

## **ПРИЛОЖЕНИЕ НА САТЕЛИТНИ ИЗОБРАЖЕНИЯ СЪС СРЕДНА РАЗДЕЛИТЕЛНА СПОСОБНОСТ ЗА ОЦЕНКА НА ЩЕТИТЕ ОТ ПОЖАРИТЕ НА ВИТОША ПРЕЗ 2012 г.**

**Александър Гиков, Петър Димитров**

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

**Ключови думи:** Горски пожари, Картографиране на пожарища, Спектрални индекси, Landsat, Витоша

**Резюме:** Докладът има за цел да се установи площта на териториите, засегнати от пожарите в резервата „Бистришко бранище” и край Меча поляна на Витоша, възникнали през лятото и есента на 2012 г. За целта са използвани спътникови изображения със средна пространствена разделителна способност от Landsat ETM+. Определената с помощта на визуално дешифриране планиметрична площ на двете пожарища е съответно 69,3 ha и 36,1 ha. Освен това е направено сравнение на двете пожарища въз основа на индексите dNBR и RdNBR и е изследвана връзката на двата индекса със състоянието на земното покритие преди пожар, характеризирано чрез индекса NBR. Резултатите показват, че за разлика от dNBR RdNBR не е корелиран със стойностите на NBR преди пожара.

## **APPLICATION OF MEDIUM RESOLUTION SATELLITE IMAGES FOR ASSESSMENT OF DAMAGES CAUSED BY THE WILD FIRES IN VITOSHA MOUNTAIN IN 2012**

**Alexander Gikov, Petar Dimitrov**

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

**Keywords:** Wild fires, Fire scar mapping, Spectral indices, Landsat, Vitosha Mountain

**Abstract:** The aim of this paper is to provide estimation of the areas affected by the wild fires in Bistrishko branishte reserve and in the vicinity of Aleko hut in Vitosha, that occurred in the summer and autumn of 2012. For this aim satellite images with moderate spatial resolution from Landsat ETM+ are used. The flat areas of the two fire scars determined through visual interpretation are 69.3 ha and 36.2 ha respectively. Furthermore, a comparison of the two scars is attempted based on the spectral indices dNBR and RdNBR, and the relation of these indices with the pre-fire land cover state, as characterized by NBR, is studied. The results show that, unlike dNBR RdNBR is not correlated with the pre-fire NBR values.

### **Въведение**

През последните две десетилетия в България се наблюдаваха няколко години с голяма активизация на горските пожари, през които са засегнати рекордни по площ територии [1, 2]. Зачестяването на горските пожари е съпроводено с нарастване на тяхното влияние върху естествената растителна покривка на страната. Все по-често пожарите засягат среднопланински и високопланински райони, включително и защитени територии. Такива бяха пожарите в Природен парк „Витоша” през 2012 г. Предизвиканите от горските пожари промени в състава и структурата на фитоценозите и в показателите на почвите (рН, механичният състав, съдържание на органично вещество и азот и др.) са актуален проблем и се разглеждат в редица нови изследвания [3, 4, 5].

През лятото на 2012 г. във високопланинската част на Витоша се разрази два силни пожара със значителна площ и голяма продължителност. Първият възниква на първи юли по

северния склон на връх Големия Купен в резервата „Бистришко бранище“ и въпреки усилията на стотици огнеборци не може да бъде загасен в продължение на пет дни. Вторият пожар започва в началото на месец октомври същата година. Първоначално на 4 октомври се запалват сухи треви и храсти в близост до пистата „Витошко лале“ край Меча поляна, като същия ден пожарът се счита за овладян. След няколко дни обаче на 9 октомври в непосредствена близост отново се разгаря пожар. Силният вятър става причина за неговото бързо разрастване. Ограничаването му се затруднява и от факта, че се подпалва и торфът и така пожарът се пренася и под повърхността.

В средствата за информация се представиха различни данни за площта, засегната от пожарите. За първия пожар отначало се посочи, че е с площ 50 дка, но на 3 юли площта му се изчислява на 250 дка. На следващия ден обаче в медиите се появи информация за изявление на главен комисар Николай Николов, директор на ГД "Пожарна безопасност и защита на населението", че няма разрастване на пожара във Витоша и площта му е 150 дка. Липсата на точна информация е поради спецификата на пожара – той се разразява в много трудно проходима и отдалечена местност, а визуалните оценки от борда на хеликоптерите явно е неточна. При другия пожар на 9 ти октомври се споменава, че са засегнати 40 дка треви и храсти, а на следващия ден изгорялата площ се оценява на 80-100 дка.

Дистанционните методи вече са се наложили като надежден начин за провеждане на мониторинг на горските пожари. За оперативен контрол на пожарите посредством сателитни данни все още трудно може да се говори, но сателитни изображения се използват с успех за оценката на щетите от горските пожари. Благодарение на дистанционните методи бяха картографирани няколко пожарища в Рила планина, което допринесе за коригиране на реалните им площи [6, 7, 8].

Целта на доклада е да се оцени площта, засегната от пожарите в ПП „Витоша“ през 2012 г. чрез визуално дешифриране на изображения със средна разделителна способност и да се сравнят пожарищата с помощта на спектралните индекси dNBR и RdNBR.

