

ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПОСЛЕДСТВИЯТА И СЪСТОЯНИЕТО НА ГОРСКИ ЕКОСИСТЕМИ СЛЕД ПОЖАР ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ АЕРОКОСМИЧЕСКИ МЕТОДИ И ДАННИ

Наталия Станкова, Румен Недков, Ива Иванова

*Институт за космически изследвания и технологии – Българска академия на науките
e-mail: natalia_hs@space.bas.bg*

Ключови думи: дистанционни изследвания, възстановяване след пожар, вегетационни индекси, Disturbance Index

Резюме: Целта на настоящата работа е оценка на последствията и мониторинг на състоянието и възстановителните процеси на горски екосистеми след пожар на базата на дистанционни аерокосмически методи и данни. Използвани са спътникови изображения от Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI и Sentinel-2A. За целта на изследването се извършва проследяване на състоянието и последствията на горски екосистеми след пожар на територията на три големи пожара, възникнали през лятото на 2007 г. в югоизточна България. Направена е количествена оценка на състоянието на горските екосистеми за изследвания период (9 години след настъпване на пожарите) чрез пресмятане стойностите на различни вегетационни индекси на територията на подбрани тестови участъци. На базата на Tasseled Cap трансформация е изчислен Disturbance Index за оценка на смутеността на горските екосистеми за изследвания период.

STUDY OF THE CONDITION AND EFFECTS OF FOREST ECOSYSTEMS AFTER FIRE USING REMOTE AEROSPACE METHODS AND DATA

Nataliya Stankova, Roumen Nedkov, Iva Ivanova

*Space Research and Technology Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: natalia_hs@space.bas.bg*

Keywords: remote sensing, recovery after fire, vegetation indices, Disturbance Index

Abstract: The aim of this study is assessing the impacts and monitoring the condition and recovery processes of forest ecosystems after fire based on remote aerospace methods and data. Satellite images from Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM +, Landsat 8 OLI and Sentinel-2A were used. To achieve this goal, monitoring of the state and the consequences of forest ecosystems after fire was made on the territory of three large fires occurred in the summer of 2007 in southeastern Bulgaria. A quantitative assessment of the forest ecosystems' state for the study period (nine years after the fire occurrence) was made by calculating the values of different vegetation indices on the territory of the selected test areas. Disturbance Index was calculated based on Tasseled Cap transformation for assessing the disturbance of forest ecosystems for the study period.

Въведение

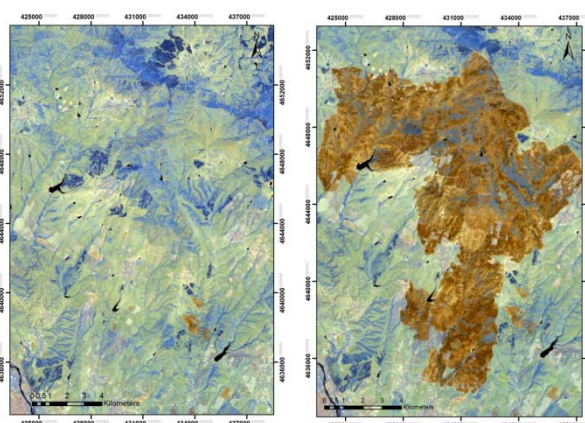
Аерокосмическите дистанционни методи са високотехнологичен инструмент за надежден и мащабен мониторинг на възстановителните процеси, протичащи в горските екосистеми след пожар. За оперативно, надеждно и мащабно такова изследване дистанционните аерокосмически методи, технологии и средства са незаменими [1]. Проследяването промяната на характеристиките на земното покритие с помощта на данни, получени от аеро- и космически летателни апарати е сравнително нова област в науката. В комбинация с бързо развиващите се Географски Информационни Системи (ГИС), дистанционните изследвания предоставят нови възможности за създаване на екологични модели в широк мащаб, например изучаване на последствията, след-пожарните ефекти и

възстановителните процеси, протичащи в екосистема след пожар. Изследвания, свързани с последствията от пожари, са били проведени от множество автори с различни цели като използването на вегетационните индекси е основния фактор в техните методологии [2].

