

ИДЕНТИФИКАЦИЯ И ОЦЕНКА НА СЛЕДИ ОТ ПОЖАРИ В РИЛА ПЛАНИНА ЧРЕЗ ИЗПОЛЗВАНЕ НА СПЕКТРАЛНИ ИНДЕКСИ ПО ДАННИ ОТ LANDSAT

Петър Димитров, Александър Гиков

Институт за космически изследвания - Българска академия на науките
e-mail: petarkirilov@mail.bg, gikov@mail.space.bas.bg

Ключови думи: горски пожари, NDVI, NBR, Landsat, Рила планина

Абстракт: Чрез сравнение на спектралните индекси NDVI и NBR, извлечени от последователни Landsat изображения преди и след пожари, е направена идентификация и картографиране на няколко горски пожара в Рила планина, разразили се през лятото на 2000 г. За целта са използвани части от сцени, заснети със сензора ETM+ от 1999, 2000, 2001 г. и от сензора TM от 2007 г. В рамките на пожара при х. Мальовица, следствие от най-значимия пожар, е направен опит чрез градиране на разликата на индекса NBR преди и след пожара да се класифицира пожара по степен на поражение. Резултатите са представени в серия карти на северозападния дял на Рила планина и детайл за района над х. Мальовица. Обработка на Landsat изображения за извличане на индекса NBR и оценка на опожарени територии чрез него се прави за първи път в България. Анализът на резултатите показва, че NBR превъзхожда NDVI по отношение пригодността за идентификация на следи от пожари и възможностите за класифициране на пораженията в тях.

IDENTIFICATION AND ASSESMENT OF FIRE SCARS IN THE RILA MOUNTAIN USING SPECTRAL INDICES OF LANDSAT DATA

Peter Dimitrov, Alexander Gikov

Space Research Institute – Bulgarian Academy of Sciences
e-mail: petarkirilov@mail.bg, gikov@mail.space.bas.bg

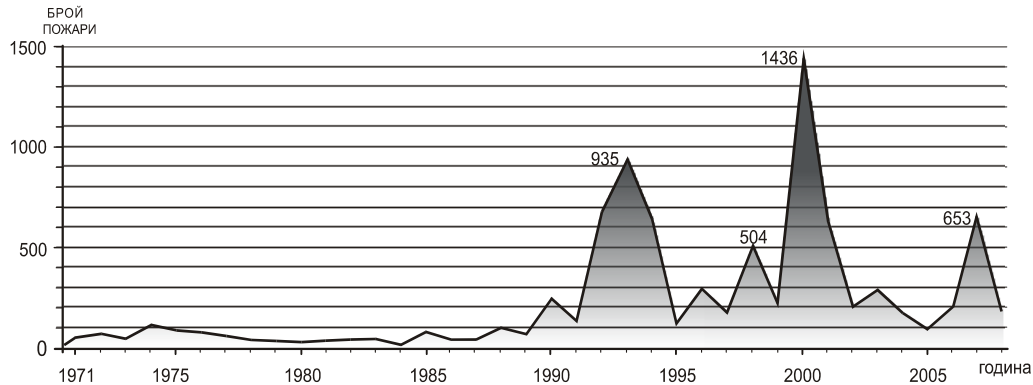
Keywords: wild fires scar, NDVI, NBR, Landsat, Rila Mountain

Abstract: The scars and effects of several wild fires which occurred in the summer of 2000 in the Rila Mountain are identified and mapped, comparing the NDVI and NBR spectral indices, calculated from Landsat pre- and post-fire images. The used images were three ETM+ scenes from 1999, 2000 and 2001 and one TM scene from 2007. Attempt is made to classify by fire severity the most significant burned area near the Malyovitsa hut. The difference between pre- and post-fire NBR is used. The results are presented in series of maps of Northwestern Rila Mountain and a detail of the Malyovitsa hut area. This work presents for the first time an assessment of burned areas by NBR index in Bulgarian conditions. The analysis shows that NBR performs better than NDVI in identifying fire scars and accessing fire severity.

