



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
ИНСТИТУТ ЗА КОСМИЧЕСКИ ИЗСЛЕДВАНИЯ И ТЕХНОЛОГИИ

София 1113, ул. "Акад. Г. Бончев", бл. 1; тел./ факс: +359 2 988 35 03.; e-mail: office@space.bas.bg, http://www.space.bas.bg

ДАНИЕЛА ЙОРДАНОВА АВETИСЯН

**ИЗПОЛЗВАНЕ НА ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ И
ГИС ПРИ ИЗСЛЕДВАНЕ НА РАЗВИТИЕТО И
ДИНАМИКАТА НА ДЕГРАДАЦИОННИ ПРОЦЕСИ,
ВОДЕЩИ КЪМ ОПУСТИНЯВАНЕ**

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

за присъждане на образователна и научна степен

„ДОКТОР“

Научна специалност

„Дистанционни изследвания на Земята и планетите“

Научен ръководител:

проф. д-р инж. Румен Недков

София, 2018

ВЪВЕДЕНИЕ

Опустиняването представлява глобален екологичен проблем. То е свързано с изменения на почвените характеристики, растителността и/или климата, които водят до устойчива загуба на екосистемни услуги, които стоят в основата на устойчивото развитие на обществото. Измененията в екологичните условия, до които води опустиняването се отличават с висока устойчивост във времето и необратимост на процесите в рамките на десетилетия, а понякога и на стотици години. Погледнато от тази гледна точка, опустиняването е „устойчиво намаляване на капацитета на екосистемите да предоставят услуги... през продължителен период от време“, който е „резултат от дълготрайна загуба на баланс в търсенето и предоставянето на екосистемни услуги в териториите, отличаващи се със сух климат“ (МЕА, 2005).

ГЛАВА I. СЪВРЕМЕННО СЪСТОЯНИЕ НА ПРОБЛЕМА, СВЪРЗАН С ИЗСЛЕДВАНЕТО НА ДЕГРАДАЦИОННИ ПРОЦЕСИ, ВОДЕЩИ КЪМ ОПУСТИНЯВАНЕ

1.1. Актуалност на проблема

Земите, отличаващи се със сух (ариден, семи-ариден и сух суб-хумиден) климат покриват около 41 % от територията на сушата на Земята, която се населява от около 35 % от световното население (МЕА, 2005). Поради комплексността на явлениято и сложността в дефинирането на стандартни методи за неговото изследване и оценяване, различните изследователи предоставят различни данни за разпространението на земите, засегнати от опустиняване и за неговия интензитет (Zika and Erb, 2009; МЕА, 2005; Verón et al, 2006; Lepers E et al, 2005). В научните среди обаче, съществува общ консенсус, че опустиняването и процесите, които водят към него протичат тревожно бързо и водят до изтощаване на почвените ресурси и разрушаване на структурата на ландшафтите в аридните и семи-аридни територии (Dregne and Chou, 1992; Reynolds and Stafford Smith, 2002). Дълготрайните последици от опустиняването се изразяват в изменение на климата, на биохимичния цикъл, териториалното разпределение и миграция на населението.

На територията на България се наблюдават деградационни процеси, протичащи в структурата на ландшафтите, провокирани както от човешката дейност, така и от климатичните промени. През последните години тези процеси са особено интензивни в югоизточната част на страната, където основният фактор, водещ до опустиняване е физическата загуба на почва в следствие на водната ерозия и свързаните с нея процеси на редуциране на съдържанието на влага в почвата и загубата на органично вещество. (Rousseva et al, 2003). Всички тези процеси, резултат на деградацията на почвата повишават риска от възникване на хидро-геоложки явления като наводнения и свлачища. Тези процеси водят до деградиране на цялата геосистема – ландшафтите (Adams, 1996). Ландшафтите се намират в динамично равновесие с външни за системата фактори, въздействащи върху процесите, протичащи в системата. Малки изменения в характера на климатичните елементи или типа на териториално управление, могат да повлияят върху съществуващото равновесие. Различните ландшафти реагират различно на такъв род изменения. Те могат да предизвикат деградационни процеси, които да се различават по интензивност в отделните ландшафти. Разликите в динамиката и интензитета на протичане на деградационните процеси, водещи до опустиняване, определят различията в степента на уязвимост към тях. Поради тази причина, при изследването на процесите на деградация, водещи към опустиняване, е от изключителна важност да бъде направен подробен анализ на

взаимовръзките, протичащи в ландшафтната структура. За извършването на такъв анализ е необходимо детайлно характеризиране на ландшафтните компоненти и определяне на тяхната гъвкавост по отношение на деградационните процеси.

Основна цел на дисертационния труд е идентифициране на деградационните процесите, водещи към опустиняване в югоизточната част на България чрез дистанционни методи. Като пилотен район, за който са проведени изследванията е избрана област Хасково.

За постигането на поставената цел, бяха приложени съвременни методи на дистанционните изследвания, включващи използването както на оптични, така и на радарни спътникови данни. Интерпретирането и анализирането на данните предостави важна информация за състоянието и динамиката на почвената и растителната компонента на ландшафтите в изследваната територия. Бяха изследвани критични за възникването на опустиняването процеси като деградация на растителността, степен на увеличаване на голините, ерозиралите почви, динамика на почвена влага. Използваните методи следват последните иновативни тенденции в прилагането на дистанционните изследвания.

В настоящето изследване, фокусът е насочен към полу-естествените ландшафти. По този начин **се цели** оценка на въздействието на климатичните изменения и процесите, които протичат в структурата на ландшафтите, обусловени от тези изменения и да се определи до каква степен може да се твърди, че наблюдаваните процеси водят към опустиняване.

За да бъде постигната тази цел, в изследването са използвани основни индикатори за оценка на процесът опустиняване. Направен е анализ на динамиката и развитието на основните деградационни процеси, водещи към опустиняване в област Хасково.

За постигането на поставената цел на изследването бяха изпълнени следните задачи:

1. Покомпонентна характеристика на територията, обект на изследване.
2. Оценка на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи в област Хасково.
3. Определяне на състоянието и динамиката на горската растителност в областта.
4. Определяне на степента и посоката на изменение на земната покривка в полу-естествените ландшафти на територията.
5. Проследяване динамиката на съдържанието на влага в почвата.

1.2. Фактори, обуславящи развитието на деградационни процеси, водещи към опустиняване

Процесът опустиняване е обвързан с бистабилната динамика на екосистемите и тяхното преминаване от едно стабилно състояние в друго или преминаване към алтернативно стабилно състояние. В контекста на теорията за опустиняването, тези стабилни състояния включват на първоначален етап състояние, при което не се отчита деградация и деградирано състояние в края на процеса опустиняване, при което екосистемите са трансформирани до степен на необратимост към първоначалното си състояние (D'Odorico et al, 2007; Okin et al, 2009). В процеса на трансформация, външни за екосистемата фактори като флуктуации в природната среда с различен генезис, могат да въздействат върху бистабилната динамика на екосистемите и да създадат система само с едно стабилно състояние. Стабилността на системата се определя от нейната гъвкавост или способността на системата да възстанови стабилната конфигурация след претърпяна пертурбация. В случай, че системата премине отвъд критичния праг на гъвкавост, то тя преминава към алтернативно стабилно състояние на деградирани земи или опустиняване (Walker and Salt, 2006). В този случай, за системата би било

изключително трудно да възстанови първоначалното си състояние и процесът на опустиняване се счита за необратим.