### **Резерват „Бистришко бранище“**

Резерватът „Бистришко бранище“ е един от първите резервати в България. Той е създаден през 1934 г., едновременно с обявяването на първия национален парк (днес природен парк) на Балканския полуостров „Витоша“. Основната цел при създаването му е да се опазят естествените смърчови гори. През 1977г. „Бистришко бранище“ е определен за Биосферен резерват, съгласно международната програма на ЮНЕСКО „Човек и биосфера“. Резерватът е разположен на източния склон на Витоша, под върховете Малък и Голям Резен и Скопарник. Той обхваща горните течения на Бистришка и Янчевска река между 1430 и 2282 m н.в. Сегашната му площ е 1061,6 ha [9, 10]. Преди 2001 г. повече от половината площ (52%) на резервата е била заета от гори, а останалата част е била заета от поляни с храстова или тревна растителност и от каменни реки. Въпреки сравнително малката площ, резерватът предлага голямо видово разнообразие (453 вида висши растения), като част от видовете са много редки, сред тях 21 вида са включени в Червената книга на България, а 34 вида са ендемични. В резервата обитават и много застрашени животински видове.

На 22 май 2001 г. около 18 ч. и 30 мин. се разразява мощна буря и се формира вихър с малък диаметър, наречен смерч или торнадо. Смерчът започва в западната част на Витоша в местността Офелиите и продължава в югоизточна посока към резервата „Бистришко бранище“ и с. Железница. При преминаването му през територията на резервата се образува ивица с ширина 500-700 m, в която гората е напълно унищожена. Първоначалната оценка на площта на унищожената гора е 60 ha, но след използване на сателитна снимка площта беше коригирана на 75,4 ha [11].

След смерча се разгаря дискусия какво да се прави с повалените в резервата дървета. Лесовъдите застъпват мнението, че те трябва да се изнесат извън резерватната територия и да се извърши залесяване, докато учените от Института по ботаника и Централната лаборатория по обща екология застъпват мнението, че в биосферен резерват човешка намеса не бива да се допуска, защото основна цел в тези резервати е да се оставят екосистемите да се развиват под действието на естествените процеси.

Смерчът се оказва само първият етап в радикалните промени, настъпващи в преди това стабилната дълго време екосистема в тази част на Витоша с доминираща роля на смърча. Започва невиджано преди развитие на един бръмбар – корояда-типограф (*Ips typhographus* L.). Тези насекоми и преди са съществували в екосистемата, без да са заплаха за нея, но в резултат на натрупването на голямо количество мъртва дървесна маса започва каламитет. В следващите две години популацията на корояда във ветровалното петно нараства лавинообразно и през 2003 г. бръмбарите започват да нападат и живите дървета в резервата, а



Фиг. 1. При гасенето на пожара в резерват „Бистришко бранище“ активно се включиха хеликоптери МИ-17, оборудвани за гасене на горски пожари от въздуха

през следващите години и далеч извън резервата. Важна особеност е, че този вредител напада главно смърчовите дървета над 20 г., което означава, че младите смърчове не са застрашени. Възрастта на повечето дърветата в резервата обаче е била над 100 г., което определя и по-нататъшното развитие на каламитета. Екологичните изследвания показват, че с изключение на смърча, състоянието на другите видове в резервата е стабилно.

Резултатът от масовото разпространение на корояда-типограф е, че по-голямата част от смърчовата гора в резервата изсъхна, което значително повишава опасността от възникване и разпространение на горски пожар. И действително 11 години след катастрофалния смерч резерватът е сполетян от ново голямо бедствие. На първи юли малко преди 14 часа е забелязана тънка струя дим, излизаща от склона североизточно под връх Голям Купен. Тъй като е неделя на Витоша има много туристи и скоро е съобщено на спешния телефон 112 за пожара. Към 16:10 ч в района пристига хеликоптер, оборудван за гасене на горски пожари от въздуха, но вече пожарът се е разраснал значително и същия ден се появяват съобщения, че площта му е 40-50 дка (Фиг. 1).

В първия ден от пожара в гасенето му се включват около 70 души, на следващата сутрин броят на гасящите пожара е над 200, включително пожарникари, горски служители и доброволци. Само преди обед на 2-ри юли двата военни хеликоптера Ми-17 са направили 40 курса от яз. Панчарево до резервата „Бистришко бранище“ и са хвърлили 100 т. вода, главно в южната периферия на пожара за да се предотврати разрастването му в тази посока. Едновременно с това на терен започва прокарването на просеки. В следващите дни още един хеликоптер се включва в гасенето, а общият брой на огнеборците достига 500 души на 5 юли. Същия ден е съобщено, че пожарът е потушен, но остават три малки огнища.

#### **Приложение на сателитни данни за оценка на щетите от пожари**

Геоинформационните технологии и по-конкретно дистанционните изследвания (ДИ) могат да подпомогнат изследванията на влиянието на пожарите върху растителността чрез документиране на техния обхват и степента на пораженията, а също и чрез мониторинг на промените в засегнатите територии с течение на времето. Чрез визуализиране на различни канали на мултиспектрални изображения и получаването на изображения в условни цветове следите от пожарите може лесно да се разграничат от незасегнатите площи, след което се очертават контурите на пожарищата и тяхната площ. Такива възможности предлагат мултиспектралните изображения от сензора TM и ETM+ на сателита Landsat. Тези данни обаче се характеризират със средна пространствена разделителна способност (ПРС), което може да доведе до известни грешки. Динамиката на пожара е свързана с разпределението на горивния материал, например отделните дървета. Тези вариации няма как да бъдат характеризирани в

рамките на 30 метровия пиксел на Landsat TM. Проблемът с влиянието на смесените пиксели върху точността на изчислените площи може да бъде частично решен чрез използването на панхроматичния на сензора ETM+ с разделителна способност от 15 m. При визуалната интерпретация възможността за ползване на различни комбинации от спектрални канали може значително да облекчи идентифицирането на пиксели, състоящи се изцяло или частично от изгорели площи. Използвайки данни от сензора TM López García и Caselles [12] установяват, че най-подходящи за тази цел са термалният канал (10.4–12.5  $\mu\text{m}$ ) и нормализираната разлика между близкия инфрачервен (0.76–0.90  $\mu\text{m}$ ) и средния инфрачервен (2.08–2.35  $\mu\text{m}$ ) канал.