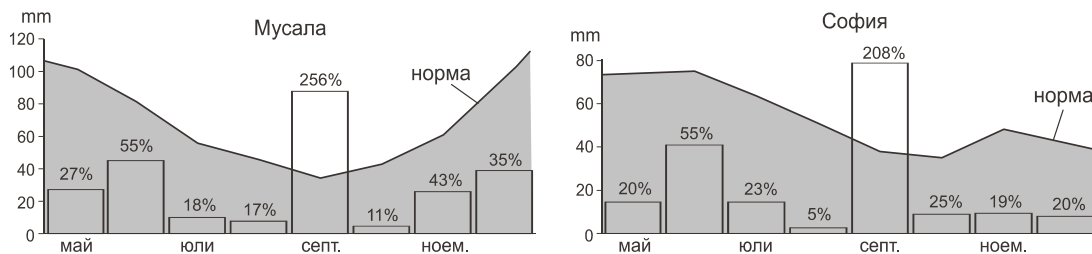
Въведение

Пожарите са важен фактор за развитието на ландшафтите в Рила планина, което се подсказва от редица исторически сведения. Антропогенно предизвиканите пожари са били обичайни в миналото [1, 2, 3], а през последните десетилетия влиянието на този фактор се засилва поради по-честата проява на екстремални метеорологични обстановки. По данни на Главна дирекция "Пожарна безопасност и спасяване" [4] през лятото на 2000 г. се отбелязва абсолютния максимум на горските пожари в България за целия период на водене на статистиката (фиг.1.). Като основна причина за това може да се изтъкне метеорологичната обстановка през лятото на 2000 г., когато на много места в страната се наблюдават дълги периоди със задържане на максималните температури над 30°C и оскъдни валежи [5]. От фиг.2. се вижда, че в станциите София и Мусала през месеците юли и август сумата на валежите е била неколкостранно по-малка от установената норма, което довежда до силно изсушаване на подстилата повърхнина и увеличаване на риска от пожари. Наистина през септември сумата

на валежите превишава нормата повече от два пъти, но това се дължи на проливни валежи, концентрирани само в 2 дни от месеца. Такива валежи се оттичат бързо, а не проникват в почвата. В резултат на тези, благоприятстващи пожарите условия, през лятото на 2000 г. възникват няколко големи пожара в горския и субалпийския пояс, които са обект на изследване в този доклад.



Фиг. 1. Горски пожари за периода 1971 - 2008 г. [4]



Фиг. 2. Сума на валежите през периода май-декември 2000 г. и месечната им норма (1961-1990 г.)

Изследването на последиците от пожарите върху природните системи е свързано с различни научни и практически задачи. Проследяването на историята и режима на пирогенните нарушения в даден район ни дава информация за морфологията и еволюцията на ландшафтите и позволява да проследим сукцесионните процеси в растителността [6, 7]. От друга страна установяването на степента на поражение върху растителността и почвата, непосредствено след бедствието, е в основата на планирането на възстановителни мероприятия [8]. Събирането на такава информация често изисква съвременна и скъпоструваща теренна работа, за което в България липсват ресурси. Поради тази причина все по-често приложение ще намират дистанционните методи.

Благодарение на съдържащата се в тях спектрална информация, сателитните изображения от типа на Landsat дават възможност да се разпознаят и картографират територии, засегнати от пожари в регионален мащаб. Въпреки средната пространствена разделителна способност те позволяват сравнително точно да се очертаят периметрите на пожарите. Достъпът до архивни сателитни изображения, както и непрекъснатото получаване на нови данни позволява при необходимост да се натрупа архив от подобни карти, чрез които да се проследи историята на нарушенията, предизвикани от пожари в даден район, а също и процесите на възстановяване. Освен това спектралната информация от Landsat предлага възможност за използване на индекси, които са чувствителни към конкретни особености на подстилата повърхност и по този начин улесняват извличането на информация от изображенията.

За изследването на ефекта от пожарите чрез дистанционни данни се използват различни методи, като широко приложение намира спектралният индекс **NDVI** (Normalized difference vegetation index), а в последно време и индексът **NBR** (Normalized burn ratio). Целта на доклада е да се проучат възможностите за идентификация на територии, пострадали от горски пожари и за оценка на пораженията от тях чрез използване на спектралните индекси NDVI и NBR, извлечени от Landsat изображения, както и да се направи оценка на всеки от индексите по отношение на пригодността им.

Спектрални индекси за изследване на последици от горски пожари

Както е известно различните типове земни повърхности притежават специфични отразителни характеристики. Поради това данните, получени в някои диапазони на спектъра

могат да носят значителна информация за конкретния обект, който изучаваме. Така например за идентификация на растителността особено полезни са каналите в червената и близката инфрачервена област, докато за анализ на влажността на почвите – каналите в средната инфрачервена зона. Горските пожари (както и тези, засягащи храстови или тревни съобщества) водят до значителни промени в отражението, поради намаляване на проективното покритие на зелената растителност, премахване на мъртвата подстилка, промяна в цвета на почвата и съдържанието на влага в нея. За оценка на тези промени е била изпробвана приложимостта на различни спектрални канали, отношения на два спектрални канала, индекси или други трансформации [9]. В настоящия доклад са разгледани само двата най-често прилагани спектрални индекса- NDVI и NBR.

