

## МОДЕЛ ЗА КОЛИЧЕСТВЕНА ОЦЕНКА НА DISTURBANCE INDEX И ВЕКТОРА НА МОМЕНТНОТО СЪСТОЯНИЕ НА ЕКОСИСТЕМА СЛЕД ПОЖАР НА БАЗАТА НА АЕРОКОСМИЧЕСКИ ДАННИ

Наталия Станкова, Румен Недков

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

**Ключови думи:** дистанционни изследвания, възстановяване след пожар, Tasseled Cap трансформация, Disturbance Index, вектор на моментното състояние на екосистема, посочен ъгъл

**Резюме:** Целта на настоящата работа е изследване на процесите, протичащи в екосистема преди и възстановителните процеси след пожар. За постигане на целта се използва комплексен подход, за реализацията на който е разработен модел на базата на три компонента - Disturbance Index, вектор на моментното състояние на екосистемата и посочен ъгъл. Като входни данни за модела е използвана Tasseled Cap трансформация (ТСТ), от която са генерирани трите основни Tasseled Cap компонента. Изследваната територия се намира в югоизточна България, където през август, 2007г. избухва голям пожар. Използвани са спътникови изображения от Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ и Landsat 8 OLI.

## MODEL FOR QUANTITATIVE ASSESSMENT OF DISTURBANCE INDEX AND VECTOR OF INSTANTANEOUS CONDITION OF AN ECOSYSTEM AFTER FIRE BASED ON AEROSPACE DATA

Nataliya Stankova, Roumen Nedkov

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

**Keywords:** remote sensing, recovery after fire, Tasseled Cap transformation, Disturbance Index, vector of instantaneous condition, direction angle

**Abstract:** The aim of this study is monitoring the processes in the ecosystem before and ecosystem recovery processes after fire. To achieve this goal, an integrated approach was used for implementation of which a model based on three components was developed - Disturbance Index, Vector of Instantaneous Condition and Direction Angle. As input data for the model Tasseled Cap transformation (TCT) was used and the three main Tasseled Cap components were generated. The study area is located in southeastern Bulgaria, where a significant fire took place in August, 2007. Satellite images from Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ and Landsat 8 OLI were used.

### Въведение

Горските пожари могат да се разглеждат като един от най-големите природни заплахи за околната среда. Те са често срещан отрицателен фактор, особено в области, характеризиращи се предимно с високи средногодишни температури и горещо сухо лято. Изследваната област е изключително податлива на пожари. През последните години броят и периметърът на областите, унищожени от пожари са достигнали критични нива и нямат еквивалент в историята на горското стопанство в България [1]. Актуалността на изследването на последствията от горски пожари е обусловена от големите по мащаб и с дълготраен характер техни въздействия върху екологичната обстановка на огромни територии. За оперативно, надеждно и мащабно такова изследване дистанционните аерокосмически методи, технологии и средства са незаменими [2].

За оценка на състоянието на екосистемата преди и след пожар е използван метод на линейна спектрална трансформация в многомерно пространство с цел намаляване на корелацията между отделните му елементи като се използват три – почва, растителност и влажност. Този тип преобразуване се нарича Tasseled Cap трансформация (ТСТ) [3,4,5].

На базата на получените компоненти - Brightness (BR), Greenness (GR) и Wetness (W) – е получен вектор, описващ моментното състояние на екосистемата [6]. Този вектор описва състоянието и връзката между трите основни компонента на изследваната екосистема, както и показва промяната в съотношението между компонентите в случай на бедствие.

Изчислен е и ъгълът на отклонение между Greenness компонентата от ТСТ и вектора на моментното състояние, който се нарича посочен ъгъл [6]. Този ъгъл показва посоката на промяната на зелената компонента по отношение на вектора на състоянието, давайки възможност за оценка степента на възстановяване на Greenness компонентата за различните моменти от изследвания период.

В новото пространство се изчислява Disturbance Index (DI) [7], който е линейна комбинация от трите Tasseled Cap компонента. Разглеждани последователно DI изображенията осигуряват директен начин за открояване на пикселите, различаващи се от тези, характерни за нормалното състояние за горите.