Факторите, оказващи въздействие при развитието на деградационни процеси, водещи към опустиняване се свързват с изменения на характеристиките на почвите и деградация на земите, обвързване на състоянието и динамиката на растителната покривка с климатичните изменения или смяна в композициите на растителните съобщества. (D'Odorico et al, 2013)

1.2.1. Деградация на земите

1.2.1.1. Промени в растителната покривка

Загубата на растителна покривка води до възникване на ерозионни процеси, които от своя страна водят до загуба на почвеното плодородие, обуславящо отново влошаване състоянието на растителността и намаляване на растителната покривка. Моделът е пример за обичайно проявление на процесите, свързани с деградация на земите. Този тип взаимодействие, показва влиянието на стабилизиращата роля на растителността като фактор, предпазващ почвите от възникване и развитие на ерозионни процеси. (Фиг.1)



Фиг. 1. Загуба на растителна покривка - индикатор за възникване на опустиняване по (D'Odorico et al, 2013)

1.2.1.2. Ерозия на почвата

Проблемът с деградацията на земите се среща най-често и се проявява в най-голяма степен в земите, използвани за нуждите на земеделието. В териториите, отличаващи се със сух климат, лошите земеделски практики, в съчетание с природните условия и интензификацията на засушаването са сред водещите фактори, предизвикващи формирането на ерозионни процеси и деградация на земите.

1.2.1.3. Намаляване на почвената влага

Загубата на влага в почвата води до изменение във функционалния биохимичен баланс на екосистемите. Често срещана практика в антропогенно усвоените територии е освобождаването на земи за земеделски цели за сметка на горските ресурси. В тези земи, съдържанието на влага в почвата е разпределено неравномерно. Мозаичността в разпределението на влага в почвата води до нарастване на уязвимостта на ландшафтите към деградационни процеси. Геосистемите, които са под въздействие на такива процеси се отличават с ниска устойчивост и висока уязвимост към възникване на

деградационни процеси, резки изменения и преминаване към състояние на „опустинялост“ (Ripley, 1976; Walker et al, 1981). Загубата на почвена влага и интензифицирането на процесите, водещи към опустиняване се засилва в територии, където се наблюдава намаляване на средното количество на валежите (D’Odorico et al, 2007).

1.2.1.4. Засоляване на почвите

Засоляването на почвите е един от факторите, които водят до деградация на земите. Около 831 милиона хектара от почвите в световен мащаб са засегнати от засоляване, като по-голямата част от тях се намират в аридните и семи-аридни климатични зони (Rozema and Flowers, 2008). Процесът на засоляване на почвите се изразява в натрупване на водо-разтворими соли (често NaCl) в горната част на почвения профил до нива, които оказват влияние върху продуктивността на екосистемите и земеделската продукция (Rengasamy, 2006).

1.2.2. Динамика на растителната покривка

1.2.2.1. Обезлесяване и загуба на растителна покривка

Въздействията на деградацията на растителната покривка върху енергийните потоци, протичащи близо до земната повърхност и водния баланс на територията оказват съществено влияние върху процесът на опустиняване. Измененията в земното покритие (обезлесяване и преобразуване на горски територии в обработваеми земи) могат да доведат до намаляване на валежите и по този начин да попречат на растителността да се възстанови (Fraedrich et al, 1999; Taylor and Lebel, 1998).

1.2.2.2. Смяна на растителните съобщества

Взаимодействията между физичните и биотични процеси, които протичат в резултат на изменение на естествената растителност, в съчетание с влиянието на широкомащабни процеси и явления като климатичните изменения, натрупването на азот или обогатяването на атмосферата с въглероден диоксид, могат да доведат до промяна на структурата и състава на растителните съобщества. (D’Odorico et al, 2012; Van Auken, 2000).). Обичайно този процес на смяна на растителните съобщества протича с навлизане на храстова растителност или нарастване на площите с оголени от растителност почви и интензифициране на ерозионните процеси. (Baez et al, 2006; Hueneke et al, 2002; Van Auken, 2000)

1.2.3. Климатични изменения

Изменения в глобалният или регионален характер на валежите може да бъде основен фактор, който да „отключи“ кръговрата на процесите, водещи към опустиняване. Редица изследвания проследяват съвременните процеси на засушаване и динамиката им в различни части на света (Sheffield et al, 2009). Използвайки глобален циркулационен модел (HadCM3) с цел прогнозиране на бъдещите изменения в характера на валежите, Burke et al. (2006) стигат до заключението, че до 50% от земната повърхност ще бъде обхваната от суша до края на 21-ви век. Територията на южна Европа, също е сред посочените като застрашени от изостряне на аридността (Burke et al, 2006; Seager et al, 2007).

Към климатичните особености, които допринасят за развитието на деградационните процеси на земните ресурси в България могат да се причислят сумата на валежите и интензивността на валежите. Валежна сума през топлото полугодие (април -

септември) под 300 mm е недостатъчна и затруднява земеделското производство. Интензивните дъждове от своя страна са предпоставка за задълбочаване на ерозионните процеси (Лазаров и др., 2002; Русева, 2006).

1.2.4. Антропогенен фактор

Лошото управление и стопанисване на територията и в частност прекомерната паша и прилагането на неподходящи земеделски практики са основните фактори, които водят до опустиняване в териториите, където уязвимите към деградационни процеси геосистеми не успяват да запазят своята стабилност. (IPCC, 2007)

1.3. Индикатори за оценка на риска от възникване на деградационни процеси, водещи до опустиняване

През последните години са предложени редица индикатори, които да служат при оценка на измененията в състоянието на бистабилната екосистемна динамика и определянето на праговете състояния, които насочват системата към състояние на „опустинялост. Процесът на опустиняване е относително бавен и може да продължи от десетилетия до векове. Мониторингът на толкова продължителни процеси е силно затруднен дори с методите на дистанционните изследвания тъй като те се провеждат сравнително от скоро. Поради тази причина са предложени индикатори, вътрешни за системата, които могат да бъдат използвани за предвиждане на моментът, в който системата достига до праг, при който се преминава към стабилното състояние на опустинялост. Тези индикатори се свързват с изменения във физичното състояние на почвения компонент, хидроложките условия или биологията на растенията. При процесът на опустиняване, заедно с типичните прояви на деградация на земите, обикновено се наблюдават предварителни изменения в геосистемите, които могат да бъдат използвани като индикатори за протичаща трансформация към опустиняване. Методологията включва идентифициране на екологично уязвими по отношение на опустиняването райони, върху които се провежда мултифакторен анализ (Kosmas et al., 1999).

Екологично уязвимите по отношение на опустиняването райони показват различна чувствителност към процесите, които водят към опустиняване, обусловена от различия в ландшафтообразуващите процеси и характера на екологичните функции и взаимовръзки, протичащи в ландшафтната структура на геосистемите. Ключовите фактори за оценка на устойчивостта на геосистемите и тяхната гъвкавост по отношение на деградационни процеси могат да се поделят на четири основни групи, включващи почвите, климата, растителността и типа земеползване. Тези фактори са приети за стресови индикатори.