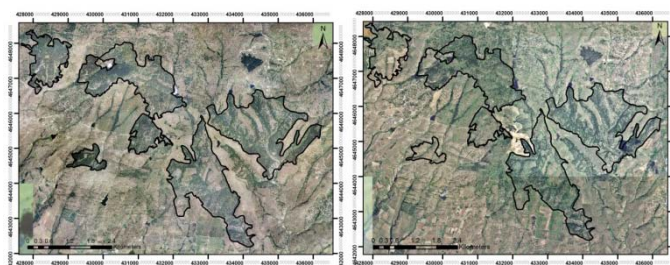
Обект на изследване

За целта на изследването се извършва проследяване на състояние и последствията на горски екосистеми след пожар на територията на три големи пожара, възникнали през лятото на 2007г. в югоизточна България [3, 4, 5]. На територията на всеки един от пожарите като тестови участъци са обособени областите, заети от горски екосистеми (Фиг. 2, Фиг. 4, Фиг. 6).

Изследваната територия на пожара от периода 28/07/2007 се намира в югоизточна България, област Хасково, северно от Свиленград, където през месец юли, 2007 г. избухва голям пожар [4, 5]. Изгорялата площ попада на територията на общините Харманли и Любимец. Местоположението и площта на изгорялата територия са идентифицирани с помощта на две композитни изображения - от сензора Landsat ETM+ преди пожара (20/07/2007) и Landsat TM няколко дни след пожара (28/07/2007) (Фиг. 1).



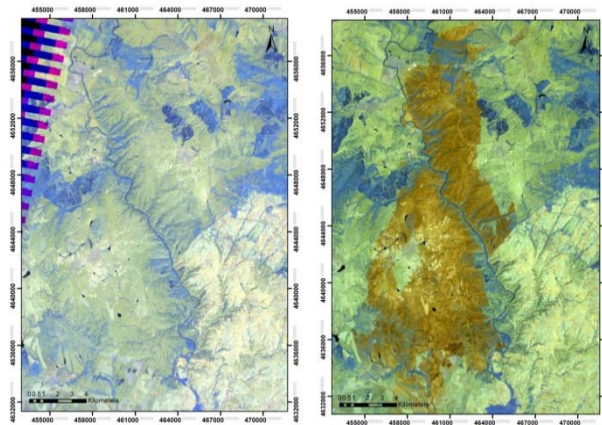
Фиг. 1. Спътниково изображение от 20/07/2007г. от Landsat ETM+, спектрални канали 7-5-4 (в ляво); Спътниково изображение от 28/07/2007г. от Landsat TM, спектрални канали 7-5-4 (в дясно)



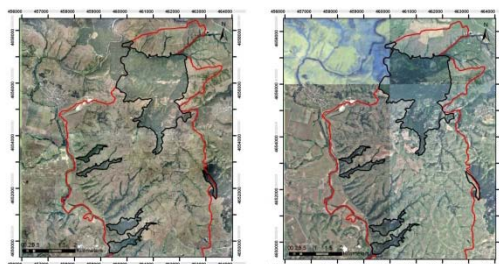
Фиг. 2. Аерофото изображения от 2006г. (в ляво) и 2011г. (в дясно) с тестовите участъци с горски екосистеми

Засегната е площ от 10989.8 ha. Координатите на пожара са N4651600m - E424000m и N4634000m - E438200m, UTM 35T. Разпространението на пожара е с обща дължина от 17.6 km и ширина - 14.2 km. Надморската височина за територията на пожара варира между 108 m и 627 m. Пожарът попада на територията на защитена зона BG0000212 „Сакар“ по Директивата за местообитанията [6], а по Директивата за птиците [7] половината от изследваната област попада на територията на защитена зона BG0000201 „Сакар“. Според картата на горите в България М 1:1 000 000, 1958 г. горите, които се намират на територията на изгорялата площ са издънкови дъбови гори [8].