Вегетационните индекси, като NDVI намират приложение както за оценка на поражението от пожари [10], така и за проследяване на възстановяването на растителността след тях. За пресмятането на NDVI се използва следното отношение:

$$(band\ 4 - band\ 3) / (band\ 4 + band\ 3),$$

където с band 4 и band 3 се означават съответните Landsat TM/ETM+ канали в близкия инфрачервен и червения диапазон. Използването на този индекс е обосновано поради чувствителността му към състоянието на растителността, която претърпява значителни промени при пожар.

Значително по-често обаче пораженията от пожари се оценяват чрез индексът NBR [11], който е съставен така, че да е максимално чувствителен към цялостните промени в спектралните отражателни характеристики, причинени от пожар [12]. Неговата формула е следната:

$$(band\ 4 - band\ 7) / (band\ 4 + band\ 7),$$

където с band4 и band7 са означени съответните Landsat TM/ETM+ канали в близкия инфрачервен и средния инфрачервен диапазон.

Както се вижда двата горни индекса са почти аналогични с изключение на това, че при NBR червеният канал е заменен от средния инфрачервен. Предимствата на NBR по отношение на изучаването на опожарени територии се дължат на използването на 4-ти и 7-ми канал, за които е установено, че претърпяват най-големи изменения в стойностите на отражението след пожар [11]. Отражението в близкия инфрачервен канал се определя от количеството на растителност, поради което то силно намалява след нейното унищожаването. Средният инфрачервен канал (band 7) на Landsat се намира в диапазона на силно поглъщане от водата (2,08 – 2,35 μm). При наличието на влажна почва и свежа растителност отражението в този канал е слабо. След загиването на растенията и намаляването на влагата в почвата в резултат на пожара то силно нараства. Подобно на NDVI стойностите на NBR също варират от -1 до 1. Покритите с растителност райони имат стойности по-големи от нула, докато районите с гола почва или скали имат стойности по-малки от нула. Пожарищата се отличават със силно отрицателни стойности.

Освен, че позволява контрастно да се представи периметърът на даден пожар, индексът NBR е информативен за пространствените различия на ефектите от пожара. Установено е, че съществува значителна корелация между NBR и комплексен индекс за пораженията върху почвата и растителността, основан на наземни данни [13,14]. Следователно NBR може да се използва за надеждна оценка на степента на нарушенията в различните участъци на пожарищата, като колкото по-ниски са стойностите му, толкова по-големи са пораженията.

Използвани изображения и обработка на данните

За картографирането на опожарените територии в Рила са използвани три сцени от Landsat ETM+: 1 ноември 1999 г.; 3 ноември 2000 г.; 5 октомври 2001 г.; и една от Landsat TM: 28 септември 2007 г. Подборът на сцените е във връзка с няколкото големи пожара в Рила в края на лятото на 2000 г. С цел да се изследва непосредствения ефект от тези пожари бе избрано изображение от есента на същата година. Поради необходимостта от сравнимост базовото изображение от 1999 година беше избрано също през есента, но за съжаление то е със значителен процент на облачната покривка. Все пак районите на пожарите са в ясната част от сцената. За проследяване на промените и възстановяването на засегнатите райони бяха използвани и две по-късни изображения – от 2001 и 2007 г. от същия сезон.

За всяка от четирите дати бяха изчислени индексите NDVI и NBR, като са използвани суровите стойности (DN). Тези индексни изображения бяха използвани при по-нататъшния анализ. Предишни изследвания са показали, че подхода на регистриране на промените (change detection) позволява най-прецизно да се оцени влиянието на конкретно явление, включително на пожарите върху земната повърхност. Поради това засегнатите територии в Рила са идентифицирани чрез разликата в стойностите на индексите преди и след пожар, които разлики

бяха означени съответно като dNDVI и dNBR. Така за всеки индекс бяха получени по три изображения на разликата съответно за 2000, 2001 и 2007 спрямо изходното състояние от 1999 г.

Освен това пожарището при х. Мальовица беше разгледано отделно с цел да се използват вариациите в стойностите на NBR за установяване на районите пострадали най-силно от пожара. Върху изображението на dNBR за 2001 г. е наложен периметърът на пожара, векторизиран предварително по Quickbird. Стойностите в засегнатата територия са степенувани в четири класа, съответстващи на различните степени на поражение на растителността и почвата. Получената карта е оценена визуално, чрез сравнение с изображение Quickbird и по лични наблюдения.

