

УДК 004.9

DOI: <http://dx.doi.org/10.20535/2219-380414201670090>

Д. К. Мозговой<sup>1</sup>, к.т.н., В. В. Васильев<sup>2</sup>, аспірант

## ОЦЕНКА ПОСЛЕДСТВИЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ПО ДАННЫМ ДЗЗ

**En**

Of all factors killing forest, the most negative consequences for the biosphere are caused by forest fires. They not only destroy the forest, but also, as a result of huge mass of organic substances burning, emit large quantities of carbon dioxide to the atmosphere, thus increasing the greenhouse effect. Forest fires also destroy stocked lumber, structures built in the forests, forest floor and undergrowth and stocks of hay and peat. Fires scare away or kill animals inhabiting forests, decrease berries and mushrooms crops, disrupt the water balance of territories and stipulate shoaling of rivers and banks erosion, decrease humus in soils. The main problem of fighting forest fires is related to difficulty of their early detection on huge territories (especially in low populated places). For solving this problem, recently satellite imaging came in use, which, in comparison with observations from the surface and patrolling, provides full coverage of the territory of forests. And the possibility 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 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 trees pathology. Because of high labor intensity and limited accessibility of remote areas, such inspections cover only an insignificant part of the forest area damaged by fires. This encourages the development of alternative methods

---

<sup>1</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

<sup>2</sup> Днепропетровский национальный университет имени Олеся Гончара

for evaluation of the forests state damaged by fires with the use of satellite imaging. For evaluation of the forest fires aftermath, data from Landsat, SPOT and RapidEye to provide periodical global coverage with medium and high resolution images are used.

Satellite images help to identify damages parts of forests on big territories and determine the type of the damage. Further this information is used for monitoring the process of the forest recreation. We present the results of processing and analysis of multispectral satellite images of low and medium spatial resolution to assess the forest fires aftermath on the territory of California.

**Ua**

Наведено результати обробки та аналізу багатоспектральних супутникових знімків низького і середнього просторового розрізнення з метою оцінки наслідків лісових пожеж на території Каліфорнії. За даними супутника *Landsat 8* (знімальний прилад *OLI*) визначено межі вигорілих ділянок і розрахована площа постраждалої території.

## **Введение**

Ежегодно в мире возникает в среднем около 400 тыс. лесных пожаров, которые наносят огромный вред лесному фонду, уничтожая миллионы гектаров лесов, что составляет до 0,5 – 1% всех лесов на Земле. Помимо прямого ущерба лесам, в воздух выбрасываются значительные объемы углекислого газа и продуктов сгорания древесины. На долю лесных пожаров приходится около 60% всех древостоев, ежегодно погибающих от негативного воздействия всего комплекса антропогенных и природных факторов. В категорию гарей переходит от 10 до 20% ежегодно охватываемой огнем площади, а на остальной части этой площади фиксируются повреждения древостоев разной интенсивности.

## **Постановка проблемы**

В настоящее время США являются мировым лидером как по количеству ежегодно фиксируемых лесных пожаров, так и по площади пострадавших территорий. При этом штат Калифорния является одним из наиболее пожароопасных в части лесных пожаров, несмотря на постоянное совершенствование средств и методов предотвращения, раннего обнаружения и борьбы как с самими пожарами, так и с их последствиями. Особенно актуальной проблема лесных пожаров в Калифорнии стала в последние годы в связи с усилившейся засухой. Основная проблема борьбы с пожарами заключается в сложности их своевременного обнаружения на огромных площадях (особенно в малонаселенных областях). Для решения этой проблемы в последние годы стала широко применяться спутниковая съемка, которая по сравнению с привычными способами визуального наблюдения с поверхности Земли и патрулирования, предоставляет полный охват территории лесов. Кроме того, возможность оперативного наблюдения за одной и той же территорией со спутников дает большое преимущество этого

метода перед остальными, особенно на удаленных от крупных агломераций территориях.

### **Текущее состояние**

Оценка экономических и экологических последствий лесных пожаров требует своевременного получения объективных данных о состоянии поврежденных насаждений, в том числе, о наличии в их составе усыхающих и усохших деревьев. Такого рода данные в настоящее время получаются, как правило, эпизодически в ходе наземных лесопатологических обследований, охватывающих, в силу трудоемкости используемых методов и слабой доступности лесов на значительной части территории, незначительную часть площади повреждаемых пожарами насаждений. Это побуждает к развитию альтернативных методов оценки состояния поврежденных пожарами лесов на основе спутниковой съемки. Спутниковые снимки позволяют выявлять поврежденные участки леса на больших территориях и диагностировать тип повреждений. В дальнейшем их используют для мониторинга процесса восстановления леса. Сейчас это делается с использованием специальных программ, поскольку таких веб-сервисов (в отличие от сервисов обнаружения пожаров) нет, хотя их необходимость очевидна, особенно для пожароопасных и труднодоступных регионов.

### **Исходные данные для исследований**

Для проведения спутникового мониторинга последствий лесных пожаров, возникших в США в июле-августе 2015г., была выбрана территория штата Калифорния. Для проведения исследований были использованы спутниковые снимки низкого и среднего разрешения, имеющиеся в свободном доступе.