Степента на непосредствените поражения върху почвата, растителността или екосистемите в пожарището (т.нар. *burn severity*) е изключително важен показател, тъй като от него в голяма степен зависят бъдещите процеси в територията – ерозия на почвата, възстановяване на растителността, хидроложки режим и т.н. Теренната оценка на степента на поражение включва измервания в пробни площадки, но те обикновено не могат да обхванат изцяло различията в рамките на опожарената територия, особено ако тя е с голяма площ. Ролята на дистанционните изследвания е да помогнат тези оценки да се екстраполират върху цялата засегната площ [13]. За целта се използват спектрални индикатори на степента на поражение, като например различни спектрални индекси.

Такъв спектрален индекс например е споменатата нормализирана разлика на отражението в близката инфрачервена и средната инфрачервена зона (канали 4 и 7 на Landsat) известен като Normalized Burn Ratio (NBR) [14]. Този индекс се е превърнал в стандартен метод, широко използван от изследователи и институции, занимаващи се с оценка на степента на пораженията от пожари [15-19]. Най-често използван подход е да се намери разликата в стойностите на индекса от преди пожара и след него, тоест да се изчисли т.нар. Differenced Normalized Burn Ratio (dNBR). Полученият по този начин индекс е мярка за абсолютната стойност на изменението на NBR. Модифициран вариант на dNBR е предложен от Miller и Thode [20]. Този индекс наречен Relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) представлява мярка за относителното изменение на NBR спрямо неговата стойност преди пожара и се смята, че е по-подходящ за характеризиране на екологичния ефект от пожара. Така например, ако пожарът е довел до пълно унищожаване на растителността в два различни участъка, единият от които първоначално е бил с по-голямо проективно покритие на растенията, а другият с по-малко това би предизвикало различни стойности на dNBR в двете места, въпреки че екологичният ефект е еднакъв. Причината е, че NBR преди пожара е имал по-ниска стойност в участъка с по-малко проективно покритие на растенията отколкото в този с по-гъста растителност. Чрез RdNBR се отчитат вариациите на NBR по територията преди тя да бъде засегната от пожара. Това позволява да се сравняват оценките на степента на поражение между различни пожарища и в рамките на едно пожарище с първоначално нехомогенна растителна покривка [20].

### Използвани данни и методи

В изследването са използвани шест сцени от Landsat TM/ETM+, които са описани в Таблица 1. За изследване на измененията, настъпили в резултат от пожара в резервата „Бистришко бранище“, са подбрани две двойки изображения. Първата включва две изображения от лятото на 2012 г., заснети непосредствено преди и след пожара. Сцената от 15 юли е първата ясна сцена след пожара в „Бистришко бранище“. За съжаление не е налично изображение от предходната година с близка до тази дата, което наложи за сравнението да се ползва по-ранно изображение от 2012 г. Тъй като разликата между датите на двете изображения е сравнително голяма - 16 дни се наложи да се подбере и втора двойка изображения, при която разликата да бъде по възможност по-малка. За целта е избрана по-късна сцена - 16 август 2012 г., която е съпоставена със сцена от предходната година - 22 август 2011 г. Разликовите индексни изображения, получени от тези две двойки, са сравнени за пожарището в „Бистришко бранище“ за да се оцени влиянието на избора на изображения върху стойностите на индексите. Липсата на безоблачни сцени наложи за пожара при Меча поляна да се използва изображение от края на октомври 2012 г., което е съпоставено с изображение от края на септември 2011 г. (26 дни разлика).

Стойностите на пикселите в изображенията са конвертирани в енергетични яркости ( $W\text{ m}^{-2}\text{ sr}^{-1}\text{ }\mu\text{m}^{-1}$ ) след което изображенията са коригирани за атмосферни влияния чрез модула QUick Atmospheric Correction (QUAC®) в програмния пакет ENVI 4.7. За всяка дата е изчислен индексът NBR по формулата [17,14,15]:

$$(1) \quad NBR = 1000 \frac{(Band4 - Band7)}{(Band4 + Band7)},$$

Табл. 1. Списък на използваните изображения от Landsat

Дата	Сензор	Височина на Слънцето (°)	Приложение
29.06.2012 г.	ETM+	63,3	Бистришко бранище
15.07.2012 г.	ETM+	61,6	
22.08.2011 г.	TM	52,9	Бистришко бранище
16.08.2012 г.	ETM+	55,1	
23.09.2011 г.	TM	43,2	Меча поляна
19.10.2012 г.	ETM+	34,6	

където *Band4* и *Band7* са съответно канали 4 (0.76-0.90  $\mu\text{m}$ ) и 7 (2.08-2.35  $\mu\text{m}$ ) на Landsat TM/ETM+. Във формулата е добавена константата 1000, съобразно процедурата, предложена от Key и Benson [14], което позволява да се работи с цели числа. Па този начин стойностите на индекса варират от -1000 до 1000. Растителността има стойности на NBR над нула, а почвата и скалите под нула [21]. Пожарищата имат отрицателни стойности, намаляващи с увеличаването на степента на поражение. Трите двойки NBR изображения (юни-юли 2012 г., август 2011-август 2012 г. и септември 2011-октомври 2012 г.) са използвани за намиране на разликовия индекс dNBR чрез изваждане на съответното NBR изображение, получено след пожара (*postfireNBR*), от това получено преди пожара (*prefireNBR*) [14]:

$$(2) \quad dNBR = prefireNBR - postfireNBR$$

Теоретично dNBR може да варира от -2000 до 2000 [15], като стойностите около нула показват липса на промяна, положителните стойности показват понижаване на NBR (намаляване на растителността), а отрицателните повишение на NBR. Модифицираният вариант на този индекс – RdNBR – също е изчислен за трите периода [20,22]:

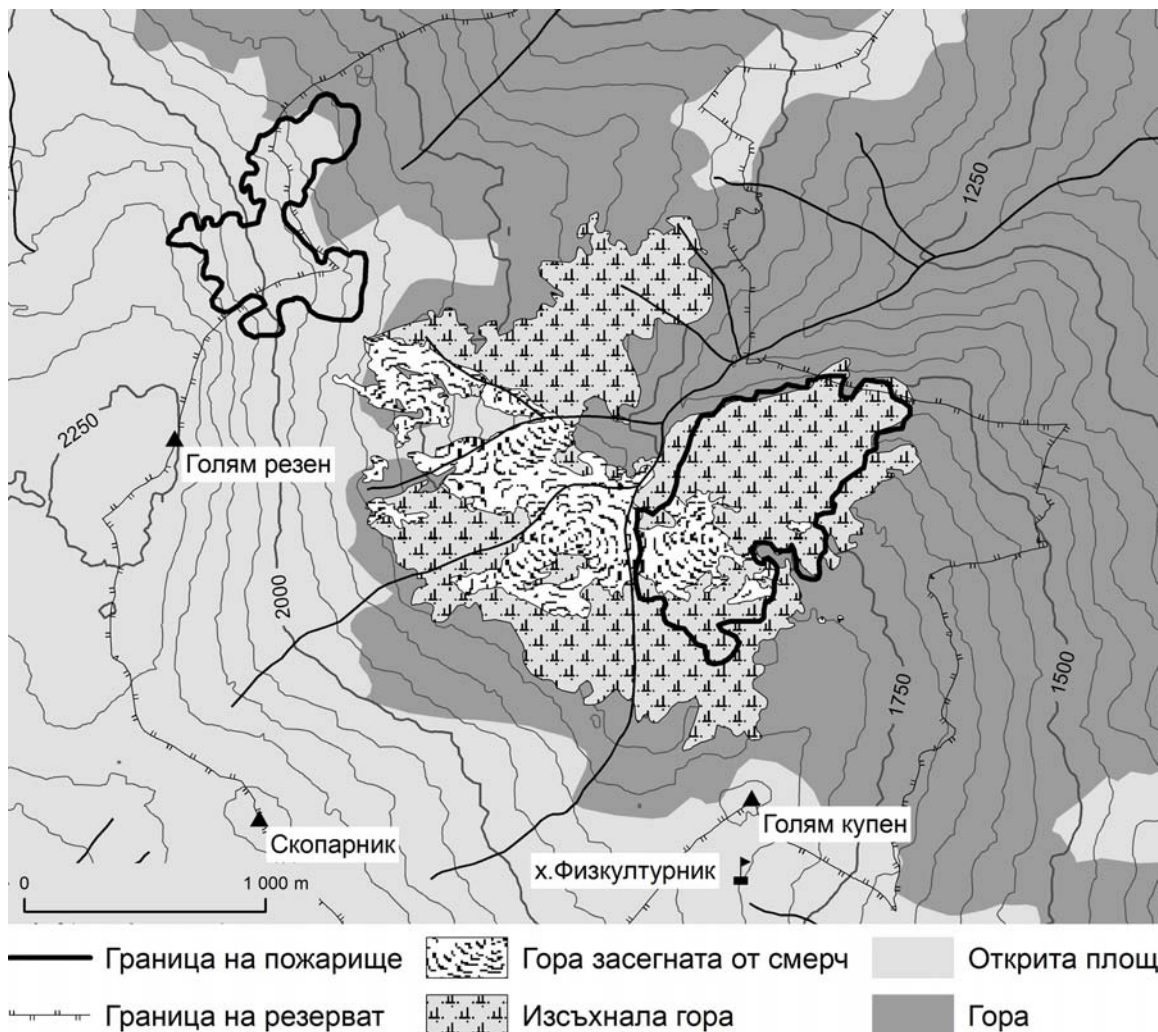
$$(3) \quad RdNBR = \frac{dNBR}{\sqrt{ABS(prefireNBR/1000)}}$$

Използването на абсолютната стойност (*ABS*) на NBR от преди пожара в знаменателя позволява да се запази знака на оригиналния dNBR [20]. При една и съща стойност на dNBR (тоест на абсолютно изменение) относителният индекс RdNBR ще е по-висок там където NBR преди пожара е бил по-нисък, тоест количеството растителност е било по-малко.

Изображенията от Landsat ETM+ са обработени чрез техниката за сливане на изображения (*image fusion*), при което с помощта на панхроматичния канал на сензора разделителната способност на останалите спектрални канали е подобрена от 30 на 15 m. По тези изображения с подобрена детайлност е извършено дешифриране и очертаване на периметъра на двете пожарища.