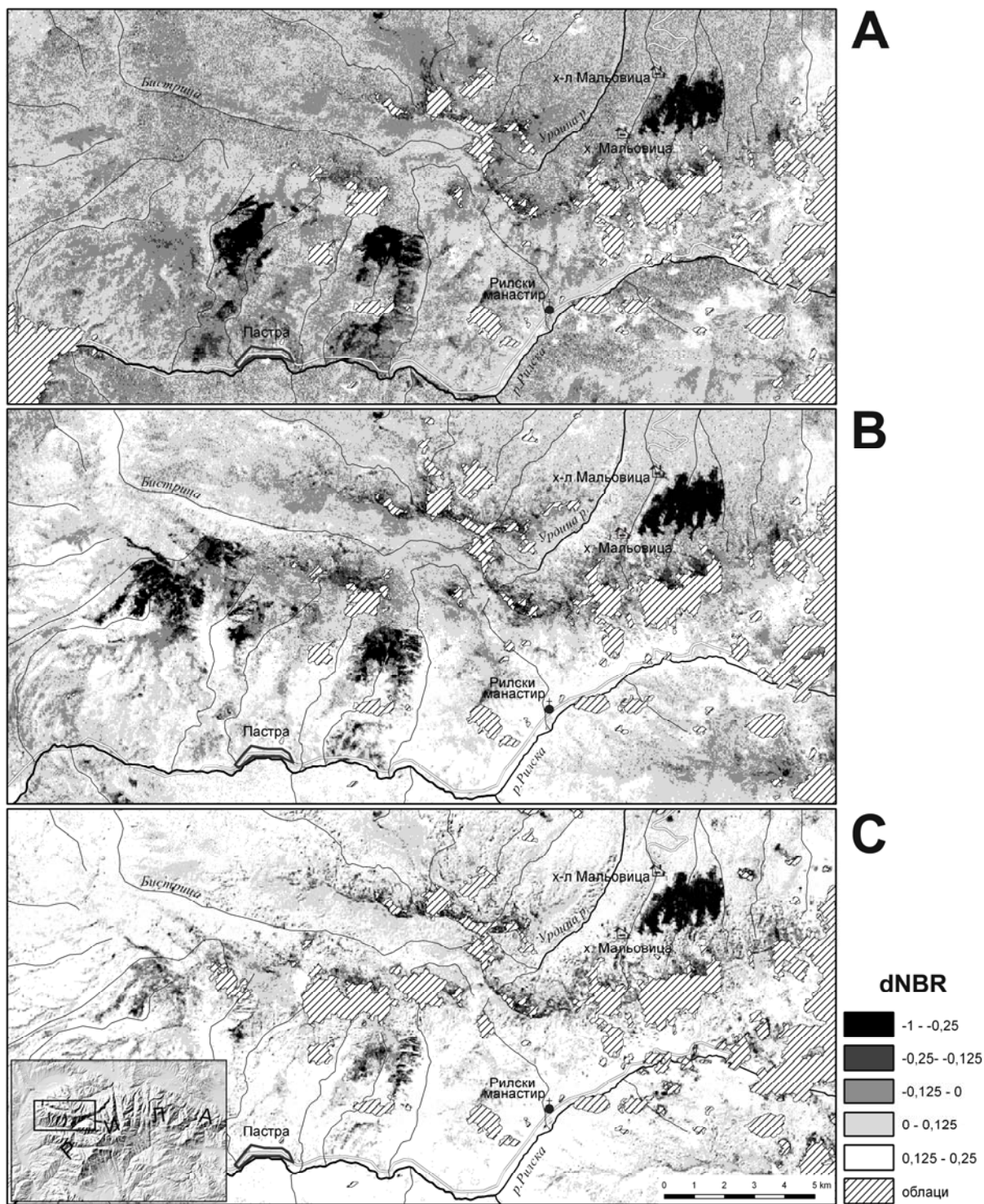
Идентификация на следите от пожари в Рила

На фиг. 3 са представени разликите в индекса NBR (dNBR), а на фиг. 4 за индекса NDVI (dNDVI) на част от Рила, изчислени по сцени от 2000, 2001 и 2007 г. Като база за сравнение е използвана Landsat ETM+ сцена от есента на 1999 г. За да може да се сравняват двата индекса директно, както и тяхното изменение във времето е приложена една и съща скала за визуализация. Когато между двете сравнявани години няма значителна промяна в земното покритие стойностите на dNDVI и dNBR са около нула. Такъв е случая с по-голямата част от територията на Рила, заета от гори, алпийски пасища и скали. Единствено фенологичните разлики могат да доведат до различия в стойностите на индексите между две години, поради което трябва да се използват изображения от един и същи сезон. От друга страна положителните и отрицателните стойности на dNDVI и dNBR показват, че е настъпила промяна спрямо изходното състояние, като в първия случай съответния индекс е нараснал, а във втория е намален. При нормални условия в горските и високопланински ландшафти не би трябвало да се наблюдава значимо нарастване или намаление, дори в рамките на няколко години. Нарастването на индекса NDVI през 2007 г. (Фиг. 4 С) вероятно се дължи на по-ранната дата на изображението от тази година и е свързано с по-активна вегетация на растителността. За разлика от тях в селскостопанските територии може да има значителни промени поради по-голямата динамика на земното покритие при този тип земеползване. В горските територии рязкото намаляване на индексите в рамките на една година (фиг.3 и 4) се дължи на явление със стихийен характер, например пожар, при което растителността е силно увредена или напълно унищожена.