1.3.1. Почвени индикатори

Почвата е доминиращ фактор в сухоземните екосистеми, развиващи се в семи-аридните и сухите суб-хумидни зони. Тази доминираща роля се определя от влиянието, което оказват почвите върху процесите, осигуряващи производството на биомаса. Индикаторите, характеризиращи качеството на почвата при идентифициране на територии, уязвими към опустиняване, могат да се отнасят към капацитета им да осигуряват влага за растенията и устойчивостта им към ерозия. При тяхното изучаване се взимат под внимание свойства на почвата като: мощност на почвения хоризонт, текстура на почвата, условия на дрениране, почвообразуваща скала, наклон на склона върху който са развити почвите, каменливост и т.н. За идентифициране на територии, уязвими към опустиняване е необходимо всяко от посочените свойства да бъде оценено

отделно, като за целта се диференцират различни класове. Дефинирането на тези класове изисква задълбочено познаване на взаимовръзките между: дълбочината на почвеният хоризонт и растителната покривка при различни климатични, литоложки и топографски условия; почвообразуваща скала и осигуреност на растенията с почвена влага; капацитета на почвата да задържа почвена влага и текстура на почвата.

1.3.2. Климатични индикатори

Неравномерното годишно и сезонно разпределение на валежите, възникването на екстремни метеорологични ситуации и изместването на климатичните и растителни сезони в семи-аридните и аридни зони на Средиземноморието са основните характеристики на климата, които допринасят за деградацията на земите. Геосистемите в семи-аридните и аридни зони са нестабилни и процесите на опустиняване се отключват дори при преминаване през прагово състояние само за един от компонентите в системата.

Очаква се, че глобалните климатични изменения могат да доведат до разрастване на съвременните географски граници на Средиземноморската област. В близките години, характерните за вегетационния период климатични условия на едногодишните култури могат да се изменят до степен, за която се предполага, че ще повлияе върху тяхното развитие и ще доведат до засилване на повърхностния отток и ерозия на почвите. Всяка загуба на почва в тези, намиращи се на границата на праговото състояние земи, значително намалява производството на биомаса, което води до опустиняване. Понастоящем, опустиняването заплашва само плитките и силно ерозирани почви. Глобалното изменение на климата може да постави в риск по-голямата част от почвите в района на Средиземноморието (Kosmas et al., 1999).

1.3.3. Индикатори, свързани с растителността

Когато се анализират процесите на опустиняване, доминиращата биотична компонента, която се изследва е растителността. Растителната покривка е особено важна за формирането на оттока и преразпределението на попадналата върху земната повърхност вода. В територии с годишна сума на валежите под 300 mm и високи стойности на евапотранспирацията, влагосъдържанието в почвата, достъпно за растенията намалява драстично, растителната покривка се редуцира и почвата остава без растителност, което обуславя развитието на ерозия.

Ключови индикатори за оценка на опустиняването и свързани с растителността са: риск от възникване на пожари и способност за възстановяване; защита от ерозия; устойчивост на засушаване; разпределение на растителната покривка в дадена територия.

1.3.4. Индикатори, свързани със земеползването

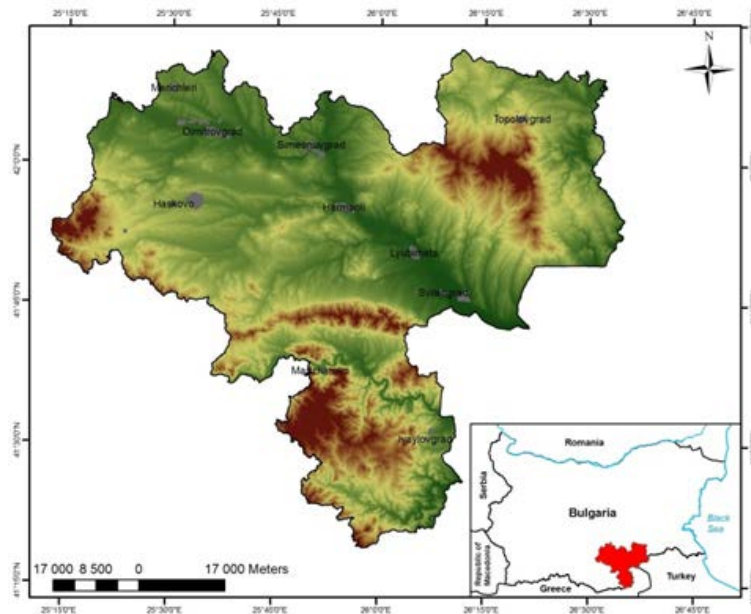
Всяка територия, независимо от нейната площ се характеризира с определен тип земеползване и условия на стопанисване на територията, които се определят и изменят в зависимост от екологичните, социалните, икономически и политически фактори. В зависимост от типа на стопанисване на земите, те биват подлагани на различно натоварване, което може да доведе геосистемата до прагово състояние и опустиняване.

ГЛАВА II. ОБЕКТ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

2. Физико-географска характеристика на изследваната територия

2.1. Географско положение и граници

Област Хасково е разположена в югоизточната част на България и заема 5% от територията на страната с площ 5 543 km². В областта попадат югозападната част на Сакар планина, част от Източните Родопи и част от Тракийската низина. (Фиг.2)



Фиг. 2. Местоположение на област Хасково

2.2. Геоложки особености

В геолого-тектонско отношение, по-голямата част от област Хасково е привързана към структурите на Източнородопския блок и Сакаро-Странджанската тектонска зона, които контактуват чрез Маришкия разлом, Източнородопския антиклинорий и Сакарската антиклинала.

Литоложкото разнообразие е представено от допалеозойски и палеозойски метаморфити и филитоиди, палеогенски вулканогенно-седиментни скали (риолити, андезититуфи, туфити, туфо-брекчи и др.). Сакарската антиклинала е запълнена от гнайси, амфиболити, гнайсо-шисти, метаморфозирани гранитоиди и др., припокрити от карбонатни седименти. Неоген-кватернерните материали са представени от чакъли, пясъци, глини, въглищни прослойки, слабо споени пясъчници и ядчести варовици. Рудните полезни изкопаеми са свързани с оловно-цинкови, медно-железни, медно-цинкови, медно-полиметални и редкометални орудявания, а нерудните - с трас, перлит, бентонит, зеолит и др. Малка част от района попада в Горнотракийската депресия, за която е характерно наличието на конгломерати, пясъчници, андезити, туфи, варовици, глинестомергелни лиски, пясъци, глини, чакъли и др. (Нам, 2003)

2.3. Релеф

В района на изследване преобладават хълмисто-ридовия и нископланинския релеф, разделен от различно конфигурирани речни долини, долинни разширения и проломи. Хоризонталното разчленение на релефа варира от 1,5 до 3,5 km/km², а вертикалното разчленение е между 50 и 200 m/km². Около 62% от територията на област Хасково е заета от земи с наклон над 3°. Земите с наклон 3-9 ° са 49% от територията на областта, тези с наклон над 9° заемат 2% от площта на областта (Русева и др., 2010). През планационните етапи, в района са се формирали три денудационни нива. В резултат на екзогенезата са се образували речно-долинни, вулканогенни и карстови форми на релефа. (Нам, 2003)