## Резултати

**Определяне на периметъра и площта на пожарищата.** Изображенията в условни цветове, получавани при визуализацията на различни комбинации от каналите на Landsat, са в различна степен информативни при разпознаването на териториите засегнати от пожар. Особено полезни за локализирането на такива територии са комбинациите, включващи термалния канал 6 (10.40-12.50  $\mu\text{m}$ ), но използването им за очертаване на точните граници е по-малко удачно поради по-ниската ПРС на този канал. Друга подходяща комбинация е RGB=7,5,2. Препоръчително е използването на колкото се може повече комбинации, тъй като при едни от тях изпъкват границите с един тип съседни територии, а при други с друг тип. При дешифрирането винаги трябва да се наблюдава по-голям район от изображението за да се види как изглеждат различните типове земно покритие, когато не са засегнати от пожара. По този начин определянето на границите става не само „отвътре-навън“, но и „отвън-навътре“. Проблем при дешифрирането могат да създадат голите скални участъци, а също и сенките върху сцената, заснета през октомври. Такива се наблюдават върху изображенията под в.Голям Резен и при някои комбинации са неотличими от опожарената територия. Предварителното познаване на района в случая е от полза. Определените периметри представляват максималният обхват на пожара и не отчитат евентуалното наличие на незасегнати „острови“ вътре в пожарището. В действителност такива се наблюдават само в пожарището край Меча поляна, но имат сравнително малка площ и трудно биха могли надеждно да се дешифрират при този мащаб. Планиметричната площ, заградена в така очертаните периметри (Фиг.2) на пожарището в резервата „Бистришко бранище“ възлиза на 69,3 ha (693 дка). Тъй като теренът има значителен наклон реалната площ на повърхнината на



Фиг. 2. Карта на района на резерват „Бистришко бранище“ на Витоша с очертанията на пожарищата от 2012 г., дешифрирани по Landsat ETM+.

пожарището е с 8% по-голяма или 74,9 ha. Наклонът на склона при пожара при Меча поляна е по-малък и затова площта на повърхнината там (38,5 ha) е с 6% повече от планиметричната (36,2 ha). Малко по-малка площ на пожарището (0,6 km<sup>2</sup>) е получена при изследване класовете земно покритие на базата на полуавтоматична класификация на изображение от Landsat от Филчев [23], която обаче също е в пъти повече от първоначалната информация за размера на пожара.

*Влияние на избора на изображенията върху индексите dNBR и RdNBR.* В Таблица 2 е представено статистическо описание на стойностите на dNBR и RdNBR в рамките на двете пожарища. Данните са извлечени чрез векторния слой с дешифрираните периметри на пожарищата. Стойностите на dNBR за пожарището в „Бистришко бранище“ се различават в зависимост от използваната за изчисляването му двойка изображения. Като цяло индексът е малко по-висок в случая, когато са използвани изображенията от юни и юли 2012 г (Табл. 2). За да се провери дали разликата в средните стойности на dNBR, изчислен по двете двойки изображения е статистически значима е използван t-тестът за свързани извадки. Той показва, че разликата е значима ( $t=-22,2$ ;  $p<0,001$ ;  $df=766$ ). Индексът RdNBR показва същата зависимост от използваните изображения (Табл. 2), като наблюдаваната разлика в средните стойности отново е статистически значима ( $t=-48,4$ ;  $p<0,001$ ;  $df=766$ ). Имайки предвид, че по-високите стойности на индексите отговарят на по-силна степен на промяна (нарушение), може да се предположи, че използването на изображение с дата по-близка до самия пожар (юли) е позволило да се регистрира максималното отклонение от първоначалното състояние. Пониските стойности на индексите, получени използвайки изображението от август 2012 г., повече от месец след пожара, може да се дължат на отслабване или изчезване на някои от измененията, свързани с пожара. За възстановяване на растителността в такива кратки срокове не може да се говори, но е възможно пепелната покривка възникнала при пожара да е отвята

или измита от валежите. В действителност, в този период, на 28.07.2012 г. в станция Черни връх е отчетен валеж 28,4 l m<sup>2</sup>, което е максималният денонощен валеж, отбелязан в периода юни-август 2012 г [24]. Отмиването на натрупаните материали върху почвата след пожара би причинило изменение на отражателните характеристики, приближавайки ги към състоянието от преди пожара.

Причината за наблюдаваните при двата индекса различия на стойностите в зависимост от използваните изображения може да е свързана и с влиянието на фенологичните промени в растителната покривка. Колкото по-голяма е разликата в датите на изображенията, използвани за изчисляване на dNBR и RdNBR, толкова по-големи би следвало да са естествените фенологични изменения, настъпили между тези дати. Наслагвайки се върху измененията, причинени от пожара, фенологичните изменения може да доведат до повишаване на стойностите на двата индекса. В настоящото изследване влиянието на фенологичните промени за наблюдаваното различие в индексите при двете използвани двойки изображения може да се отхвърли. Въпреки че разликата в датите между изображенията от първата двойка е значително по-голяма (16 дни, срещу 6 при втората двойка), този период обхваща предимно времето след пожара, когато растителността вече е била унищожена и няма как да стават следващи фенологични промени.

Тъй като разликата в индексите при изчисляването им по изображенията от различните дати не може да се обясни с фенологичните влияния се приема, че тя отразява промените, свързани с пожара, а също и настъпилите след него изменения, като отвяване или отмиване на материалите от горенето, намиращи се върху почвата или повишаване на почвената влажност. Поради това за оценката на степента на поражение в пожарището в „Бистришко бранище“ е по-подходящо да се използват dNBR и RdNBR, изчислени с помощта на изображенията от юни и юли 2012 г. По-нататък в изложението за характеризиране на пожарището в „Бистришко бранище“ са използвани именно те.

Тъй като изображенията, използвани за оценка на степента на поражение в пожарището при Меча поляна са с дори още по-голяма разлика в датите – почти един месец, е необходимо и тук да се провери влиянието на фенологичните промени върху dNBR и RdNBR. За целта стойностите на двата индекса бяха извлечени за малък район в съседство с пожарището, зает също като него с тревна и храстова растителност. Средната стойност на dNBR за този район беше 71, а на RdNBR – 94. Както се вижда от Таблица 2 тези стойности са много по-ниски от стойностите на двата индекса в рамките на пожарището (съответно 790 и 1099). С други думи, промените в NBR в съседния незасегнат от пожара район представляват около 9% спрямо промените в рамките на пожарището.