Трите черни петна на фиг.3 А илюстрират трите най-значителни пожара от лятото на 2000 г. в Северозападна Рила, идентифицирани с индекса NBR. Тъй като използваното изображение е заснето само два месеца след пожарите техните следи се открояват ясно. При двата пожара над с. Пастра, които са засегнали предимно високопланински пасища, тревната растителност не е могла да се възстанови в есенния период след пожара. Една година след това (Фиг. 3 В) промените не личат толкова добре, тъй като през пролетта и лятото на 2001 върху пожарището е започнала да се развива тревна растителност. Същевременно западно от тези две пожарища се виждат следите от нов пожар от 2001 г. С течение на времето следите от тези пожари се заличават и на изображението на разликите в индекса NBR за 2007 към 1999 г. (фиг.3 С) те почти не личат. В същото време следите от големия пожар при х. Мальовица все още се открояват ясно. Причината е замаяната на първоначалната клекова растителност. След загиването на клека в следствие на пожара на негово място се развива тревна растителност, която има значително по-ниски стойности на индекса NBR. Настъпилите промени в растителността са коренни и дългосрочни, което влияе и на отражателните характеристики.

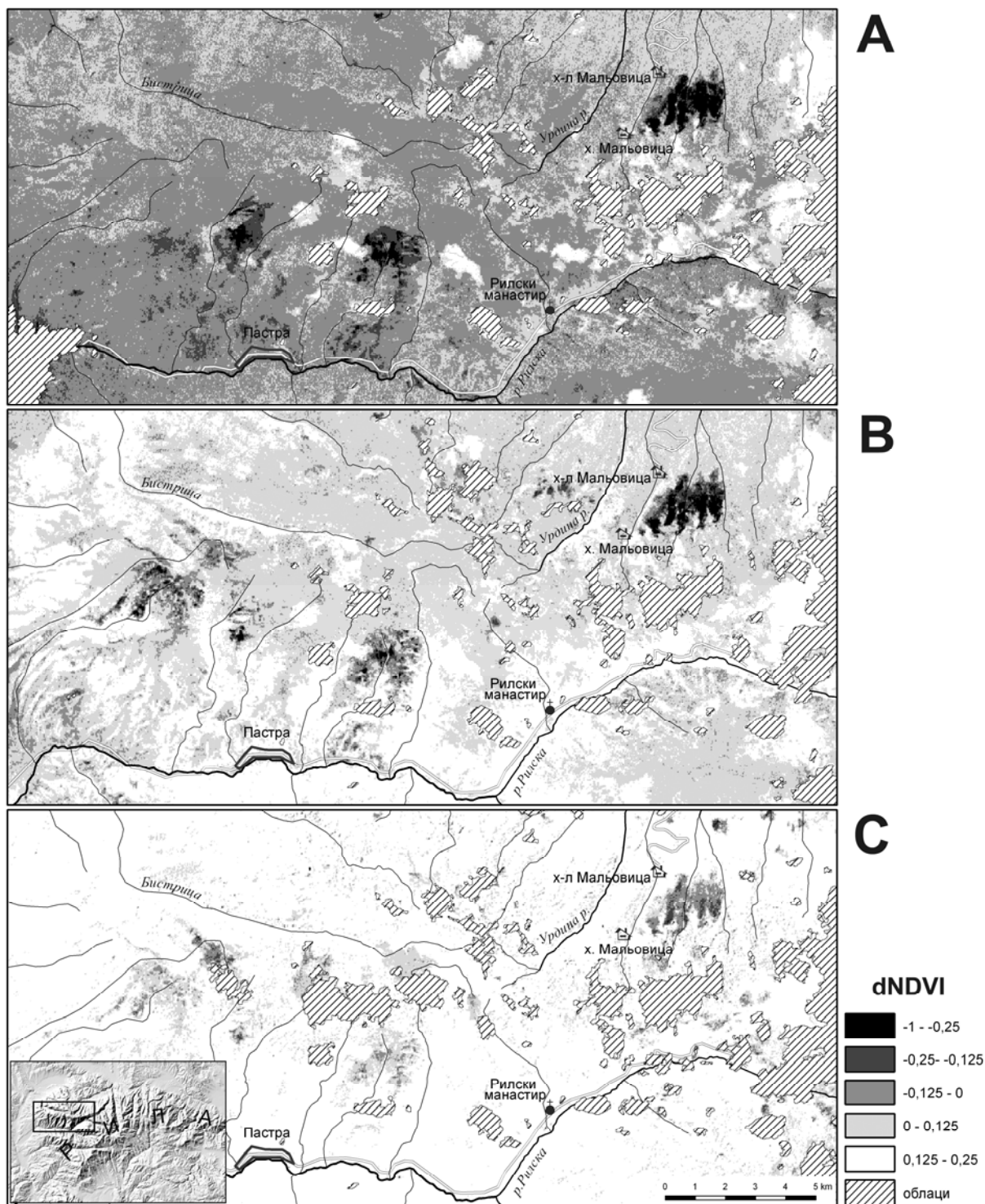
Сходни промени могат да се проследят на изображенията на разликата на NDVI (Фиг. 4). Прави впечатление обаче не толкова контрастното представяне на опожарените площи, което се дължи на по-малките разлики в стойностите на този индекс преди и след пожар. Това може да се обясни с по-малката чувствителност на NDVI към други промени в следствие от пожара, например намаляване на влагата в растенията и почвата.