2.4. Климат

Област Хасково попада в Континентално-средиземноморската климатична област, отличаваща се с горещото лято и меката зима, два максимума на валежите, изразително лятно-есенно засушаване, епизодична и нетрайна снежна покривка. (Топлийски, 2006). Средногодишните температурни стойности са между 12°C и 13°C. Средногодишната температура на въздуха в най-топлия месец Юли варира между 22.8°C и 23.7°C. Средногодишната температура на въздуха в най-студения месец Януари е между 0.5°C и 1.5°C. Средногодишната сума на валежите е около 650 – 700 mm (Топлийски, 2006). Средиземноморското влияние въздейства върху количествата и годишното разпределение на валежите, които са концентрирани главно през есенно-зимния период и пролетта и са силно ограничени през лятото. В значителна част, валежните обстановки са с интензивен и пороен характер, което причинява наводнения и интензифициране на ерозионните процеси, особено в хълмистите и ниско-планински територии (Велев, 1974). Близко 14% от интензивните дъждове са ерозионни. Около 12 % от територията на областта, разположени предимно в Източните Родопи, се характеризира с 4-ти клас ерозионност на дъждовете - индекс на ерозионност на дъждовете (USLE-EI₃₀) е в границите на 601-800 MJ mm/ha h, а 82% от територията се отличава със слаба ерозионност на дъждовете – 3-ти клас (401-600 MJ mm/ha h). (Русева и др., 2010).

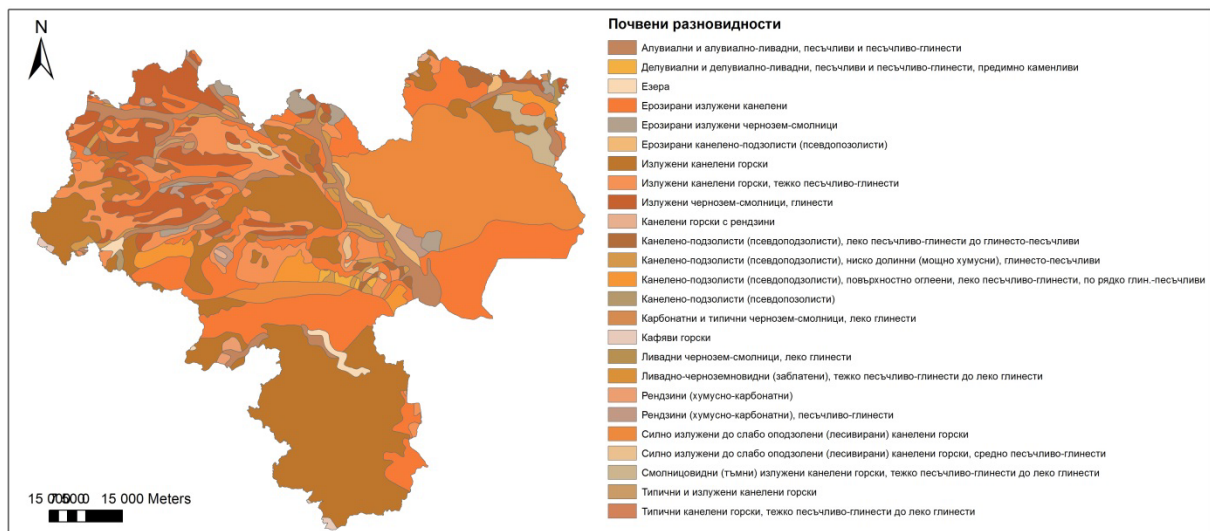
През следващите десетилетия се очаква затопляне и редуциране на годишните валежни количества. Предвижда се зимните валежи в България да се увеличат до края на сегашното столетие, но валежите през топлото полугодие и най-вече през лятото се очаква да намалеят значително. (Александров, 2005)

2.5. Води

Най-големите реки в областта са Марица, Арда и Съзлийка. Повърхностния отток е основно с дъждовно и снежно подхранване. Годишното разпределение на валежите предопределя наличието на две ясно изразени фази на речния отток – фаза на пълноводие през Април и фаза на маловодие през Септември. Обичайно явление е пресъхването на по-малките реки. Типичен пример е р. Бяла, която във фаза на пълноводие може да генерира 60,1 m³/s, а във фаза на маловодие количеството на речния отток е едва 1,2 m³/s. Този характер на оттока е типичен за реките от Средиземноморието (Нам, 2003; Йорданова, 1972).

2.6. Почви

Територията на област Хасково попада в Родопско-Странджанската провинция на Южнобългарската ксеротермална почвена зона (Койнов и др., 1974). Почвеното разнообразие на областта е представено на фиг. 3.



Фиг. 3. Карта на почвите разновидности на територия на обл. Хасково

По отношение на податливостта на почвите към ерозиране е установено, че 80% от територията на областта е покрита с почви със средна и средна до силна податливост към ерозиране; 6% - от почви със силна податливост към ерозиране и 10% - от почви с много слаба и слаба податливост към ерозиране. (Русева и др., 2010). Почвите със силна податливост към ерозиране са концентрирани в подножните части на Източните Родопи и Сакар, на прехода с Горно-тракийската низина.

2.7. Биогеографска характеристика

На територията на област Хасково се диференцират три биогеографски района: Горнотракийски биогеографски район, Източнородопски биогеографски район и Сакаро-Дервентски биогеографски район. (Асенов, 2006)

Малката част от **Горнотракийският биогеографски район**, която попада в територията на изследване е почти изцяло усвоена за целите на земеделието. Само на отделни места и край реките е запазена горска растителност. (Асенов, 2006)

Дървестната растителност в **Източнородопския биогеографски район** е запазена предимно по склоновете на източнородопските ридове, а речните тераси и вътрешно-планинските котловини са заети от обработваеми земи с преобладаващо отглеждане на тютюн. На много места дъбовите гори са издънкови, силно заклеявели, превърнати в „шибляци“ или „псевдомаквиси“. (Асенов, 2006)

Растителните съобщества в **Сакаро-Дервентският биогеографски район** представляват част от най-южния вариант на ксеротермния дъбов пояс, отличаващ се с много субсредиземноморски и средиземноморски видове. (Асенов, 2006)

ГЛАВА III. МЕТОДИКА ЗА ИЗСЛЕДВАНЕ НА ПРОЦЕСИТЕ, ВОДЕЩИ КЪМ ОПУСТИНЯВАНЕ ЧРЕЗ ДИСТАНЦИОННИ МЕТОДИ И ГИС

В своята същност, дистанционните изследвания представляват наблюдение и измерване на енергетичните характеристики на собственото и отразеното излъчване на сушата, океана и атмосферата на Земята в различни области на електромагнитния спектър (Мардиросян, 2003; Мардиросян, 2012). Аерокосмическите дистанционни методи са високотехнологичен инструмент за надежден и мащабен мониторинг на процеси от различен характер, протичащи на Земята, в това число и на процеси на деградация на екосистемите и опустиняване. Проследяването на промените в 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 проследяване на динамиката на изменение на земното покритие, деградацията на почвените и растителни ресурси, развитието на процеси, водещи към опустиняване.