Изследваната територия на пожара от периода 27/08/2007 се намира в югоизточна България, на границата между областите Хасково и Ямбол, където през месец август, 2007 г. избухва голям пожар [3]. Изгорялата площ попада на територията на общините Свиленград, Тополовград и Елхово. Местоположението и площта на изгорялата територия са идентифицирани с помощта на две композитни изображения от сензора Landsat TM - преди пожара (22/08/2007) и няколко дни след пожара (29/08/2007) (Фиг. 3).



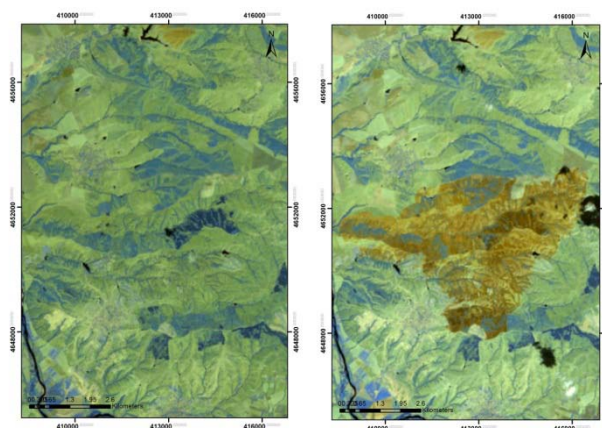
Фиг. 3. Спътниково изображение от 22/08/2007г. от Landsat TM, спектрални канали 7-5-4 (в ляво); Спътниково изображение от 29/08/2007г. от Landsat TM, спектрални канали 7-5-4 (в дясно)



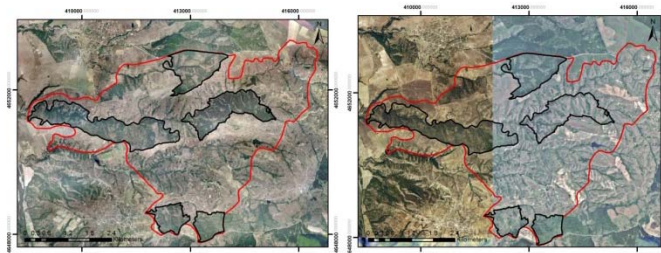
Фиг. 4. Аерофото изображения от 2006г. (в ляво) и 2011г. (в дясно) с тестовите участъци с горски екосистеми и вектора на пожара (в червено), обхващащ половината от засегнатата от пожара територия

Координатите на пожара са N4658400m - E462600m и N4630000m - E459500m, UTM 35T. Засегната е площ от 15798 ha. Разпространението на пожара е с обща дължина от 28.4 km и ширина – 10 km. Според Директивата за местообитанията [6] пожарът попада на територията на няколко защитени зони – BG0000212 „Сакар“, BG0000217 „Ждрелото на река Тунджа“ и BG0000218 „Дервентски възвишения 1“. Според Директивата за птиците [7] изследваната област попада на територията на защитена зона BG0002021 „Сакар“.

През месец август, 2007 г. в югоизточна България избухва още един голям пожар (Фиг. 5). Изследваната територия на пожара от периода 29/08/2007 се намира на територията на област Хасково, на границата между общините Харманли и Симеоновград. Местоположението и площта на изгорялата територия са идентифицирани с помощта на две композитни изображения от сензора Landsat TM – преди пожара (13/08/2007) и след пожара (29/08/2007) (Фиг. 5).



Фиг. 5. Спътниково изображение от 13/08/2007г. от Landsat TM, спектрални канали 7-5-4 (в ляво); Спътниково изображение от 29/08/2007г. от Landsat TM, спектрални канали 7-5-4 (в дясно)



Фиг. 6. Аерофото изображения от 2006г. (в ляво) и 2011г. (в дясно) с тестовите участъци с горски екосистеми и вектора на пожара (в червено)

Координатите на пожара са N4653400m - E415715m и N4647760m - E413275m, UTM 35T. Засегнатата площ е 2217 ha като разпространението на пожара е с обща дължина от 7.6 km и ширина – 5.5 km. Пожарът не попада на територията на защитени зони от Европейската екологична мрежа Natura 2000 [9]. Намира се в близост до защитените зони BG0000578 „Река Марица“ и BG0000425 „Река Съзлийка“ според Директивата за местообитанията [6].