Идентификацията и анализът на пожарищата, като тип земно покритие чрез спектрални данни от Landsat има две основни ограничения. Първото е свързано с грешки в интерпретацията на изображенията на dNDVI и dNBR, когато като пожарища се идентифицират райони, в които промяната в стойностите на индексите се дължи на друг фактор. Например наличието на облаци или сняг в една от сените ще причини разлики в стойностите на индексите между двете сравнявани години. За да се акцентира само на промените в земното покритие може да се използва маска на облачната и снежната покривка. По-сложен е въпросът с влиянието на сенките хвърляни от облаците, защото те трудно могат да бъдат маскирани автоматично.



Фиг. 3. Карты на разликите в индекса NBR (фрагмент на Северозападна Рила):
А – 1 ноември 1999 г. – 3 ноември 2000 г.; **В** – 1 ноември 1999 г. – 5 октомври 2001 г.;
С – 1 ноември 1999 г. – 28 септември 2007 г.

Вторият проблем е свързан със сенките, причинени от релефа в планинските територии, които не позволяват да се регистрират промени в слабо осветените стръмни долинни склонове. Сцените от Landsat се заснемат преди обед, когато слънцето свети от югоизток, затова при есенните и зимните сцени стръмните северозападни склонове са засенчени. Този ефект беше наблюдаван за пожара при х. Малъовица, където използваното първоначално изображение от 3 ноември 2000 г. (височина на слънцето $30,5^{\circ}$) не даде добри резултати в западната част на пожарището, защото стръмният северозападен склон на рида Ръждавица е засенчен. Когато се използва изображението от 2001 г., заснето един месец по-рано (височина на слънцето 40°) се



Фиг. 4. Карты на разликите в индекса NDVI (фрагмент на Северозападна Рила):
A – 1 ноември 1999 г. – 3 ноември 2000 г.; **B** – 1 ноември 1999 г. – 5 октомври 2001 г.;
C – 1 ноември 1999 г. – 28 септември 2007 г.

очертава много по-ясно засегнатата от пожара територия в западния край. Следователно за предпочитане е да се използват изображения с по-високо положение на Слънцето.

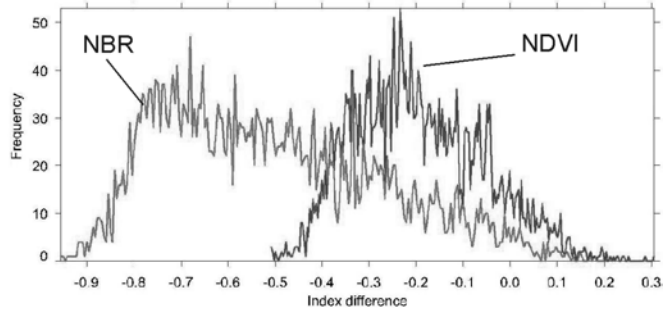
Определяне на степента на поражение

Установено е, че NBR има по-голям динамичен обхват в сравнение с другите индекси за типа земно покритие представявано от пожарищата [6]. Това е причина и за разликата в контрастността между фигури 3 и 4. Следователно NBR позволява по-плавно да се представят различията в този тип земно покритие, тоест степента на пораженията. Това се потвърждава от направеното сравнение на хистограмите на стойностите на dNDVI и dNBR в рамките на