3.1. Диференциране на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи

За диференцирането на територии с различна уязвимост към опустиняване отчасти е използвана методология, приложена от Kosmas et al., (1999) за оценка на опустиняването в средиземноморския регион. Анализирани и оценени са съществени по отношение на опустиняването компоненти на природната среда – почви, климат, растителност и антропогенно натоварване. Оценката на компонентите е фокусирана върху ключови характеристики на изброените компоненти. В резултат на анализа, на компонентите са присвоени теглови коефициенти, показващи значимостта на изследваните характеристики/елементи по отношение на деградационни процеси, водещи към опустиняване. Тегловите коефициенти са използвани за изчисляването на индекси, определящи уязвимостта на компонентите като съвкупност от елементи с различни качествени характеристики. (Avetisyan et al, 2017)

3.1.1. Качества на почвата

Почвените разновидности са оценени въз основа на качествените характеристики на тяхната текстура, почвообразуваща скала, наличие на скални фрагменти, мощност на почвения профил, условия за дрениране и наклон на склона, върху който са формирани съответните почви. Изброените характеристики на почвата са от съществено значение за осигуряването на достъпна за растенията вода и за устойчивостта на почвата към развитие на почвена ерозия. Включването на тези характеристики при определянето на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи изисква дефинирането на отделни класове, които да отразяват степента на устойчивост на почвите към опустиняване.

На базата на определените теглови коефициенти (Таблица 1) е изчислен индекс (SQI), показващ уязвимостта на отделните почвени разновидности по отношение на деградационни процеси, водещи към опустиняване.

Таблица 1. Почвени разновидности на територията на обл. Хасково съгласно съвместяването на българската почвена класификация към световната референтна база (Теохаров, 2004) (по методика на Kosmas et al., (1999))

Почвени разновидности	Теглови коефициент на почвите в съответствие с качествените характеристики				
	TC	PM	RF	SD	D
Dystric + Eutric Fluvisols (FLdy /FLeu) sandy and loamy	1	1.7	1.3	1	1
Dystric skeletal + Eutric skeletal Fluvisols (FLdy /FLeu) sandy and loamy, stony	1.2	1.7	1.3	1	1
Eutric Regosols (RGeu)	1	1.7	1.3	2	1.2
Eutric – aric Regosols (RGeu-ai)	1.2	1.7	1.3	2	2
Gleyic or Dystric Regosols (RGgl of RGDy)	1.2	1.7	1.3	2	1.2
Chromic Luvisols (LVch)	1.2	1.7	1.3	1	1.2
Chromic Luvisols (LVch)	1.6	1.7	1.3	1	1.2
Haplic (Pellic) Vertisols (VRha(pe), cleyey)	1.6	1.7	1.3	1	2
Rendzic Leptosols, loamy	1	1.7	2	3	2
Eutric or Dystric Planosols (PLEu or PLdy) slightly loamy to sandy loamy	1	1.7	2	2	1.2
Eutric Planosols (PLEu), low land soils (thick humus), sandy loamy	1.6	1.7	2	1	1.2
Eutric or Dystric Planosols (PLEu or PLdy) surface gleyed, slightly loamy, more seldom clay sandy	1.2	1.7	2	2	1.2
Leptic-gleyic Luvisols (LVle-gl)	1.6	1	2	1	2
Calcic Vertisols (VRcc) slightly clayey	1.6	2	2	1	1.2
Leptic Cambisols (CMle)	1	1	1.3	2	1
Gleyic Vertisols (VGgl) slightly clayey	1.6	1.7	2	1	1.2
Gleyic Vertisols (VGgl) slightly clayey	1.6	1	2	1	1.2
Rendzic Leptosol (LPr)	1.2	2	2	3	1.2
Rendzic Leptosols (LPr) loamy	1.2	2	2	3	1.2
Albic Luvic (LVab) slightly loamy	1.2	1.7	2	2	1.2
Vertic-haplic Luvisols (LVvr-ha) moderately loamy	1.2	1.7	2	2	1.2
Vertic-haplic Luvisols (LVvr-ha) heavy loamy to slightly clayey	1.6	1.7	2	1	2
Leptic-chromic Cambisols + Chromic Luvisols + Leptic-chromic Luvisols (CMle-cr + LVcr + LVle-cr)	1.2	1.7	2	1	1.2
Leptic-chromic Cambisols + Chromic Luvisols + Leptic-chromic Luvisols (CMle-cr + LVcr + LVle-cr) heavy loamy to slightly clayey	1.6	1.7	2	1	1.2

TC – Клас по механичен състав

PM – Почвообразуваща скала

RF – Съдържание на скални фрагменти

SD – Мощност на почвения профил

D – Условия за дрениране

Наклона на склона (S) се разделя на следните класове: под 6 %, 6-18 %, 18-35 %, над 35% и получава теглови коефициент от 1 до 2.

За изчисляването на индекса е използвано следното уравнение:

$$SQI = (TC * PM * RF * SD * D * S) / 6 \quad (1)$$

3.1.2. Оценка на климата

По отношение на климата, анализът е фокусиран върху важни климатични елементи като валежи, температура на въздуха и евапотранспирация. Въз основа на изброените елементи са изчислени два биоклиматични индекса, отчитащи взаимовръзките, които съществуват между температурата на въздуха, валежите и евапотранспирацията и въздействието, което проявлението на тези взаимовръзки оказва върху биологичния компонент: индекс на засушаване (AI), предложен от FAO-UNESCO (1977) и индекс Bagnouls-Gaussen (BGI).

Индексът на засушаване на FAO-UNESCO може да бъде представен чрез следната формула:

$$AI = P/ET_0, \quad (2)$$

където P е сумата на валежите, а ET_0 е потенциалната евапотранспирация.

В резултат на прилагането на този индекс могат да се диференцират аридни, семи-аридни и сухи суб-хумидни зони.

Индексът на засушаване на Bagnouls-Gaussen (BGI) се представя по следния начин:

$$BGI = \sum_{i=1}^n (2t_i - P_i) k_i \quad (3)$$

където: t_i е средната температура на въздуха за месец i в $^{\circ}\text{C}$, P_i е сумата на валежите за месец i в mm; а k_i е представлява честотата на проявление на условия при които $2t_i - P_i > 0$ за съответния месец в даден период от време.

В резултат на изчисляването на BGI, територията се диференцира на зони, определящи степента на засушаване.

За изчисляването на двата индекса са използвани климатични данни за период от 25 години (от 1989 г. до 2013 г.). При анализа на климата като фактор по отношение на опустиняването, фокусът е насочен към месеците, обхващащи вегетационния период на растенията през анализираният период тъй като тогава се наблюдава силно изразено засушаване (Avetisyan et al, 2015).

В резултат на изчислението на AI, изследваната територия е разделена на две части. В първата част попадат земите, които се отличават със семи-ариден климат, а във втората – тези със сух суб-хумиден климат. Въз основа на това разделение са определени тегловите коефициенти по този параметър.

Прилагането на класификацията на BGI за целия вегетационен период за територията на обл. Хасково не е подходящо, тъй като въз основа на получените средни стойности, територията не може да се диференцира на отделни класове. Това се дължи главно на сходния характер на климата в изследваната територия през цялото лято и дори през септември, когато цялата площ попада в един и същ клас – изключително силно засушаване. Поради тази причина, бе направен по-детайлен анализ като при него бяха взети под внимание тези месеци от вегетационния период, за които се наблюдават по-отчетливи различия в стойностите на BGI. Това са месеците от преходните сезони – април, май и октомври. На тази база територията е разделена на различни зони – с много слабо засушаване, със слабо засушаване, с умерено засушаване и със силно засушаване. На всяка една от посочените зони е присвоен съответстващ теглови коефициент.