### **Методология исследований**

Для дистанционного обнаружения и мониторинга активно действующих пожаров, в мире существуют специальные службы, использующие данные со спутников *Terra*, *Aqua* (прибор *MODIS*) и *NOAA* (прибор *AVHRR*), обеспечивающих ежедневное многократное покрытие всей территории суши снимками низкого разрешения. Открытый доступ к этим снимкам позволяет проводить оперативный контроль лесных массивов на всей территории Земли с более низкой по сравнению с патрулированием и стационарными методами обнаружения стоимостью. Однако, низкое пространственное разрешение приборов *MODIS* и *AVHRR* (размер пиксела 1x1 км) не позволяет с приемлемой точностью определять площади и степень поражения лесных массивов. Поэтому для оценки последствий лес-

ных пожаров используются данные со спутников *Landsat*, *SPOT* и *RapidEye*, обеспечивающих периодическое покрытие всей территории суши снимками среднего и высокого разрешения.

Для определения местоположения очагов пожаров и их динамики были использованы снимки со спутников *Terra* и *Aqua*, которые имеют поле зрения оптической системы  $110^\circ$  и обеспечивают обзорную съемку всей поверхности Земли с периодичностью 2 раза в сутки (ширина полосы захвата 2330 км). Съемочный прибор *MODIS* имеет 36 спектральных каналов с пространственным разрешением 250...1000 м и радиометрическим разрешением 12 бит, что позволяет наблюдать различные природные объекты и решать широкий спектр научно-прикладных задач.

На рис. 1 – рис. 7 показана динамика развития лесного пожара на выбранной территории в июле-августе 2015 г. по данным со спутников *Terra* и *Aqua* (съемочный прибор *MODIS*). Верхние снимки соответствуют комбинации каналов видимого диапазона (1-4-3), а нижние - видимого и теплового диапазонов (7-2-1).

Для более детального анализа последствий пожара использовались снимки со спутника *Landsat* 8 (съемочный прибор *OLI*), который имеет 7 спектральных каналов видимого и ИК-диапазонов (табл. 1) с радиометрическим разрешением 11 бит.

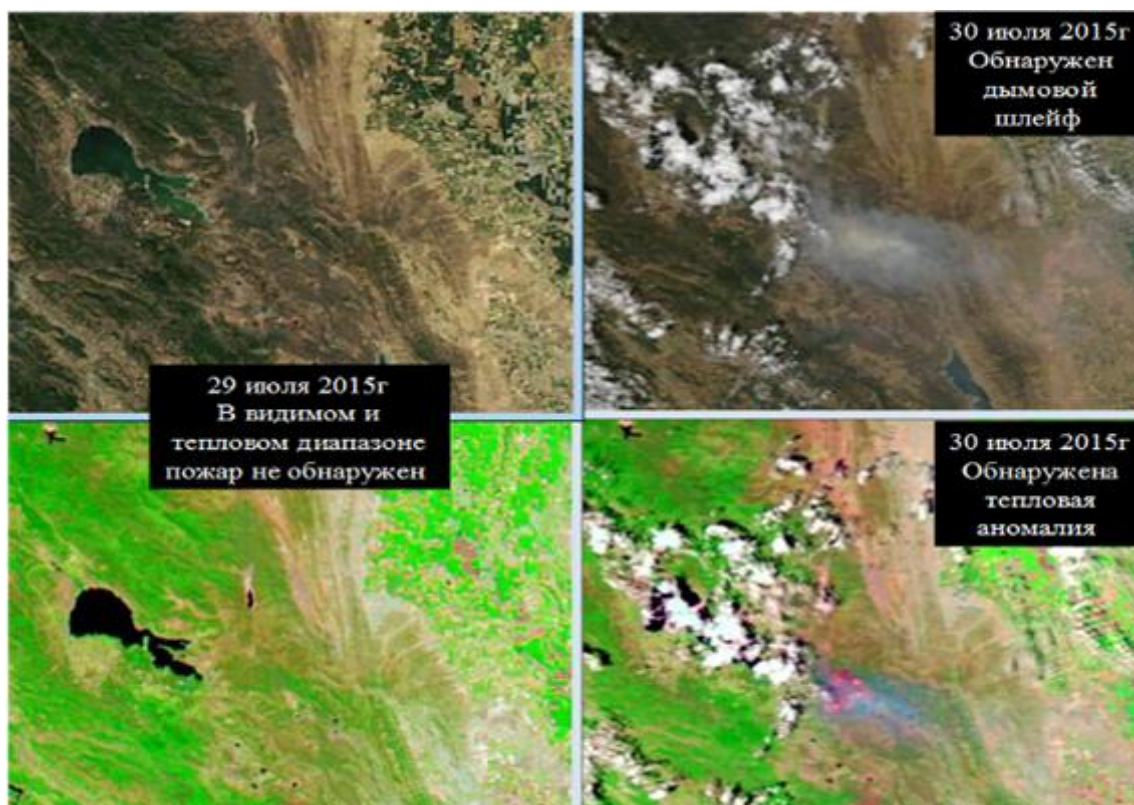


Рис. 1. Снимки *MODIS* за 29 и 30 июля 2015 г.