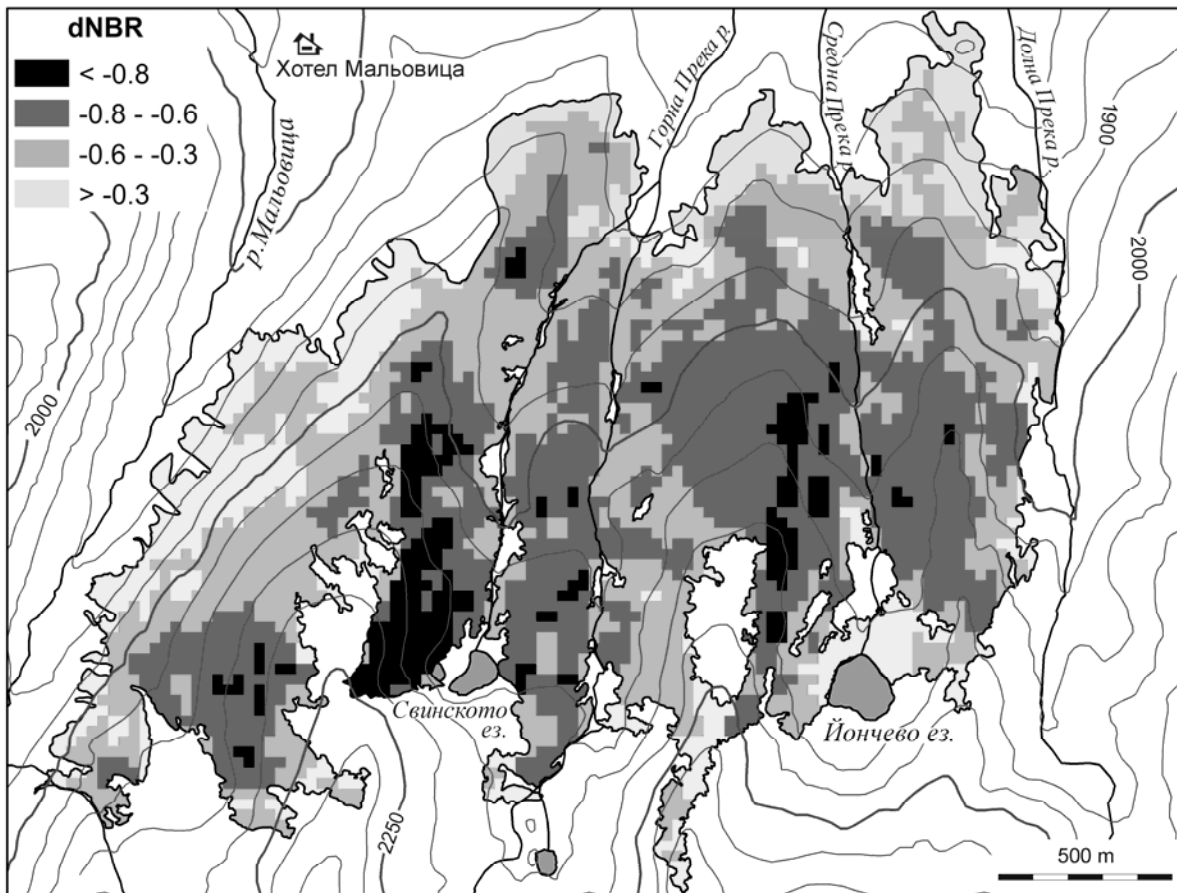
пожарището при х. Малъовица (Фиг.5). Както се вижда dNBR варира в по-широки граници и следователно ефекта от пожара може да се диференцира по-точно.

Картата на Фиг. 6 е изготвена на базата на dNBR за 2001 г., като стойностите на индекса са групирани в четири класа. Визуалната оценка не дава възможност да се оцени количествено нейната точност, но сравнението с изображение Quickbird, както и наблюденията и събрания снимков материал от теренната работа показват, че местата с особено силни поражения съвпадат с тези в които индекса има най-ниска стойност. Това е източният склон на рида Ръждавица близо до Свинското езеро и някои по-стръмни участъци на двата долинни склона на Средна Прека река. В тези места е налице пълно изгаряне на клеквата растителности и дори на чимовия хоризонт на почвата.

Районите, където е била засегната тревна растителност (при Йончевото езеро), както и тези, където има отделни петна от оцелели растения имат по-високи стойности на индекса. Това особено добре личи в северната периферия, където пожарът е обхванал горната граница на гората. Тук храстовият етаж е изгорял, но короните на дърветата са останали незасегнати. Наличието на вегетираща растителност води до по-високи стойности на dNBR в тази част.