За мониторинг на процесите, протичащи в екосистемата преди и възстановителните процеси след пожар е разработен модел за количествена оценка на Disturbance Index, вектора на моментното състояние на екосистемата и посочения ъгъл.

### Обект на изследване

Изследваната територия се намира в югоизточна България, на границата между областите Хасково и Ямбол, където август 2007 год. избухва голям пожар. В резултат на изключително високите температури и сухия климат за периода от средата на юли до септември 2007 год. на територията на Балканския полуостров избухват голям брой пожари [8,9,10,11]. Местоположението и периметърът на изгорялата територия са определени с помощта на две изображения от Landsat – преди (22/08/2007) и след пожара (29/08/2007). Пожарът засяга площ от 15798 ха. Според директивата за хабитатите [12] пожарът попада на територията на няколко защитени зони – Сакар, Ждрелото на река Тунджа и Дервентски възвишения. Според директивата за птиците [13] изследваната област попада на територията на защитена зона Сакар.

### Материали и методи

За целта на настоящето изследване са използвани изображения от спътниците Landsat 5 TM (Thematic Mapper), Landsat 7 ETM+ (Enhanced Thematic Mapper plus) и Landsat 8 OLI (Operational Land Imager). Подбраните изображения са взети веднъж годишно по време на изследвания период (2001 – 2015 год.) – 7 години преди и 8 години след пожара. Данните са набавени от USGS [14] като се вземат предвид периода от годината с най-голяма вегетация и дните с отсъствие на облачна покривка над изследваната територия. Датите на използваните изображения са показани в Табл. 1.

Таблица 1. Използвани изображения

Дати	Сензор
20/08/2001	ETM+
06/08/2002	ETM+
18/08/2003	TM
13/08/2004	TM
16/08/2005	TM
26/08/2006	TM
22/08/2007	TM
29/08/2007	TM
24/08/2008	TM
02/08/2009	TM
08/08/2011	TM
13/08/2013	OLI
16/08/2014	OLI
18/08/2015	OLI

След подбора на изображенията, следва екстрахиране на засегнатата от пожара област и прилагане на Tasseled Cap трансформация. Tasseled Cap трансформацията представлява

вид спектрална трансформация, която преобразува оригиналните силно ковариантни данни в три некорелирани индекси - Brightness, Greenness и Wetness. Използваните трансформационни матрици са различни за различните Landsat сензори. Като входни данни за модела се използват Tasseled Cap трансформирани изображения на територията на пожара.

Първата стъпка от модела е декомпозиция на всеки един от трите основни Tasseled Cap компонента - BR, GR и W (Фиг.1). Втората стъпка е изчисляване на средните стойности и стандартните отклонения за всеки един от Tasseled Cap компонентите. Третата стъпка е пресмятане на нормираните стойности на компонентите. Тези стъпки се правят с цел нормиране на радиометричните промени. Нормирането се извършва по следните формули:

$$nBR = (BR - E\{BR\}) / St.Dev(BR)$$

$$(1) \quad nGR = (GR - E\{GR\}) / St.Dev(GR)$$

$$nW = (W - E\{W\}) / St.Dev(W)$$

където  $E\{BR\}$ ,  $E\{GR\}$  и  $E\{W\}$  са съответно средните стойности на Tasseled Cap компонентите - Brightness, Greenness и Wetness.  $St.Dev(BR)$ ,  $St.Dev(GR)$  и  $St.Dev(W)$  са съответните стандартни отклонения на Tasseled Cap компонентите. Следователно  $nBR$ ,  $nGR$  и  $nW$  са нормираните стойности на Brightness, Greenness и Wetness.

След нормирането трите Tasseled Cap компонента са събрани линейно за изчисляване на DI:

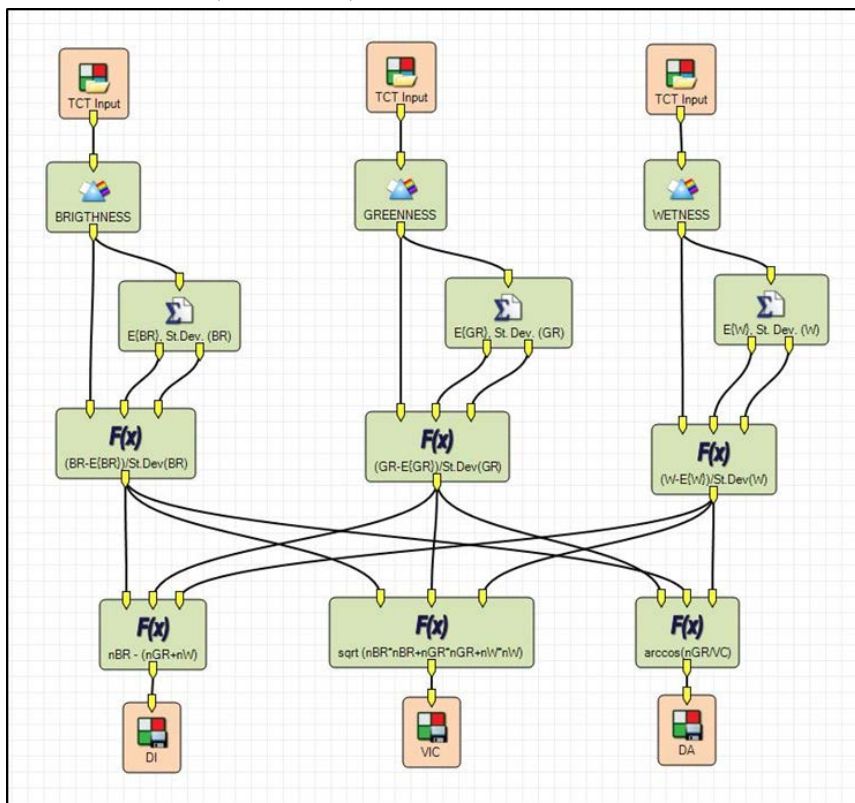
$$(2) \quad DI = nBR - (nGR + nW)$$

Следващата стъпка е изчисляване на вектора на моментното състояние на екосистемата (VIC) на базата на нормираните стойности на Tasseled Cap компонентите:

$$(3) \quad VIC = \sqrt{nBR * nBR + nGR * nGR + nW * nW}$$

Последната стъпка е изчисляване на посочния ъгъл (DA) – ъгъла на отклонение между зелената компонента от TCT и вектора на моментното състояние:

$$(4) \quad DA = \arccos(nGR / VIC)$$



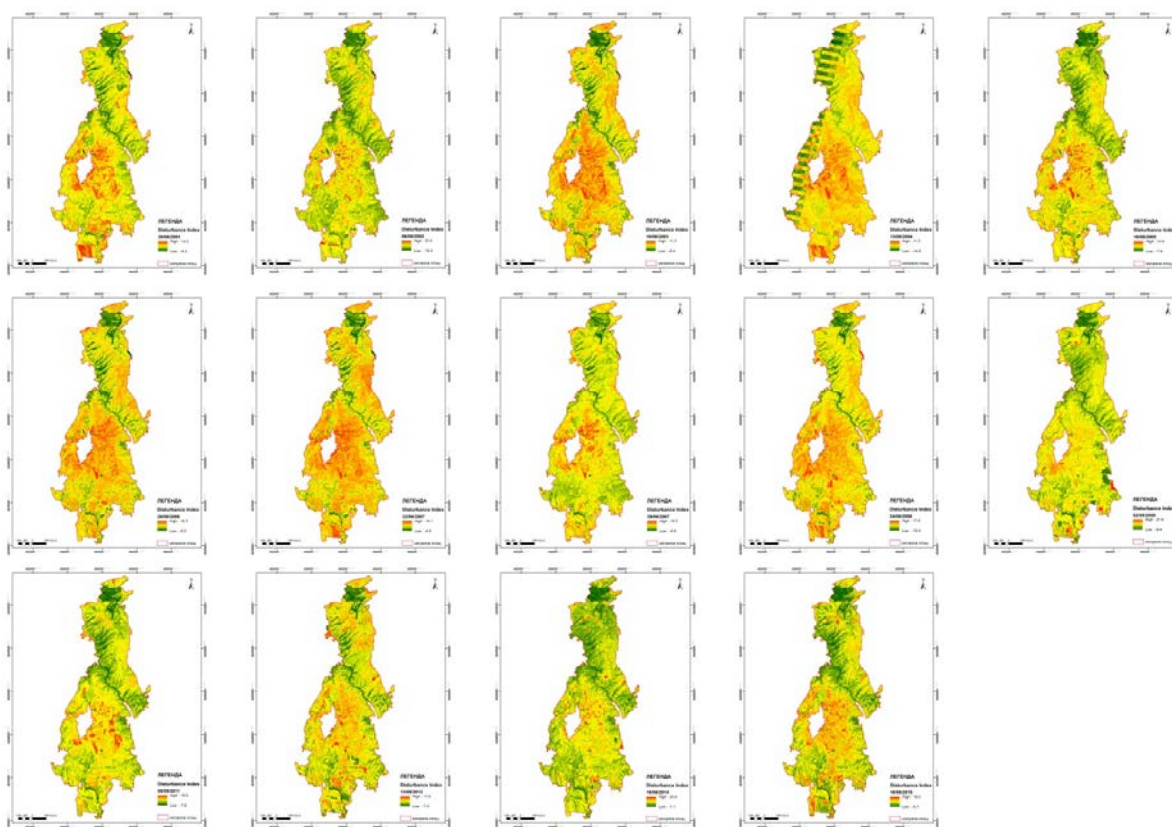
Фиг. 1. Модел за изчисляване на DI, вектора на моментното състояние и посочния ъгъл