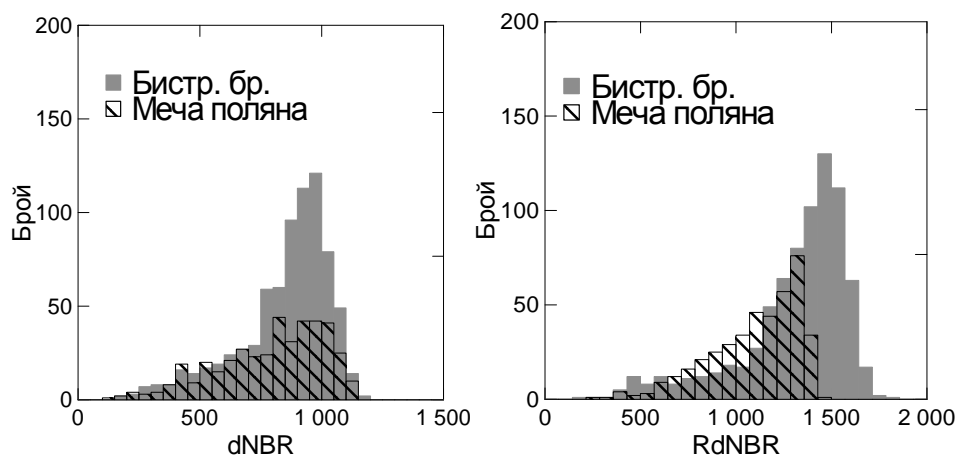
Табл. 2. Описателни статистики на dNBR и RdNBR за пожарищата в резервата „Бистришко бранище“ и при Меча поляна. За „Бистришко бранище“ с (1) са означени индексите, изчислени чрез сцените от август 2011 и 2012 г., а с (2) тези изчислени чрез сцените от юни и юли 2012 г.

	dNBR		Меча поляна	RdNBR		Меча поляна
	Бистришко бранище			Бистришко бранище		
	(1)	(2)		(1)	(2)	
Обхват	39-1135	170-1156	127-1147	56-1513	211-1851	238-1436
Средно	790	847	790	1147	1310	1099
Медиана	834	896	827	1216	1388	1147
Ст.Откл.	196	190	219	271	286	235

*Сравнение между двете пожарища.* Характерът на земното покритие в териториите, обхванати от двата пожара се различава значително. Докато в „Бистришко бранище“ са засегнати предимно изсъхнали дървета, край Меча поляна пожара обхваща тревна и храстова субалпийска растителност и торф. Тези различия са потенциална предпоставка за различна интензивност и динамика на пожарите, а от там и за разлика в степента на пораженията. Хистограмите на стойностите на dNBR в рамките на двете пожарища (Фиг. 3) обаче не показват съществени различия в спектралния ефект на двата пожара. Индексът варира в едни и същи граници, като преобладават стойностите на dNBR в интервала 800-1000. Следователно, настъпилите в двете пожарища спектрални промени (характеризирани чрез NBR) са равни по абсолютна величина. При индекса RdNBR обаче се наблюдава разлика между двете пожарища. За пожарището в „Бистришко бранище“ индексът RdNBR има значително по-високи стойности, отколкото за пожарището при Меча поляна (Фиг. 3). Това е свързано с факта, че в „Бистришко бранище“ стойностите на NBR преди пожара са по-ниски от тези в храстовите и тревните формации при Меча поляна. Причината за по-ниските стойности е наличието на изсъхнали дървета и значителното покритие на земната повърхност с повалени стволоче и други остатъци от дървесната растителност. Това намалява проективното покритие на свежата тревна и

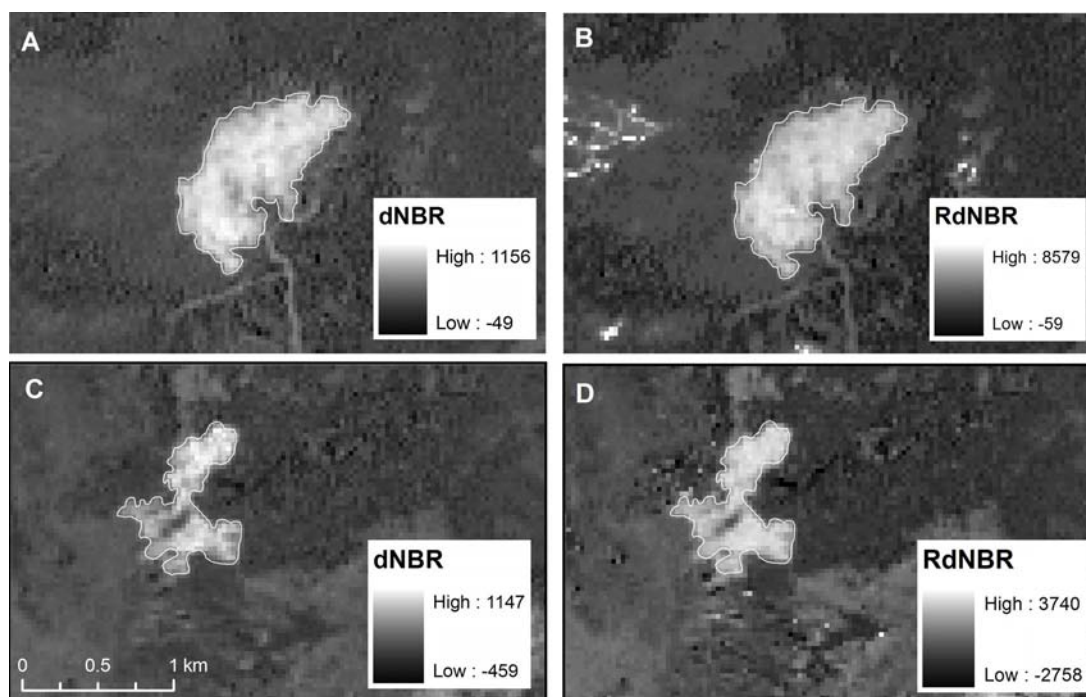
хростова растителност. На теория RdNBR „се стреми“ да компенсира тази по-ниска първоначална стойност като дава не абсолютната стойност на промяната, а относителна. Той показва, че относителното спектрално изменение в „Бистришко бранище“ е по-голямо.