Според Бондев [10] на територията на трите изследвани пожари преобладават смесени гори от различни видове дъбове – цер (*Quercus cerris L.*), благуи (*Quercus frainetto Ten.*), граница (*Querceta pubescentis Willd.*), виргилиев дъб (*Quercus virgiliana Ten.*). Среща се и келяв габър (*Carpinus orientalis Mill.*). Храстите се състоят основно от обикновена драка (*Paliurus spinachristi Mill.*) и храстовиден жасмин (*Jasminum fruticans L.*).

Материали и методи

За целта на настоящото изследване са използвани изображения от сензорите Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+, Landsat 8 OLI и Sentinel-2A, набавени от USGS-EROS [11]. Подбраните изображения са заснети веднъж годишно по време на вегетационния период като се вземат предвид дните с отсъствие на облачна покривка над изследваните територии. Изследван е период от 9 години след настъпване на пожарите (2007 – 2016 год.). Датите на използваните спътникови изображения, както и сензора, от който са получени, са показани в Табл. 1.

Табл. 1. Използвани спътникови изображения

Дати	Сензор	Дати	Сензор
20/07/2007	Landsat ETM+	25/08/2008	Landsat ETM+
25/07/2007	Terra MODIS	02/08/2009	Landsat TM
28/07/2007	Landsat TM	13/08/2010	Landsat ETM+
13/08/2007	Landsat TM	08/08/2011	Landsat TM
21/08/2007	Terra MODIS	13/08/2013	Landsat OLI
22/08/2007	Landsat TM	16/08/2014	Landsat OLI
29/08/2007	Landsat TM	18/08/2015	Landsat OLI
24/08/2008	Landsat TM	30/07/2016	Sentinel 2A

Наблюдението на спектралните промени, дължащи се на изгарянето, води до използването на различни спектрални индекси, които са комбинация от различни спектрални канали на сензора. В качеството на спектрални индекси за количествена оценка са избрани посочените в Табл. 2 индекси.

Табл. 2. Използвани спектрални индекси

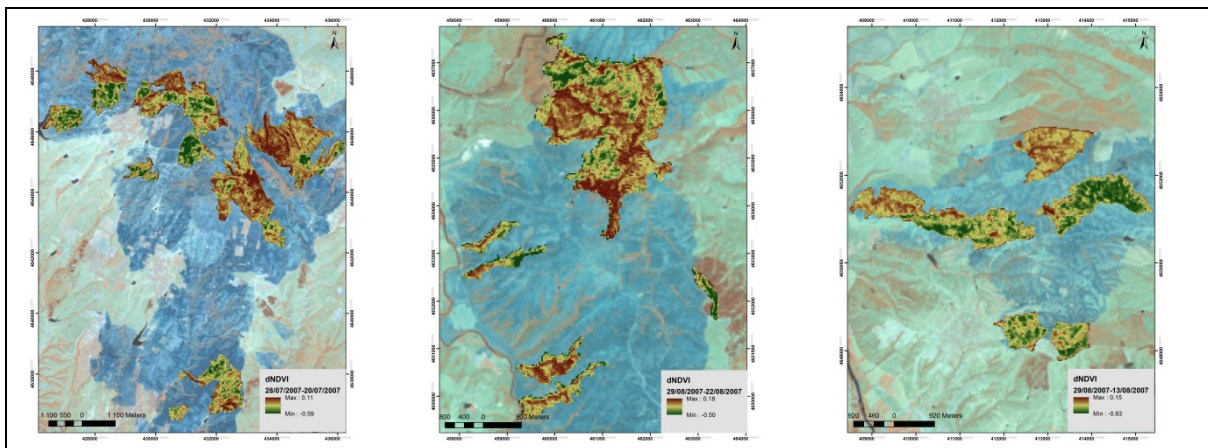
Спектрален индекс	Абrevиатура	Формула	References
Normalized Difference Vegetation Index	NDVI	$\frac{P_{NIR} - P_{RED}}{P_{NIR} + P_{RED}}$	Rouse et al. (1973) [12]
Vegetation Condition Index	VCI	$\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}$	Kogan and Sullivan (1993) [13]
Normalized Burn Ratio	NBR	$\frac{P_{NIR} - P_{SWIR}}{P_{NIR} + P_{SWIR}}$	Key and Benson (1999) [14]
Disturbance Index	DI	$nBR - (nGR + nW)$	Healey et al (2005) [15]

