспечивает повышение достоверности и оперативности определения площади вырубок лесов при разработке месторождений полезных ископаемых по данным многоспектральной космической съемки.

**Методика.** Для идентификации и количественной оценки площади вырубки лесов разработан метод обработки снимков со спутников Landsat 7 и Landsat 8, который включает следующие этапы:

- обрезка снимков по границам заданной территории;
- формирование маски облачности и теней по снимку Landsat 7;
- создание индексных изображений NDVI по снимкам Landsat 7 и Landsat 8;
- пороговая бинаризация индексного изображения;
- морфологическая фильтрация бинарного изображения;
- векторизация бинарного изображения, определение границ и площади растительности;
- формирование разностного изображения, бинаризация, векторизация и определение границ и площади вырубок;
- визуализация изменений на цифровой карте, запись атрибутов объектов (площадей вырубок) в dbf-файл и экспорт векторного слоя в kml-файл.

**Результаты.** Предложенный метод позволяет в автоматизированном режиме выполнять обнару-

жение территорий и определение площадей незаконных рубок леса в результате разработки месторождений полезных ископаемых. С использованием разработанной методики была выполнена обработка многоспектральных снимков со спутников Landsat 7 за 2002 г. и Landsat 8 за 2013 г. По данным спутников Landsat, площадь вырубленного леса на наблюдаемой территории составила около 27 тыс. гектаров.

**Научная новизна.** В отличие от существующих методов определения площадей вырубок лесов по разновременным спутниковым снимкам видимого диапазона, предложенный метод позволяет в автоматическом режиме определять площади вырубок лесов благодаря комплексному использованию спектральных каналов видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. Предложена комплексная маска облачности и тени, которая, по сравнению со стандартной маской, полученной по алгоритму автоматической оценки облачности (АССА), позволяет уменьшить погрешности определения площади вырубок леса. Использование спектрального индекса вместо радиометрических и цветовых признаков позволяет автоматически исключить из результатов обработки посторонние объекты, не являющиеся растительностью. При этом появляется возможность анализировать временные изменения NDVI на пострадавших участках леса для длительных периодов наблюдения, используя созданные векторные слои с атрибутивной информацией.

**Практическая значимость.** Разработанный метод может быть реализован в составе веб-службы регулярного спутникового мониторинга антропогенных изменений окружающей среды в результате разработки месторождений полезных ископаемых благодаря доступности спутниковых снимков и современным технологиям их обработки. Пользователями такой службы могут являться государственные контролирующие структуры, полиция, службы по ликвидации чрезвычайных ситуаций, лесная служба, муниципальные службы, экологическая служба (проведение мероприятий по восстановлению пострадавших территорий).

**Ключевые слова:** *дистанционное зондирование Земли, мониторинг, вырубка леса, Landsat, спутниковая съемка, многоспектральные снимки, спектральные индексы*

*Рекомендовано до публікації докт. техн. наук О. І. Михальовим. Дата надходження рукопису 15.09.16.*