## Резултати

### *Disturbance Index (DI)*

Изчисляването на DI се базира на наблюдението, че засегнатите от пожара горски насаждения обикновено се характеризират с по-високи стойности на Brightness компонентата и по-ниски стойности на Greenness и Wetness компонентите в сравнение незасегнатите горски участъци [7]. Следователно, засегнатите от пожара участъци имат високи положителни стойности на nBR и ниски отрицателни стойности на nGR и nW. Те показват високи стойности на DI. Обратно, незасегнатите участъци следва да представят ниски стойности на DI [15].

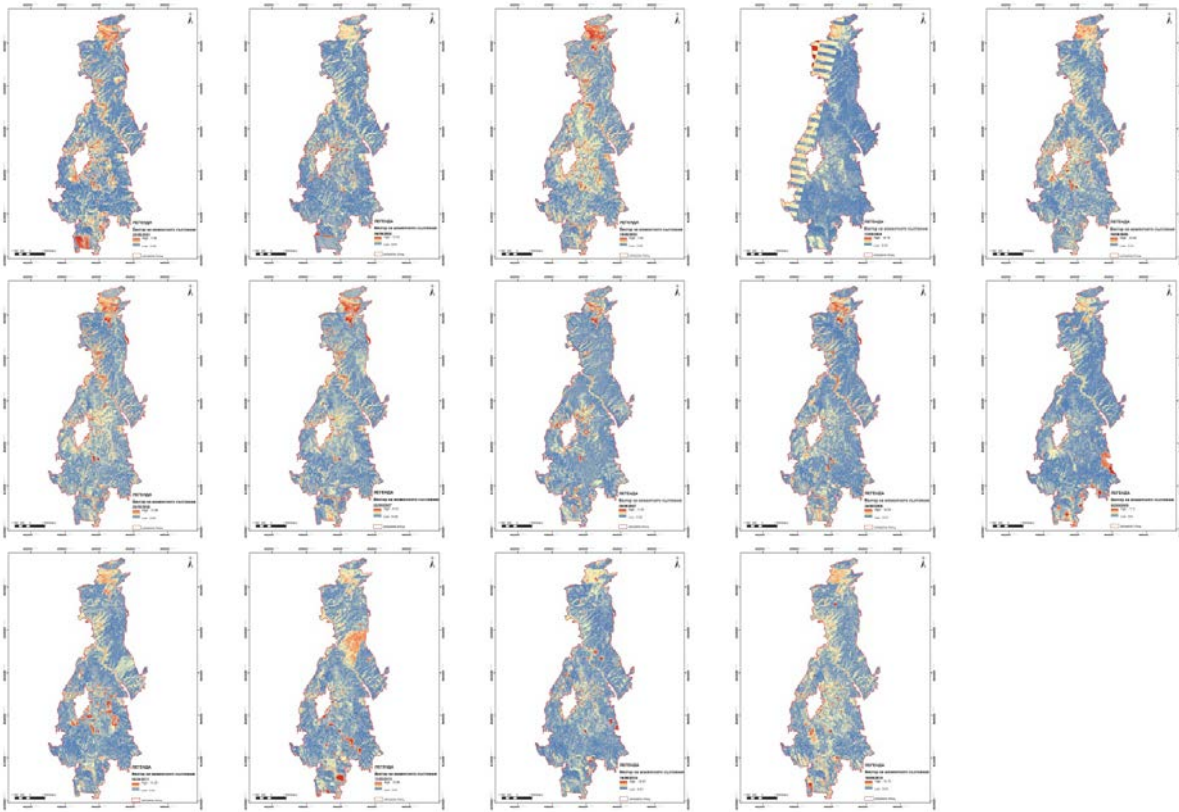
Фиг. 2 показва стойностите на DI, получени чрез прилагането на разработения модел на територията на пожара за всяка година от изследвания период – 7 години преди и 8 години след пожара. При сравняване на стойностите на DI от изображението непосредствено преди пожара и това след пожара установяваме, че не се наблюдава значително изменение в стойностите на този индекс, т.е. пожара не е отказал отрицателен биологичен ефект върху горската екосистема. Не е установена тенденция на изменение на стойностите на този индекс за периода преди пожара, както и за този след него.