Резултати

Под формата на растер на Фиг. 7 са визуализирани стойностите на dNDVI на територията на тестовите участъци с горски екосистеми за трите изследвани пожара.

$$1) \quad dNDVI = NDVI_{\text{след пожара}} - NDVI_{\text{преди пожара}}$$

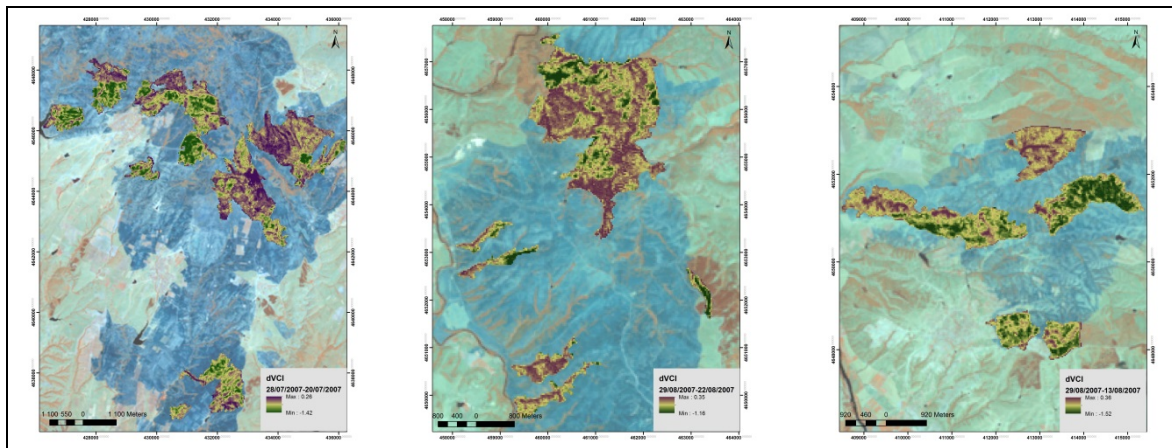
Наблюдават се значителни промени в стойностите на dNDVI на територията на тестовите участъци, което потвърждава загубата на горска растителност (Фиг. 7).



Фиг. 7. Стойности на dNDVI върху спътниково изображение от Landsat няколко дни след пожара в спектрални канали 4-5-7 на територията на трите изследвани пожара

На Фиг. 8 под формата на растер са изобразени стойностите на dVCI, които до голяма степен повтарят тези на dNDVI.