Какъв е механизмът и екологичният смисъл на различаващите се стойности на RdNBR в двете пожарища е трудно да се каже. Още по-трудно могат да се правят изводи за поведението на спектралните индекси при липса на наземни данни за степента на поражение. За съжаление на разполагаме с данни за процента на загиналата растителност, който е добър индикатор за екологичния ефект от пожара.



Фиг. 3. Разпределение на стойностите на dNBR и RdNBR за пожарищата в резервата Бистришко бранище и край Меча поляна

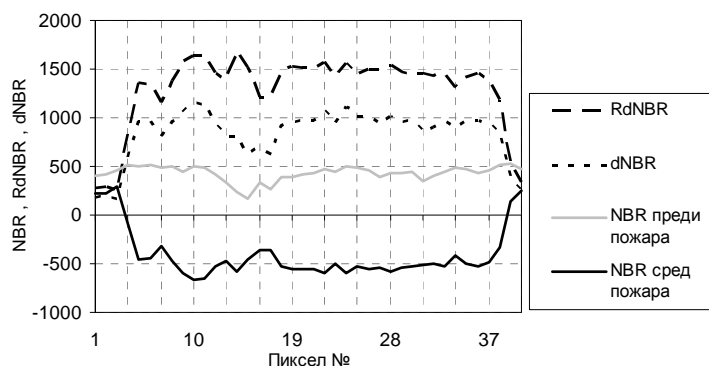
*Разграничаване на участъци с различна степен на поражение* В рамките и на двете пожарищата се наблюдават вариации в спектралните индекси, които може да са индикация за наличие на райони с по-големи или по-малки поражения (Фиг. 4). Без обвързването на тези различия с реална количествена оценка на пораженията, базирана на наземни наблюдения, те могат да имат само ориентировъчен характер. Изображенията от Фигура 4 биха могли да послужат при планирането на теренни измервания, като основа за диференциация при залагането на пробните площадки.



Фиг. 4. dNBR и RdNBR за пожара в резервата „Бистришко бранище“ (A и B) и за пожара при Меча поляна (C и D)



Изясняването на въпроса кой от двата индекса (dNBR или RdNBR) позволява по-точно определяне на различните степени на поражение също изисква независими наземни данни. Въпреки това, тук може да проверим доколко всеки от двата индекса се влияе от стойностите на NBR преди пожара. Подобно влияние би затруднило правилното определяне на степента на поражение в различните участъци на пожарището, ако територията е била нехомогенна. Според Miller и Thode [20] недостатък на методите за откриване на промени, основани на разлика, какъвто е dNBR е, че получената мярка за абсолютно изменение може да е корелирана със стойностите на изображението отпреди промяната (пожара). С RdNBR се цели да се премахне тази зависимост. За да се провери каква е връзката на двата индекса (dNBR и RdNBR) със състоянието на земната повърхност преди пожара е направен „спектрален профил“ през пожарището в „Бистришко бранище“ с направление ЮЗ-СИ. Стойностите от пикселите, попадащи върху профилната линия, са извлечени и са нанесени в графика (Фиг. 5). Вижда се, че съществува известна връзка между dNBR и NBR преди пожара, което се потвърждава и от корелационния коефициент ( $r=0,58$ ;  $p<0,001$ ;  $df=33$ ). RdNBR от своя страна на практика не е свързан с NBR преди пожара ( $r=-0,20$ ;  $p=0,249$ ;  $df=33$ ). И двата индекса са силно корелирани с NBR след пожара, особено RdNBR ( $r=-0,97$ ;  $p<0,001$ ;  $df=33$ ). Тези резултати потвърждават, че за разлика от dNBR, RdNBR е независим от първоначалните разлики в растителната покривка и теоретично позволява по-точно сравнение на степените на поражение в пожарища с нееднородна растителност.



Фиг. 5. Изменение на dNBR, RdNBR, NBR преди пожара и NBR след пожара по профил с направление ЮЗ-СИ в пожарището в резервата „Бистришко бранище“

### Заклучение

Представената в медиите информация за площта на пожарите е разнопосочна и невярна. Това показва, че съответните държавни институции също не са разполагали с коректни данни, относно размерите на пожара. Твърде вероятно е точна информация да липсва и след тяхното потушаване. Това се дължи на факта, че те бушуваха в планинска територия и особено при първия пожар достъпът беше силно затруднен. След приложението на дистанционни методи се вижда, че реалните площи, пострадали при пожарите са значително по-големи. Планиметричната площ на пожарището в резервата „Бистришко бранище“ е 69,3 ha, а площта на повърхността е 74,9 ha, което е три пъти повече от оповестената информация. Площта на пожарището при Меча поляна в план е 36,2 ha, а като повърхност 38,5 ha, което е близо четири пъти повече в сравнение с посочените 100 дка на уеб страницата на ПП „Витоша“ [25].