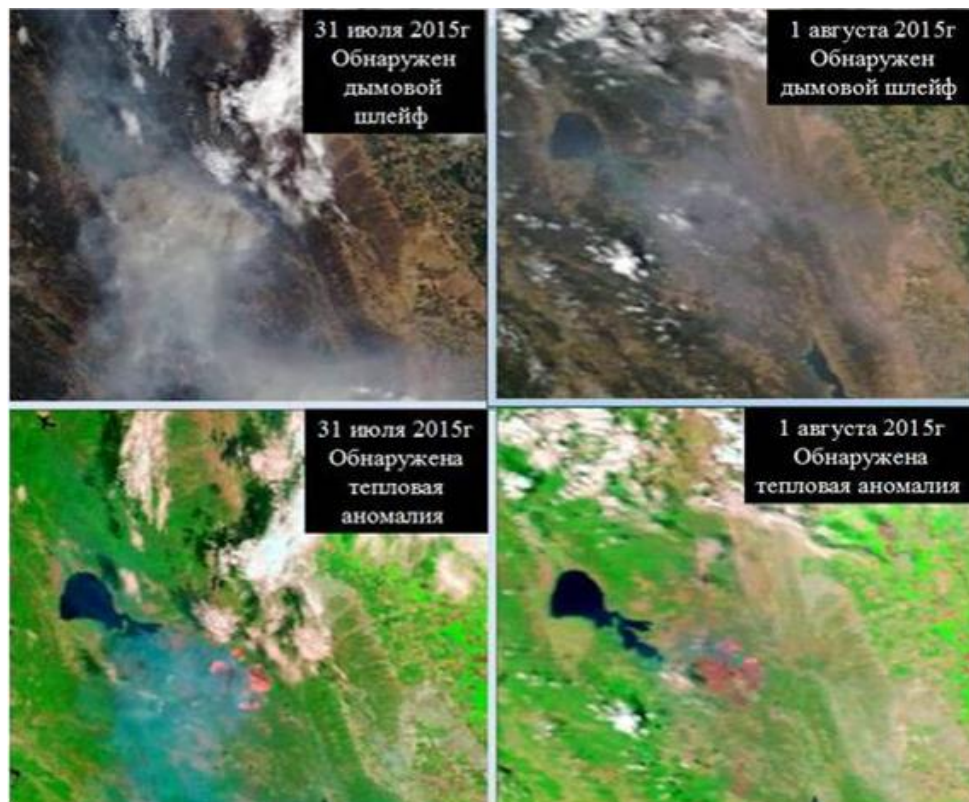


Рис. 2. Снимки *MODIS* за 31 июля и 1 августа 2015 г.