За изчислението на индекса, показващ уязвимостта на територията по отношение на климата (CQI) е отчетено също така и въздействието на изложението върху процесите, водещи към опустиняване. (Таблица 2)

Таблица 2. Класове и теглови коефициенти за оценка на климата

Качествени индикатори на климата	
Класове	Теглови коефициенти
Индексът на засушаване на Bagnouls-Gausсен (BGI)	
<50	1
50 - 75	1,1
75 - 100	1,2
100 - 125	1,4
125 - 150	1,8
>150	2
Индекса на засушаване (AI)	
0.50 – 0.65 (Сух суб-хумиден)	1.2
0.20 – 0.50 (Семи-ариден)	1.4
Изложение	
N северно	1
NE североизточно	1.2
NW северозападно	1.2
E източно	1.6
W западно	1.6
SE югоизточно	1.8
SW югозападно	1.8
S южно	2

За изчисление на индекса (CQI), показващ уязвимостта на територията по отношение на климата е използвано следното уравнение:

$$CQI = (BGI * AI * Изложение) / 3, \quad (4)$$

3.1.3. Оценка на растителността

За целите на настоящето изследване, растителността е оценена по отношение на: риска от възникване на пожари и нейната способност за възстановяване след пожари; защитните функции на растителността за превенция развитието на почвена ерозия и устойчивостта ѝ към засушаване. Тези функции на растителността са от изключителна важност за оценката на риска от възникване и развитие на деградационни процеси, водещи към опустиняване тъй като, от една страна, пожарите, почвената ерозия и засушаването са сред общоприетите фактори, обуславящи развитието на опустиняване, а от друга служат като индикатори за наличие на опустиняване. (Таблица 3)

Таблица 3. Класове и теглови коефициенти за оценка на растителността

Тип растителност	Теглови коефициент		
	FR	EP	DR
Широколистни гори	1.4	1.6	1.2
Сложни култивирани насаждения	1.2	1.8	1.6
Иглолистни гори	2	1.3	1.2
Овощни насаждения (вкл.малини, къпини и др.)	1.2	1.8	1.4
Зелени градски площи	1.4	1	1.2
Селскостопански площи със значително участие на естествена растителност	1.2	1.8	1.4
Смесени гори	1.6	1.3	1.2
Естествени ливади	1.2	1.3	1.3
Обработваеми площи без напоителни системи	1.2	2	2
Пасища	1.2	1.3	1.7
Храсталаци на прехода на гората	1.4	1.6	1.2
Лозя	1.2	1.8	1.4

FR – Риск от възникване на пожари

EP – Почвено-ерозионни защитни функции

DR – Устойчивост на засушаване

За изчисление на индекс (VQI), оценяващ уязвимостта на територията по отношение на растителността е използвано следното уравнение:

$$VQI = (FR * EP * DR) 1/3 \quad (5)$$

3.1.4. Оценка на антропогенно натоварване и земеползването

С цел да бъде оценена територията по отношение качеството на практиките за земеползването са диференцирани земи, отличаващи се с различна степен на антропогенно натоварване. Отделените класове антропогенно натоварване съдържат различни типове земеползване и практики за стопанисване. В зависимост от съответния клас антропогенно натоварване, на всеки един от типовете е зададен теглови коефициент (Таблица 4).

Таблица 4. Класове и теглови коефициенти за оценка на антропогенното натоварване

Антропогенно натоварване	Теглови коефициенти
<i>Коренно изменени територии</i>	
Аерогари	2
Неразвиващи се урбанизирани структури	2
Сметища	2
Индустриални и търговски единици	2
Мини (кариери) за добив на минерали	2
Пътни и железопътни мрежи	2
<i>Силно антропогенизирани територии</i>	
Сложни култивирани насаждения	1.8
Овощни насаждения (вкл. малини, къпини и др.)	1.8
Обработваеми площи без напоителни системи	1.8
Спортни и рекреационни площи	1.8
Лозя	1.8
<i>Средно антропогенизирани територии</i>	
Иглолистни гори	1.6
Зелени градски площи	1.6
Селскостопански площи със значително участие на естествена растителност	1.4
Смесени гори	1.4
Естествени ливади	1.4
Пасища	1.4
Храсталаци на прехода на гората	1.4
<i>Слабо антропогенизирани територии</i>	
Широколистни гори	1.2
<i>Условно естествени територии</i>	
Защитени територии	1

3.2. Състояние и динамика на горската растителност в област Хасково

Оценката на състоянието и динамиката на горската растителност цели извеждането на закономерности в проявлението на деградационните процеси, свързани със загубата на растителна покривка. Установяването на такива закономерности ще предложи по-

ясна перспектива и прогнозиране на бъдещи изменения в структурата на геосистемите, развитието на деградационни процеси и възникване на опустиняване.

Оценката на динамиката на горската растителност е обвързана с динамиката в проявлението на определящи за функционирането на екосистемите климатични елементи в периода от 1987 до 2013 г. Изследвано е въздействието на наблюдаваното през периода вариране в проявлението на климатичните елементи върху състоянието и динамиката на горската растителност. Отчетено е въздействието на определени геоэффективни компоненти на слънчевата активност, предвид възможността за обвързаност между характера на тяхното проявление и динамика със динамиката в състоянието и деградацията на растителната покривка, засушаването на изследваната територия и процесите, които водят до опустиняване. (Avetisyan et al, 2015)

За извършване на оценката са използвани методите на дистанционните изследвания и техниките на Географските информационни системи (ГИС). Методите на дистанционните изследвания включват прилагането на утвърдени при изследване на процесите, свързани с деградация на растителността вегетационни индекси като Нормиран разликов вегетационен индекс NDVI, Нормиран разликов воден индекс NDWI и Индекс за състоянието на растителността VCI.

NDVI е индекс, стойностите на който са тясно свързани с процеса на фотосинтеза. Поради тази причина той може да бъде използван за оценка на състоянието и динамиката на горска растителност. Формулата за изчисление на NDVI е следната (Sellers, 1987; Sellers, 1992):

$$NDVI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{RED}}{\rho_{NIR} + \rho_{RED}}, \quad (6)$$

където ρ_{NIR} и ρ_{RED} показват стойностите на отражение от растителността в близкия инфрачервен и респективно в червения канал.

Ключово за оценката на състоянието на горска растителност в семи-аридните територии е определянето на въздействието на засушаването върху горските екосистеми. VCI е индекс, който позволява изучаването на засушаването не само в територии с ясно изразено, продължително и широко разпространено засушаване, но също и в територии, които се характеризират с тясно локализирани, краткотрайни и не толкова характерно изявиени процеси на засушаване. VCI може да бъде изразен като (Kogan, 1995):

$$VCI = \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}}, \quad (7)$$

където NDVI представя стойностите на индекса, изчислени към момента от интерес за изследването, а $NDVI_{min}$ и $NDVI_{max}$ са съответно максималната и минимална стойност на индекса, изчислени за целия период на изследването (1987 г. – 2013 г.).

Ограниченото съдържание на влага в растителността е един от основните показатели за протичане на процесът засушаване. NDWI индексът се използва за определяне на относителното съдържание на водата в течно състояние, съдържаща се в растенията. Този индекс може да бъде изразен като (Dillon et al., 2011):

$$NDWI = \frac{\rho_{NIR} - \rho_{SWIR}}{\rho_{NIR} + \rho_{SWIR}}, \quad (8)$$

където ρ_{NIR} , ρ_{SWIR} представляват спектралното отражение на растителността, измерено в близкия инфрачервен и късовълновия инфрачервен диапазон от електромагнитния спектър.