$$2) \quad dVCI = VCI_{\text{след пожара}} - VCI_{\text{преди пожара}}$$

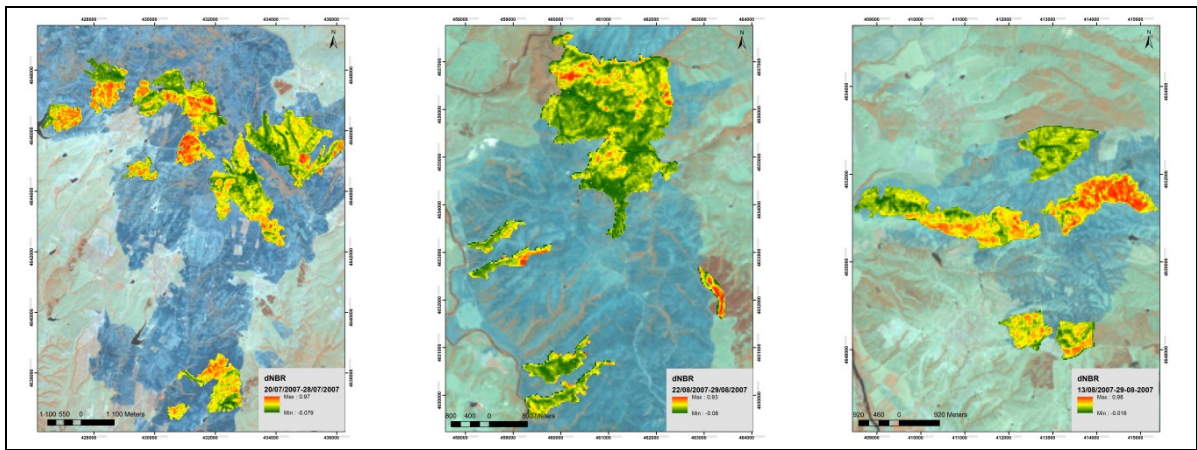


Фиг. 8. Стойности на dVCI върху спътниково изображение от Landsat няколко дни след пожара в спектрални канали 4-5-7 на територията на трите изследвани пожара

На Фиг. 9 са показани т. нар. “burn severity map” или разликите в стойностите на dNBR преди и след пожара.

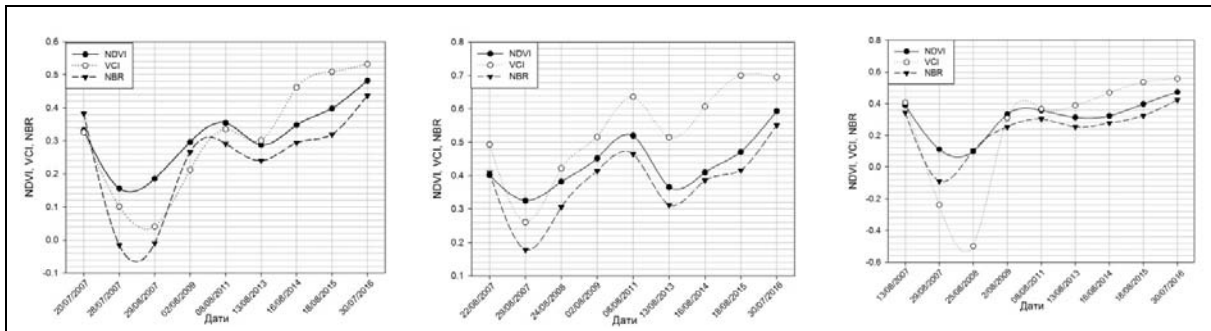
$$3) \quad dNBR = NBR_{\text{преди пожара}} - NBR_{\text{след пожара}}$$

Наблюдават се значителни промени в стойностите на dNBR на територията на тестовите участъци, което потвърждава негативното влияние на пожара върху горските екосистеми.



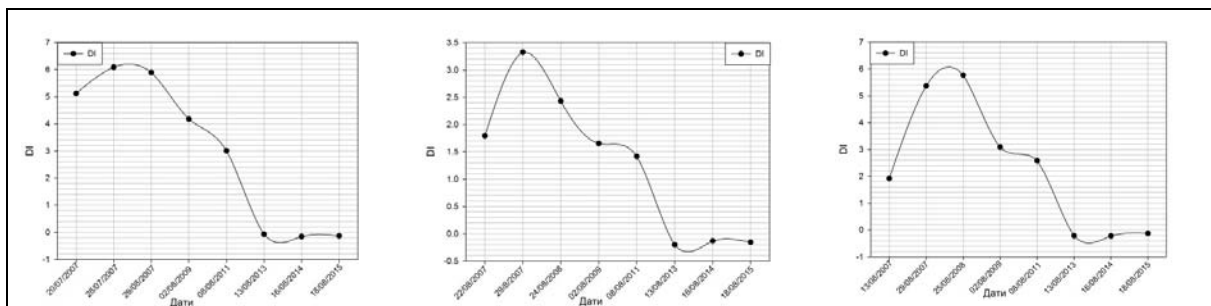
Фиг. 9. Стойности на dNBR върху спътниково изображение от Landsat няколко дни след пожара в спектрални канали 4-5-7 на територията на трите изследвани пожара

В тенденцията на изследваните вегетационни индекси (NDVI, VCI и NBR) се наблюдава плавно повишаване на средните им стойности във времевия интервал след пожара, което потвърждава процеса на възстановяване на растителността (Фиг. 10).