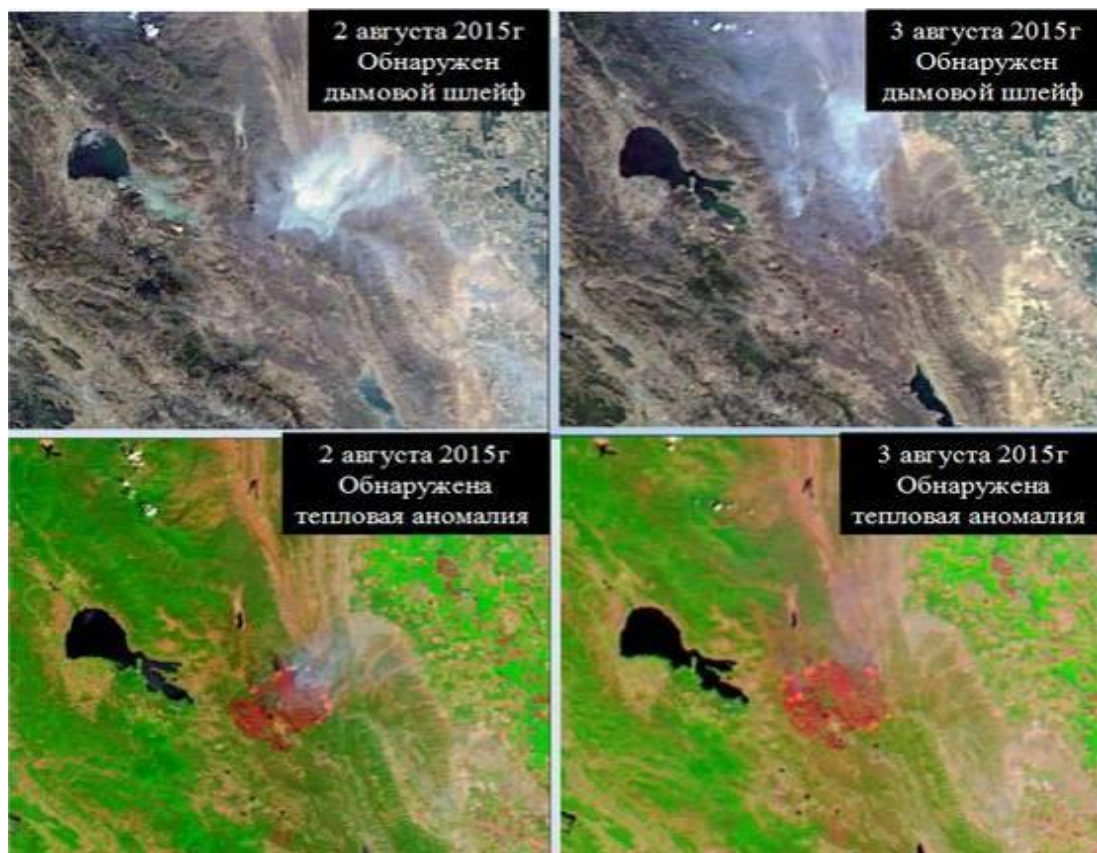
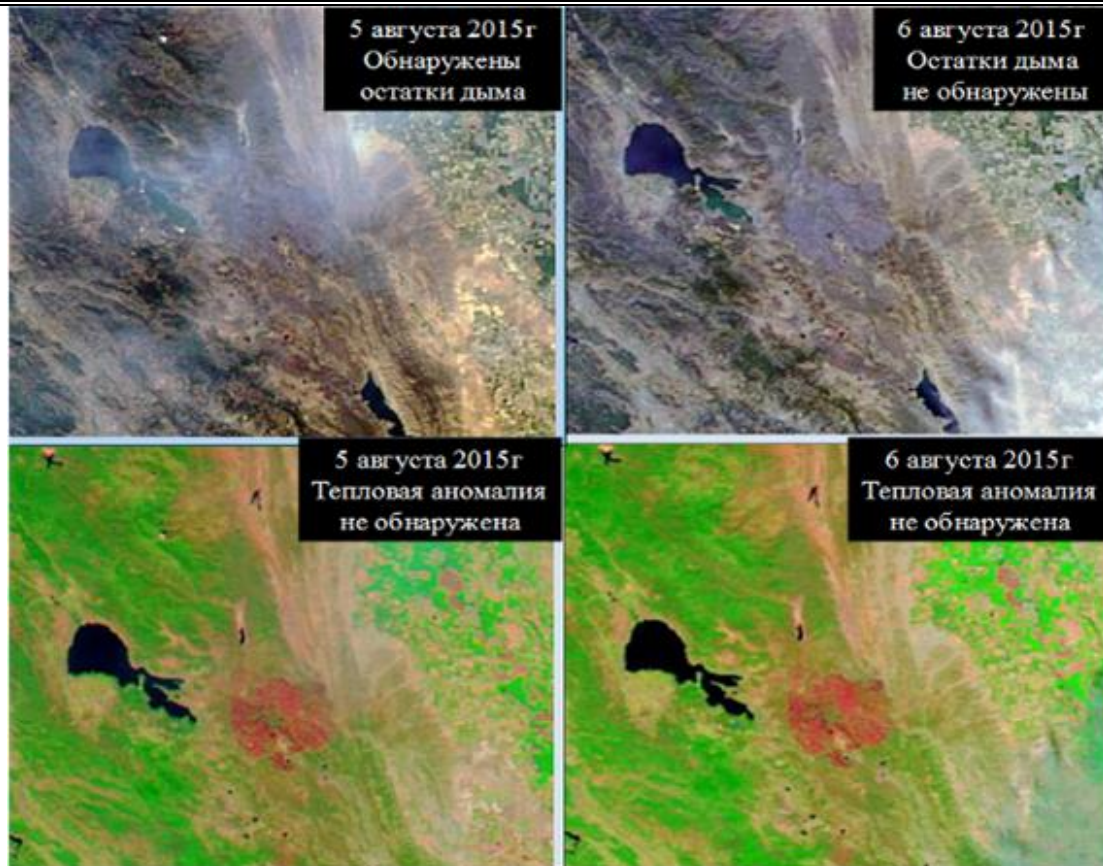
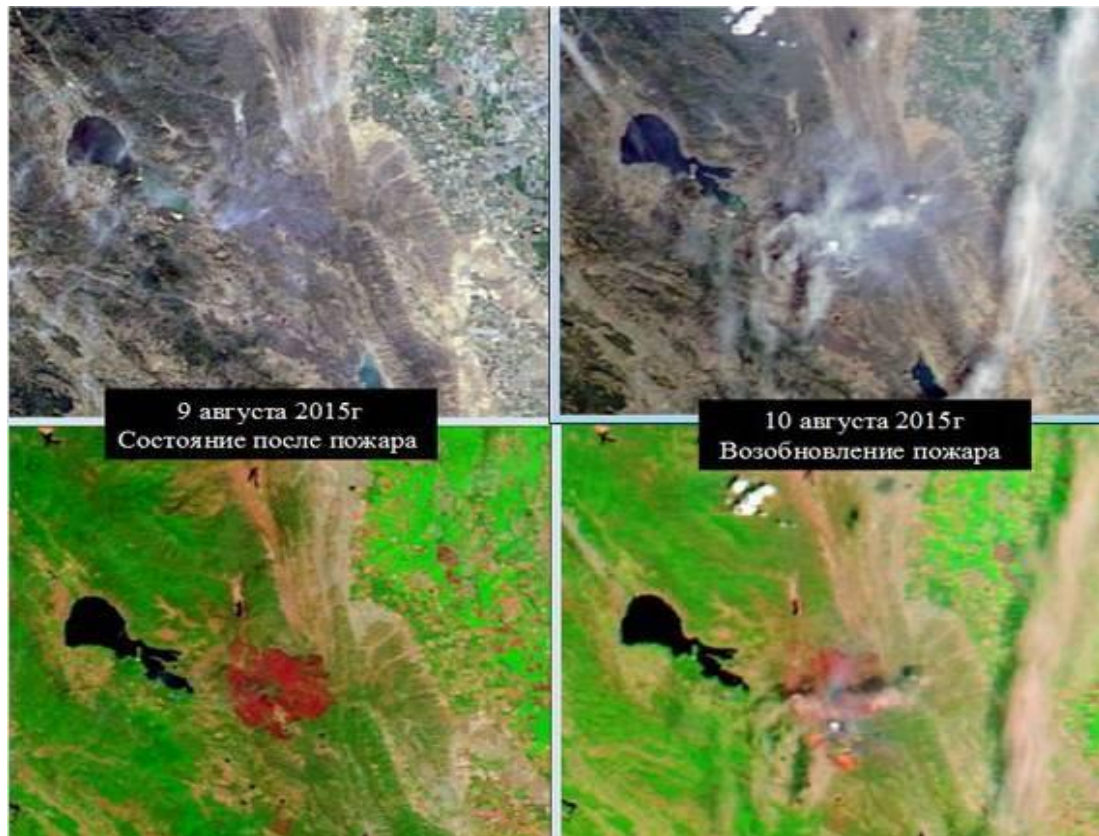