Комбинираното прилагане на посочените вегетационни индекси и данни за климата позволява извършването на оценка на въздействието на климатичните изменения върху състоянието и динамиката на горската растителност.

3.2.1. Приложение на сателитни/ аеро-фото изображения и наземни данни за оценка на състоянието и динамика на горската растителност

За целите на оценката са използвани два типа входни данни: сателитни/ аеро-фото изображения и наземни данни. Сателитните данни включват растерни изображения от Landsat TM (Thematic Mapper), ETM+(Enhanced Thematic Mapper Plus), OLI (Operational Land Imager), заснети през вегетационния период на 1987, 2000, 2007 и 2013 и изображения от Modis, заснети през вегетационния период от 2011 до 2014, когато се наблюдава повишена слънчева активност. С цел по-прецизна интерпретация и верификация на сателитните изображения е използвано аеро-фото изображение от Юни 2011. За проследяване на пространствените взаимовръзки са използвани векторни данни, наземни данни и данни получени чрез прилагането на наземно-дистанционни методи. Изброените данни включват векторен слой Corine Land Cover (CLC 2006) и карти на растителната покривка на България (Бондев, 1991).

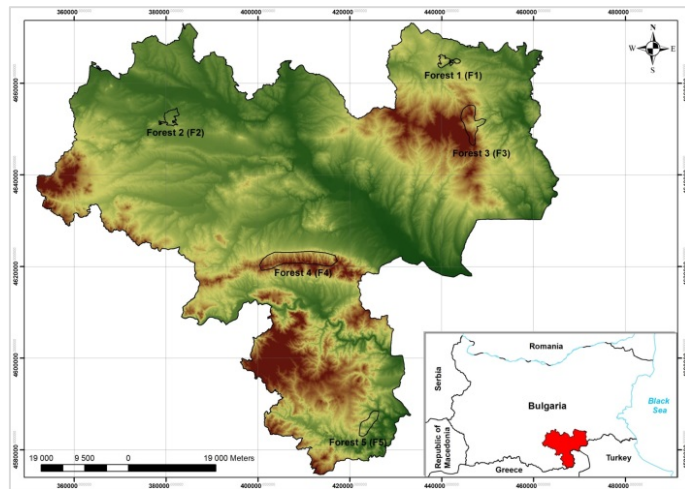
Използваните в изследването климатични данни се отнасят за периода от 1985 до 2013 [38].

Изследваните явления, свързани със слънчевата активност (СА) включват Х-слънчеви изригвания, параметри на слънчевия вятър.

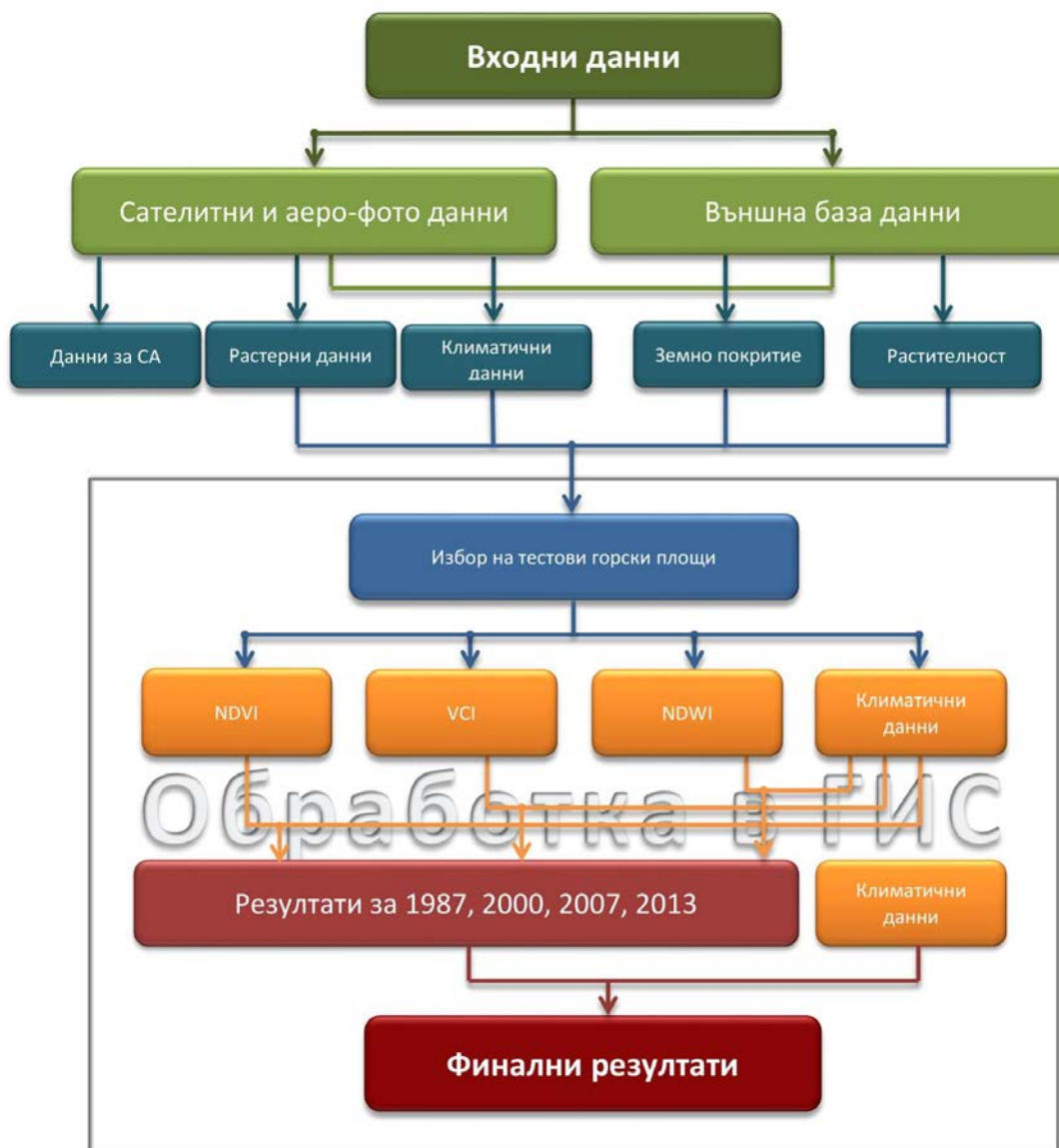
През последните десетилетия се наблюдава взаимовръзка между квази дву-годишната осцилация (QBO) и вариациите на СА по време на слънчевите цикли, чиято енергия влияе на слънчевото греене и йонизацията на аерозолите. Това причинява вариации в разпределението на ветровете (QBO) и образуването на облаци.

За да бъде оценено състоянието и динамиката на растителната покривка е предложена методология, която включва изпълнението на няколко стъпки, представени на Фиг. 5.

Първата стъпка включва композиране на сателитните изображения с използване на видимия червен, близкия инфрачервен и късовълновия инфрачервен диапазон на електромагнитния спектър. Композитните изображения са използвани при решаването на две основни задачи. От една страна, с помощта на композитните изображения са избрани тестови участъци, върху които да се извършат по-прецизни изследвания (Фиг.4). Изборът се основава на прилагането на “training samples”- метод, валидиран с използването на векторния слой, показващ земното покритие (CLC) и орто-фото данни (Milanova and Mateeva, 2014, Миланова и др., 2014). От друга, композитните изображения са използвани за изчисляването на вегетационните индекси.