Фиг. 2. Disturbance Index на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

### *Вектор на моментното състояние на екосистемата*

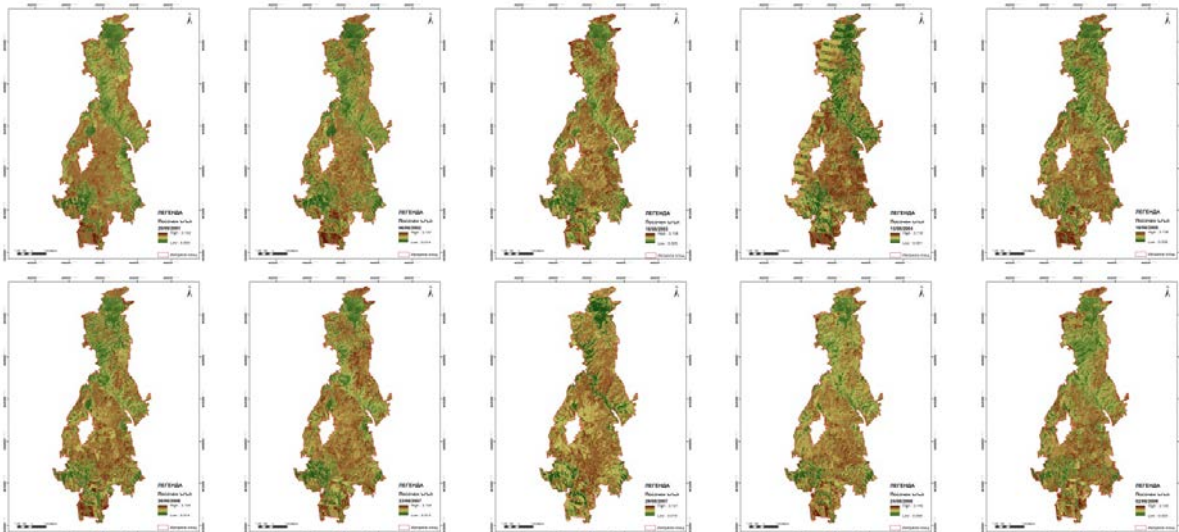
Фиг. 3 показва стойностите на вектора на моментното състояние на екосистемата на територията на пожара за всички години от изследвания период – 2001 – 2015г.

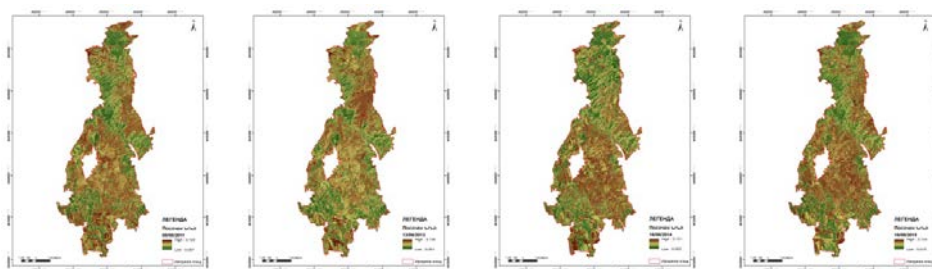


Фиг. 3. Вектор на моментното състояние на екосистемата на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

### **Посочен ъгъл**

Фиг. 4 показва ъгъла на отклонение между Greenness компонентата от ТСТ и вектора на моментното състояние за изследвания период – 2001 – 2015г. Като цяло посочения ъгъл следва тенденциите на изменение на вектора на моментното състояние, но представя по-ясно промените на зелената компонента за изследвания период.