Рис. 3. Снимки *MODIS* за 2 и 3 августа 2015 г.



Рис. 4. Снимки *MODIS* за 5 и 6 августа 2015 г.Рис. 5. Снимки *MODIS* за 9 и 10 августа 2015 г.



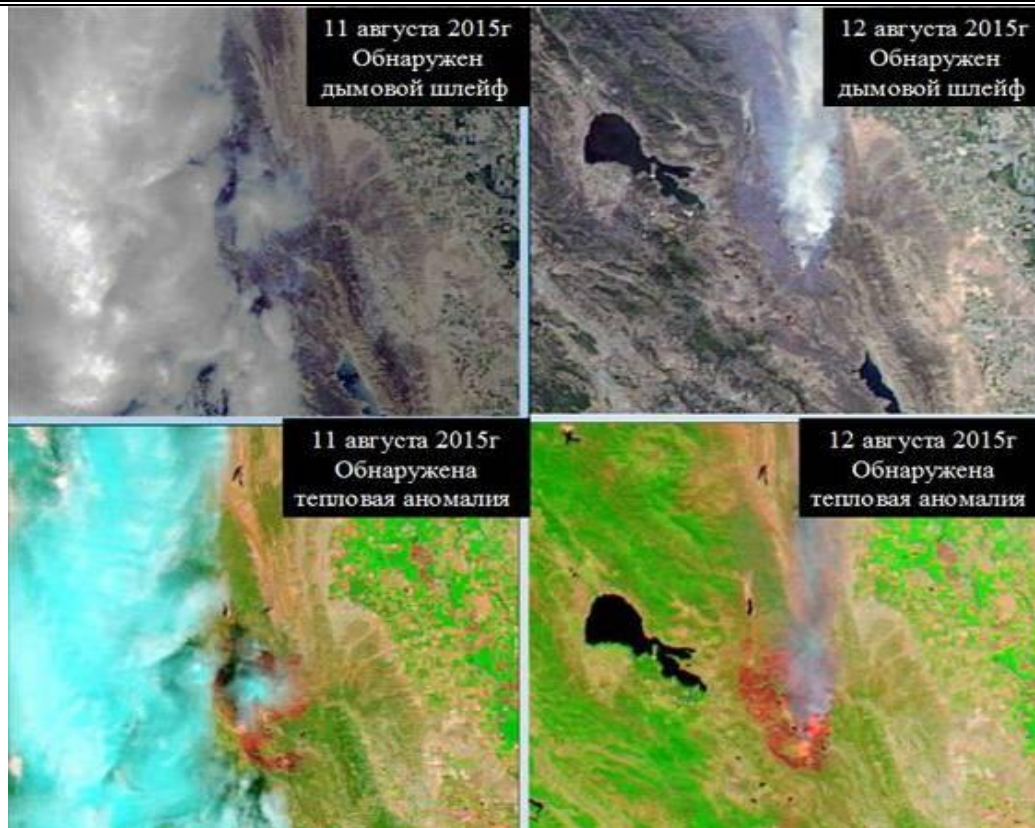


Рис. 6. Снимки *MODIS* за 11 и 12 августа 2015 г.