Фиг. 10. Средни стойности на NDVI, VCI и NBR за тестовите участъци с горски екосистеми

С повишаване на стойностите на изследваните вегетационни индекси (NDVI, VCI и NBR) (Фиг. 10), стойностите на DI намаляват (Фиг. 11), което потвърждава високата степен на корелация между двата показателя [4].



Фиг. 11. Средни стойности на DI за тестовите участъци с горски екосистеми

В тенденцията на DI се наблюдава рязко намаляване на стойностите му (Фиг. 11), което потвърждава процеса на понижаване на смутеността в екосистемите. DI използва декорелирани компоненти, поради което при наличието на рязко изменение на състоянието на екосистемата, по-точно се отразява динамиката на последствията. Тъй като при DI се наблюдава рязко изменение на стойностите, а при вегетационните индекси това изменение е плавно, може да се направи извода, че DI е значително по-чувствителен към процеса на възстановяване, отколкото изследваните вегетационни индекси.

Заклучение

В заключение резултатите от настоящето изследване на възстановителния процес след пожар показват, че количествената оценка при използване на DI е по-информативна, отколкото с вегетационните индекси, тъй като DI е по-чувствителен към динамиката на изследвания възстановителен процес. Процесът на възстановяване се потвърждава с нарастване на стойностите на вегетационните индекси и едновременно намаляване на стойностите на DI.

Благодарности

Изследването е финансирано по проект „Изследване на последствията и състоянието на горски екосистеми след пожар чрез използване на дистанционни аерокосмически методи и данни“, Проект № ДФНП-110/11.05.16, Програма за подпомагане на младите учени в БАН, 11.05.2016 – 11.05.2017

Литература:

1. Мардиросян, Г. Природни бедствия и екологични катастрофи, „Проф. Марин Дринов“, София, 2009, ISBN 978-954-322-350-3
2. Viedma, O., J. Meliá, J. García-Haro, D. Segarra, 1996: Monitoring forest regeneration rates after fires with multitemporal Landsat TM imagery, *EaRSel Advantages in Remote Sensing*, vol 4, p.146-154
3. Станкова Н., Р. Недков, 2015: Модел за количествена оценка на Disturbance Index и вектора на моментното състояние на екосистема след пожар на базата на аерокосмически данни, *Eleventh Scientific Conference with International Participation, Space, Ecology, Safety*, 4-6 November, 2015, Sofia, с.292-297
4. Stankova, N., R. Nedkov, 2016: Research model of monitoring the recovery of an ecosystem after fire based on satellite and GPS data, *Ecological Engineering and Environment Protection* 1/2016, p.5-11, ISSN 1311 – 8668
5. Stankova, N., R. Nedkov, 2015: Monitoring forest regrowth with different burn severity using aerial and Landsat data, *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015 IEEE International, 26-31 July 2015, p.2166 – 2169, doi 10.1109/IGARSS.2015.7326233
6. Директива 92/43/ЕИО
7. Директива 2009/147/ЕО
8. Карта на горите в България М 1:1 000 000, 1958
9. <http://natura2000.moew.government.bg>
10. Бондев, И., 1991 – Растителността на България, Карта в М 1:600000 с обяснителен текст, Университетско издателство „Климент Охридски“, София, с.183
11. <http://earthexplorer.usgs.gov/>
12. Rouse, J.W., R.H. Haas, J.A. Schell, D.W. Deering, 1973 – Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Proceedings of Third Earth Resources Technology Satellite-1 Symposium*, Greenbelt, MD, USA, p.309-317
13. Kogan, F. N., J. Sullivan, 1993 – Development of global drought-watch system using NOAA/AVHRR data, *Advances in Space Research*, 13: 219-222
14. Key, C. H. and N. C. Benson, 1999 – The Normalized Burn Ratio (NBR): A Landsat TM Radiometric Index of Burn Severity. URL = <http://www.nrmc.usgs.gov/research/ndbr.htm> visited April 2007
15. Healey, S. P., W. B. Cohen, Z. Q. Yang, O. N. Krankina, 2005 – Comparison of Tasseled Cap-based Landsat data structures for use in forest disturbance detection. *Remote Sensing of Environment*, 97: 301-310. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.rse.2005.05.009>