Фиг. 4. Посочения ъгъл на територията на пожара за изследвания период – 2001-2015 г.

### Заклучение

Получените резултати дават възможност за обективна оценка на състоянието на екосистемата преди и след пожар. Чрез използването на предложения модел на базата на трите основни Tasseled Cap компонента е направена количествена оценка на Disturbance Index, вектора на моментното състояние на екосистемата и посочения ъгъл между Greenness компонентата от ТСТ и вектора на моментното състояние. Резултатите за вектора на състоянието и посочения ъгъл показват, че те са подходящи за мониторинг на състоянието на екосистемата преди и след природно бедствие. Като недостатък може да се отбележи, че те показват моментното състояние на екосистемата. Като индикатори за степента на възстановяване на екосистемата те дават обективна оценка не само за степента на възстановяване, но също и за наличието на невъзстановими участъци. Предложеният модел може да използва данни и от други спътници, което предоставя възможност за по-детайлна оценка на възстановителните процеси.

### Литература:

1. Dimitrova, M., I. Ivanova, M. Zaharinoва, R. Nedkov (2011) - Application of aerospace methods of monitoring of forest fires and evaluation of burned area in Haskovo region in the summer of 2011, Seventh Scientific Conference with International Participation - Space, Ecology, Safety, 87-98.
2. Мардиросян, Г. – Природни бедствия и екологични катастрофи, „Проф. Марин Дринов“, София, 2009, ISBN 978-954-322-350-3
3. Crist, E.P., R.C. Cicone (1984) - A physically-based transformation of Thematic Mapper data-the TM Tasseled Cap. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 22: 256-263. doi: <http://dx.doi.org/10.1109/TGRS.1984.350619>.
4. Kauth, R.J., G.S. Thomas (1976) - The Tasseled Cap – a graphic description of the spectral – temporal development of agricultural crops as seen by Landsat. Proceedings second ann. symp. machine processing of remotely sensed data. West Lafayette' Purdue University Lab. App. Remote Sensing.
5. Avetisyan, D., R. Nedkov (2015) - Determining the magnitude and direction of land cover changes in the semi-natural areas of Haskovo Region, Southeast Bulgaria. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2015 IEEE International, p. 4637 – 4640, doi 10.1109/IGARSS.2015.7326862
6. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Research model of monitoring the recovery of an ecosystem after fire based on satellite and GPS data, Ecological Engineering and Environment Protection (под печат)
7. 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>.
8. Nedkov, R., M. Dimitrova, M. Zaharinoва, I. Ivanova (2008) - Web-based monitoring of the fires in the Balkans using satellite data during July and August 2007. Ecological engineering and environmental protection, No1: 13-19.
9. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Investigation of forest vegetation dynamics before and after a fire by using aerospace data, Ecological Engineering and Environment Protection 1/2015, p. 40-46, ISSN 1311 – 8668
10. Stankova, N., R. Nedkov (2015) - Monitoring the dynamics and post-fire recovery processes of different vegetation communities using MODIS satellite images, Journal of Environment Protection and Sustainable Development Vol. 1, No. 3, 2015, pp. 182-192
11. 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, p. 2166 – 2169, doi 10.1109/IGARSS.2015.7326233
12. Директива 92/43/ЕИО
13. Директива 2009/147/ЕО
14. <http://earthexplorer.usgs.gov/>
15. Chen, W., K. Moriya, T. Sakai, L. Koyama, C. Cao (2014) - Monitoring of post-fire forest recovery under different restoration modes based on time series Landsat data. European Journal of Remote Sensing, 47: 153-168. doi: <http://dx.doi.org/10.5721/EuJRS20144710>.