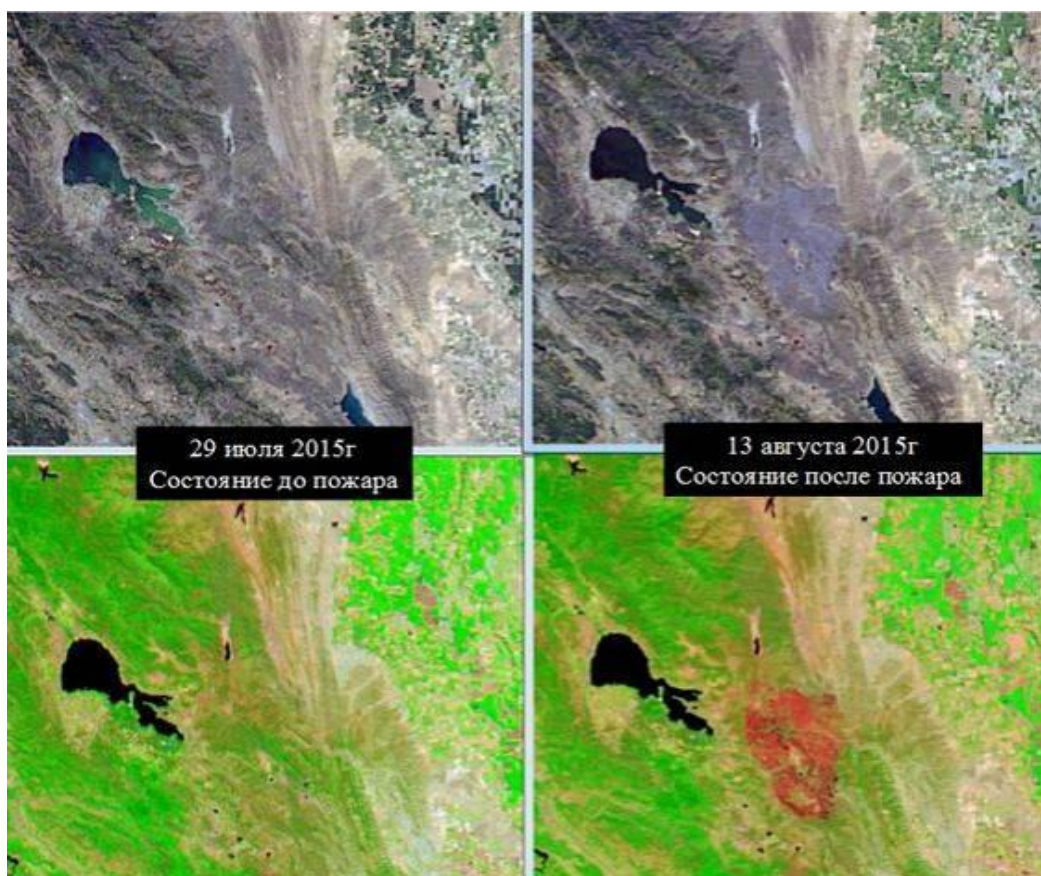


Рис. 7. Снимки *MODIS* за 29 июля и 13 августа 2015 г.

Таблиця 1.

Спектральные каналы *Landsat 8* (съёмочный прибор *OLI*)

Спектральный канал	Длины волн, мкм	Пространственное разрешение, м
Канал 1 - Побережья и аэрозоли	0.433 - 0.453	30
Канал 2 - Синий	0.450 - 0.515	30
Канал 3 - Зеленый	0.525 - 0.600	30
Канал 4 - Красный	0.630 - 0.680	30
Канал 5 - Ближний ИК	0.845 - 0.885	30
Канал 6 - Средний ИК	1.560 - 1.660	30
Канал 7 - Средний ИК	2.100 - 2.300	30
Канал 8 - Панхроматический	0.500 - 0.680	15
Канал 9 - Перистые облака	1.360 - 1.390	30

На рис. 8 – рис. 9 показаны последствия лесного пожара на выбранной территории в июле-августе 2015 г. по данным со спутника *Landsat 8* (съёмочный прибор *OLI*).

Для количественной оценки последствий лесного пожара в июле-августе 2015 г. была выполнена обработка снимков спутника *Landsat 8*, которая включала:

- предварительные операции (выбор области интереса, поиск снимка по дате и контроль качества снимка);
- спектральный синтез в натуральных цветах и в искусственных цветах с использованием тепловых каналов;
- создание индексного изображения *NBR*;
- пороговую бинаризацию индексного изображения;
- морфологическую фильтрацию бинарного изображения;
- векторизацию бинарного изображения и расчет площади гарей;
- визуализацию изменений на карте и экспорт векторного слоя в *kml*-файл.

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 отражения (альбедо) в спектральных каналах ближнего ИК и среднего ИК диапазонов, соответствующих здоровому лесу и выгоревшим территориям: в ближнем ИК диапазоне более высокое альбедо у здорового леса, а в среднем - у гари.