Спектралните индекси dNBR и RdNBR са надеждно средство за изследване и оценка на щетите от горските пожари. Тяхната чувствителност към промените, вследствие частичното или пълно опожаряване на ландшафта позволява да се диференцират зони в пожарището, характеризиращи се с различна степен на пораженията. Определянето на граничните числени стойности на индексите ще позволи в бъдеще да направи корелативна връзка между физическата степен на промяна на земното покритие на територията и неговите спектрални характеристики.

### Литература:

1. Велизарова, Е., И. Ц. Маринов, В. Константинов. (2006). Горските пожари - динамика, оценка и екологични последици. Наука за гората, т. XLIII, кн. 1, 75-91
2. Alexandrov, A. (2007). Forests and climate change. Forest science, vol. XLIV, issue 3, 3-8
3. Глогов, П., В. Илкова. (2006). Сравнителен флористичен и синтаксономичен анализ на промените на растителността в нарушени от пожар терени. Наука за гората, т. XLIII, кн. 3, 63-80

4. Богданов, С., П. Глогов. (2006). Разпределение на екологичните групи растения в зависимост от промените в състава и свойствата на почви засегнати от горски пожари. Наука за гората, т. XLIII, кн. 3, 81-94
5. Глогов, П., С. Богданов. (2003). Промени в някои почвени показатели и връзката им с видовия състав на растителността в нарушени от пожар горски територии. Наука за гората, т. XL, кн. 1, 71-82
6. Димитров, П., А. Гиков. (2009). Идентификация и оценка на следи от пожари в Рила планина чрез използване на спектрални индекси по данни от Landsat. В: Сб. Доклади от пета научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS 2009" 2-4 ноември 2009 г София. с. 142-149
7. Гиков, А., П. Димитров. (2009). Приложение на геоинформационните технологии за оценка на щетите и последиците от големия пожар в района на х.Мальовица, Рила планина. В: Сб. Доклади от пета научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS 2009" 2-4 ноември 2009 г София. с. 150-159
8. Гиков, А. (2009). Изследване на пожара около връх Аризманица, Рила планина чрез сателитни изображения с различна разделителна способност. В: Сб. Доклади от пета научна конференция с международно участие "Space, Ecology, Nanotechnology, Safety – SENS 2009" 2-4 ноември 2009 г София. с. 160-167
9. Георгиев, Г. (1993). Народните паркове и резервати в България. С. Просвета, 190 с.
10. Регистър на защитените територии и защитените зони в България – Интернет страница на ИАОС - <http://pdbase.government.bg/zpo/bg/>
11. Гиков, А., З. Пиронкова. (2005). Използване на геоинформационните технологии за оценка на щетите от смерч в горски територии. - В: Сб. Доклади от Научна конференция "Space, Ecology, Safety – SES 2005", 10-13 юни 2005 г. Варна, с. 269-274
12. López García, M. J., V. Caselles. (1991). Mapping burns and natural reforestation using thematic Mapper data. Geocarto International, 6(1): 31-37
13. Barrett, K., E. S. Kasischke, A. D. McGuire, M. R. Turetsky, E. S. Kane. (2010). Modeling fire severity in black spruce stands in the Alaskan boreal forest using spectral and non-spectral geospatial data. Remote Sensing of Environment, 114, 1494–1503
14. Key, C. H., N. C. Benson. (1999). Measuring and remote sensing of burn severity: the CBI and NBR. Poster abstract. In: L. F. Neuenschwander and K. C. Ryan (Eds.), Proceedings Joint Fire Science Conference and Workshop, Vol. II, Boise, ID, 15-17 June 1999. University of Idaho and International Association of Wildland Fire. 284 pp.
15. Escuin, S., R. Navarro, P. Fernández. (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, 29(4): 1053-1073
16. Epting, J., D. Verbyla, B. Sorbel. (2005). Evaluation of remotely sensed indices for assessing burn severity in interior Alaska using Landsat TM and ETM+. Remote Sensing of Environment 96 328 – 339
17. Wimberly, M. C., M. J. Reilly. (2007). Assessment of fire severity and species diversity in the southern Appalachians using Landsat TM and ETM+ imagery. Remote Sensing of Environment 108 189–197
18. Cocke, A. E., P. Z. Fulé, J. E. Crouse. (2005). Comparison of burn severity assessment using Differenced Normalized Burn Ratio and ground data. International Journal of Wildland Fire, 14, 189-198
19. Monitoring Trends in Burn Severity (MTBS) Project. URL: <http://mtbs.gov/index.html>
20. Miller, J. D., A. E. Thode. (2007). Quantifying burn severity in a heterogeneous landscape with a relative version of the delta Normalized Burn Ratio (dNBR). Remote Sensing of Environment 109, 66–80
21. Miller, J. D., S. R. Yool. (2002). Mapping forest post-fire canopy consumption in several overstory types using multi-temporal Landsat TM and ETM data. Remote Sensing of Environment, 82, 481–496
22. Miller, J. D., E. E. Knapp, C. H. Key, C. N. Skinner, C. J. Isbell, R. M. Creasy, J. W. Sherlock. (2009). Calibration and validation of the relative differenced Normalized Burn Ratio (RdNBR) to three measures of fire severity in the Sierra Nevada and Klamath Mountains, California, USA. Remote Sensing of Environment 113, 645–656
23. Filchev, L. 2012. Land-Use/Land-Cover Change Detection of Bistrishko Branishte Biosphere Reserve Using High-Resolution Satellite Data. In: XXII International Symposium "Modern Technologies, Education and Professional Practice in Geodesy and Related Fields", November 8 – 9, 2012, Sofia
24. Web страница Stringmeteo. Месечни обобщения на валежите: [http://www.stringmeteo.com/synop/prec\\_month.php](http://www.stringmeteo.com/synop/prec_month.php)
25. Web страница на ПП „Витоша“: <http://www.park-vitosha.org/content/новини>