Фиг. 5. Хистограми на dNDVI и dNBR (2001-1999 г.) за пожарището при х. Малъовица.



Фиг. 6. Карта на изменението на стойностите на NBR (2001 спрямо 1999 г.) за пожара при х. Малъовица. Скалата индикира районите с най-голямо намаление на индекса и съответно най-големи поражения в черно, а в по-светли тонове са по-слабо засегнатите райони. Външният контур на пожара е очертан по VHR изображение от Quick Bird.

След теренна верификация използваните условни класове могат да бъдат приведени към конкретни категории, например слаби, средни и силни поражения. Тези категории трябва

да са унифицирани и да се основават на количествени критерии, например процент на смъртността при растенията или дълбочина на промените в почвата.

Заклучение

Спектралните данни от Landsat и по-специално каналите в инфрачервения диапазон са един от основните източници на информация за картографиране и изучаване на засегнати от пожар територии. Те често допълват информацията получена от аероснимки или други сензори с висока пространствена разделителна способност, а там където такива липсват са единствената алтернатива. Предимство при използването на спектрални индекси е лесната, стандартизирана обработка на изображенията, при която се получава по-прецизна информация в сравнение с визуалното дешифриране или автоматичните класификации. Освен това резултатите от този анализ са сравними във времето и между различни географски райони.

Индексът NBR има предимство по отношение на динамичния обхват в сравнение с NDVI, което позволява разграничаване на различни степени на поражение. Практическото използване на този метод в бъдеще обаче изисква теренна верификация и изготвяне на единни критерии за степента на поражения при горски пожари.

Спектралните индекси от типа на NBR дават възможност количествено да се оценят, при това в пространствен аспект, промените в ландшафтните предизвикани от пожари. На тази основа могат да се изследват различни процеси и взаимовръзки, като например дали се наблюдава зависимост между степента на поражение от пожара и топографията, изложението на склона, условията на овлажнение, типа на растителността и т.н. Това би помогнало да се оцени влиянието на тези фактори върху интензивността и поведението на пожарите. Друга потенциална област на приложение е връзката между степента на нарушенията и разнообразието на видовете и тяхното възстановяване след пожара [14].

Благодарности

Представеният доклад е част от дейностите предвидени по Договор с МОН по ОП "РЧР" № BG051PO001/07/3.3-02/63/170608 с цел подпомагане на младите учени. Част от използваните Landsat изображения са осигурени със средства от договор с МОН НИК-03/2007 "Изграждане на научно-информационен комплекс за аерокосмически полигони на територията на Р България"

Литература:

1. Радков, И. 1961. Екологическа класификация на горите в Рила планина. С. Земиздат.
2. Русакова - Анастасова В. 1986. Карта на съвременната алпийска и субалпийска растителност в Рила. Фитология, т.31.
3. Бондев, И. 1991. Растителността на България. С. Унив. Изд. „Климент Охридски“
4. http://www.nspbnz.mvr.bg/Sprav_informacia/Statistika/default.htm
5. <http://www7.ncdc.noaa.gov/CDO/cdoselect.cmd?datasetabbv=GSOD&countryabbv=&georegionabbv=>
6. Vi ed m a, O., J. Meliá, D. Segarra, and J. Garcia-Haro. (1997). Modeling Rates of Ecosystem Recovery after Fires by Using Landsat TM Data. *Remote Sensing of Environment* 61:383-398
7. R ö d e r, A., J. Hill, B. Duguay, J. A. Alloza, R. Vallejo. (2008). Using long time series of Landsat data to monitor fire events and post-fire dynamics and identify driving factors. A case study in the Ayora region (eastern Spain). *Remote Sensing of Environment* 112 259–273
8. B A E R. (2003). Soil Burn Severity Definitions and Mapping Guidelines - Draft. Annette Parsons. April 22, 2003. Burned area emergency rehabilitation (BAER)
9. E p t i n g, 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
10. L e e, B., S. Y. Kim, J. Chung, P. S. Park. (2008). Estimation of fire severity by use of Landsat TM images and its relevance to vegetation and topography in the 2000 Samcheok forest fire. *J For Res* 13:197–204
11. M i l l e r, 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
12. B o e r, M. M., C. Macfarlane, J. Norris, R. J. Sadler, J. Wallace, P. F. Grierson. (2008). Mapping burned areas and burn severity patterns in SW Australian eucalypt forest using remotely-sensed changes in leaf area index. *Remote Sensing of Environment* 112 4358- 4369
13. K e y, C. H. and 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.
14. W i m b e r l y, 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