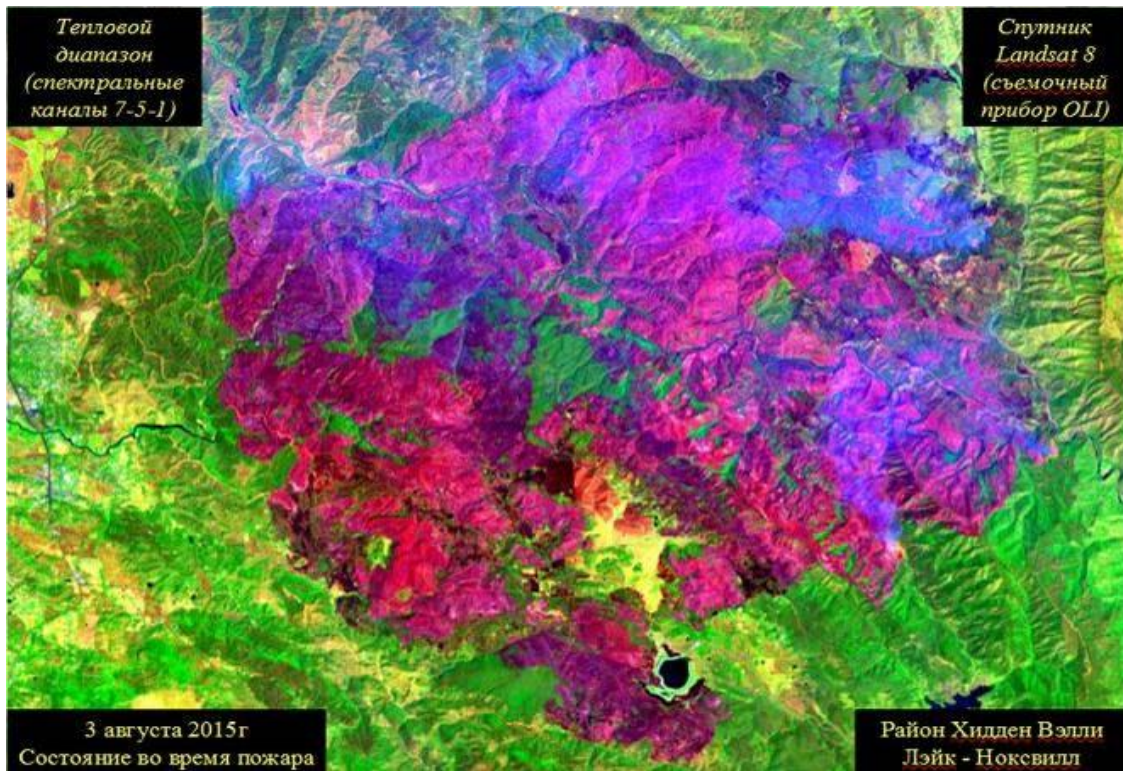


Рис. 8. Снимок *Landsat* 8 за 3 августа 2015 г.  
(видимый и тепловой диапазон)

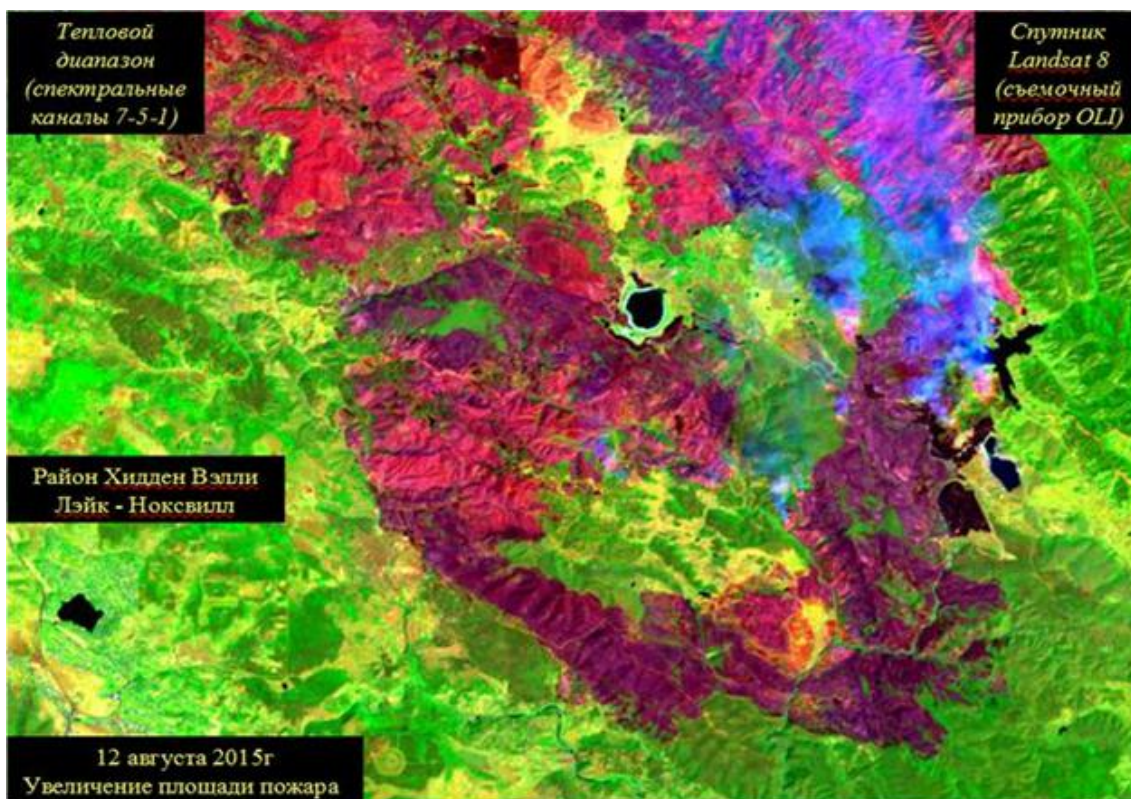


Рис. 9. Снимок *Landsat* 8 за 12 августа 2015 г.  
(видимый и тепловой диапазон)

**Результаты исследований**

На рис. 10 показан результат обработки снимка спутника *Landsat 8* за 19 августа 2015 г. Площадь сгоревшего леса на наблюдаемой территории в период с 30 июля по 12 августа 2015 г. составила более 41 477 гектаров.

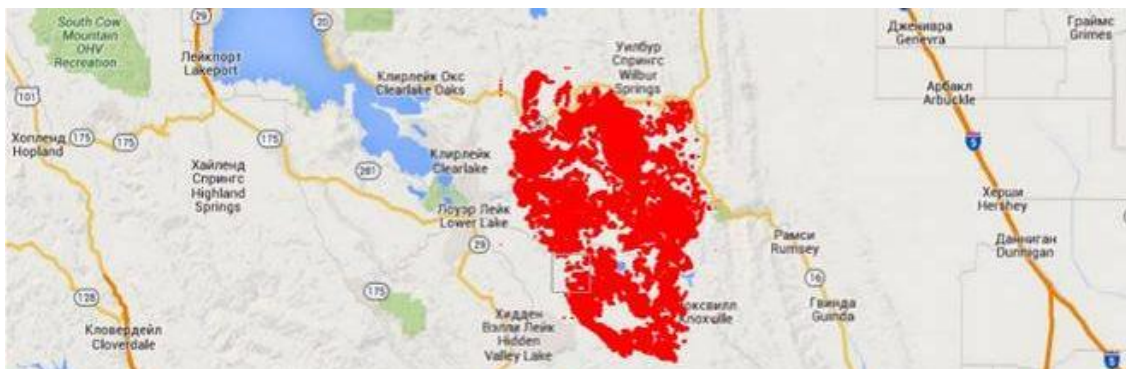


Рис. 10. Наложение векторного слоя на цифровую карту

**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 независимому 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, телерадиокомпании и др. средства массовой информации, население, проживающее вблизи территорий, пострадавших от лесных пожаров.

**Выводы**

Предложена эффективная технология автоматизированного определения площадей территорий, пострадавших от лесных пожаров с исполь-



зованием спутниковых снимков. 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* (съёмочный прибор *OLI*) с целью точного определения границ выгоревших участков и расчета их площадей. Данная технология позволяет реализовать все процедуры обработки в виде веб-сервиса, предоставляющего актуальные и достоверные данные о последствиях пожаров.

### Список использованной литературы

1. *Мозговой Д. К.* Обработка спутниковых снимков при решении прикладных задач / Международный научно-практический форум «Наука и бизнес». - 29-30 июня 2015 года, Днепропетровск. - Тезисы докладов. – С. 191-194.
2. *Мозговой Д. К.* Использование данных MODIS и ASTER для решения актуальных прикладных задач / Международная научно-практическая конференция «Стратегические решения информационного развития экономики и общества». - 17-19 июля 2013 года, п. Научный, Крым. - Тезисы докладов. – С. 113-114.
3. *Мозговой Д. К.* Использование данных MODIS для экологического мониторинга и контроля чрезвычайных ситуаций /Д. К. Мозговой, О. В. Кравец/ Екологія та ноосферологія. Науковий журнал. Том 20, №1-2. – Київ - Дніпропетровськ, 2009. – С. 84-89.
4. *Mozgoviy D. K., Parshina O.I., Voloshin V.I., Bushuev Y.I.* Remote Sensing and GIS Application for Environmental Monitoring and Accidents Control in Ukraine. - Geographic Uncertainty in Environmental Security / Edited by A. Morris, S. Kokhan. – Dordrecht: Springer, NATO Public Diplomacy Division, 2007. – P. 259-270
5. *Мозговой Д. К.* Использование данных наблюдения Земли для мониторинга природных ресурсов // Наукові читання «Космічні технології на користь стійкого розвитку і безпеки суспільства» 18 травня 2007р. Національний центр аерокосмічної освіти молоді України, Дніпропетровськ. - <http://www.festival.nas.gov.ua/2007/Measures/Pages/1062.aspx>
6. Спутниковый мониторинг последствий лесных пожаров / В. В. Гнатушенко, Вік В. Гнатушенко, Д. К. Мозговой, В. В. Васильев // Науковий вісник НГУ, 2016, № 1. С. 70-76.
7. Satellite technology of the forest fires effects monitoring / V. V. Hnatushenko, Vik V. Hnatushenko, D. K. Mozgovoy, V. V. Vasiliev// Scientific Bulletin of National Mining University, No.1, 2016 [text], режим доступу <http://nvngu.in.ua/index.php/en/component/jdownloads/viewdownload/59/8445>.