Фиг. 4. Местоположение на горските тестови участъци (F1- Forest 1; F2 – Forest 2; F3 – Forest 3; F4 – Forest 4; F5 – Forest 5)



Фиг. 5. Модел на използваната в изследването методика

Следващата стъпка се състои в подбор на климатични елементи, които да бъдат използвани за целите на изследването. Като определящи за функционирането на горските екосистеми са определени средната температура на въздуха, сумата на валежите и сумата на евапотранспирацията. Както вече бе споменато, районът се отличава с ясно изразено засушаване. Растителността се отличава с висока степен на уязвимост към засушаване през вегетационния период. Поради тази причина, оценката на климатичните условия и тяхното въздействие върху горската растителност по време на този период е от особена важност. Тъй като вегетационният период се характеризира с различна продължителност през отделните години, в изследването са отчетени средната температура на въздуха, сумата на валежите и сумата на евапотранспирацията за периода със средна денонощна температура над 5°C. При оценката на взаимовръзките между стойностите на вегетационните индекси и въздействието на проявлението на изследваните климатични елементи е взет под внимание периода между първото десетдневие със средна денонощна температура над 5°C и десетневието, през което е заснето съответното сателитно изображение.

Финалната стъпка от предложената методология включва проследяването на проявлението на изследваните климатични елементи за периода от 1985 до 2013 и отчитането на техните вариации през този период. За по-детайлно проучване са избрани четири години: 1987, 2000, 2007 и 2013. Изброените години служат за репери, представящи моментното състояние на горската растителност в разглеждания период. При изследването на продължителен период, целта е не само да се определи въздействието на климатичните условия в съответната година, служеща за репер, но също така и това на предходните години, с което да се отчете общата тенденция за целия период на изследване. След определяне на флуктуациите в проявлението на климатичните елементи в определения период за изследване, беше анализирана взаимовръзката в динамиката в състоянието на растителността със слънчевата активност. Анализът включва данни за СА и QVO (Фиг. 14, 15a, 15b, 17, 18) [36, 37, 39, 40, 41]

3.3. Определяне на степента и посоката на изменение на земното покритие в полу-естествени ландшафти

Данните от дистанционните изследвания (ДИ) са широко използвани при определяне на измененията в земното покритие. За определянето на степента и посоката на изменение на земното покритие в полу-естествени ландшафти на територията на област Хасково са приложени трансформацията Tasseled Cap Transform (ТСТ: Kauth – Thomas Transform) и модифициран вариант на анализ на вектора на изменението Change Vector Analysis (mCVA), като са използвани данни от Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM (Avetisyan and Nedkov, 2015).

Земното покритие на обл. Хасково включва земеделски земи, антропогенни територии, гори и полу-естествени територии, водни тела и влажни зони. Полу-естествените територии са подложени на изменения, в основата на които стоят естествени природни процеси. Тези изменения водят до трансформиране на процесите, които протичат в съществуващите геосистеми и модифициране на ландшафтите. Основният природен фактор, водещ до изменения на ландшафтите е засушаването. Може да се каже, че в изследваната територия, засушаването е основен фактор водещ до деградация на горската растителност, трансформация на хоризонталната ландшафтна структура и следователно до изменения в земната покривка.

Прилагането на прецизни и ефективни техники на ДИ позволява проследяването на тези изменения, както и определянето на факторите, които водят до тях. Предимствата

в използването на сателитни изображения се състои в това, че могат да бъдат използвани данни с необходимата времева, пространствена и спектрална разделителна способност, подходящи за компютърно обработване и моделиране. През последните десетилетия, тези предимства превърнаха ДИ в основен метод при определяне на измененията в земната повърхност.

Една от ключовите характеристики на ДИ е неоспоримата възможност за обработка и анализ на мултиспектрални данни. Отделните канали, представени в мултиспектралното изображение могат да бъдат визуализирани като дефинирано N-мерно пространство, в което N е номера на каналите. Всеки пиксел, позициониран в зависимост от неговата DN стойност във всеки канал е разположен в това N-мерно пространство. Спектралната яркост на пикселите се определя от спектралните отражателни характеристики на обекта на изследване. Change Vector Analysis (CVA) е много прецизен метод за оценка на изменението на земното покритие. Базираните на ДИ проучвания позволяват идентифицирането на изменения в състоянието на даден обект или явление чрез наблюдение през определени времеви интервали.

Измененията в степента и посоката бяха определени чрез използването на трите условни оси на Tasseled Cap Transform, представящи характеристиките на изследвания обект от земната повърхност – почвена покривка, растителна покривка и влажност. ТСТ позволява редуциране на измеренията на данните и е подходящ за набор от данни в множество измерения поради неговата способност за комбиниране на информация от всички канали на мултиспектралното изображение. По този начин, ТСТ позволява анализирането на определени компоненти. Оста, представляваща почвената покривка (Brightness - B) определя лишените от растителност територии; оста, представляваща Greenness - G дефинира наличието на растителност и нейното състояние; а оста, представляваща влажността (Wetness - W), характеризира влагосъдържанието в даден обект на изследване. Представени под формата на облак от данни, първият компонент е разположен по протежението на образно представена централна линия, следващият компонент е ортогонален на първия и така нататък. За по-голяма прецизност на проведеното изследване са използвани диаграми на разсейването (scatter plot diagrams). Те представят разпределението на отделните компоненти, в зависимост от техните спектрални характеристики, под формата на линейна регресия.

В изследването на степента и посоката на изменение на земното покритие са използвани сателитни изображения от Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM+, заснети на 14.06.2000 и 21.06.2011. За наземна валидация на сателитните данни са използвани ортофото изображения от месец юни 2011 г. с разделителна способност $GSD = 0.4 \text{ m}$

Върху избраните сателитни данни са приложени техники за предварителна обработка с цел те да бъдат трансформирани във формат подходящ за моделиране. Изображенията от Landsat са геометрично коригирани чрез използване на наземни контролни точки, селектирани от ректифицираните ортофото изображения. След това съответните сателитни изображения бяха дефинирани съобразно Universal Transverse Mercator (UTM) координатна система.

3.3.1. Tasseled Cap Transform

За прилагането на ТСТ се използват спектралните характеристики на заснетата територия, на базата на които са получени различните метрики на ТСТ за Landsat 5 TM и Landsat 7 ETM+ с коефициенти, представляващи особеностите на ТС компонентите (brightness, greenness, and wetness). Теглата на метриците на ТСТ са фиксирани за всеки един сензор и не зависят от сцената. Това прави прилагането на този вид

трансформация далеч по-полезно отколкото другите техники за трансформация (Schowengerdt, 2007; Nedkov, 2017).

3.3.2. Модифициран вектор на изменението (mCVA)

Следващата стъпка в изследването е измерването на различията в компонентите на ТСТ за периода от 2000 до 2011 г. Тези изчисления показват динамиката в изменението на земното покритие за изследвания период. На база на получените резултати се прилага модифициран вектор на изменението mCVA. Този тип техника беше избран с цел извличане на цялата спектрална информация, съдържаща се в сателитните данни, която да послужи за определяне на степента и посоката на изменение в земното покритие. Степента и посоката на изменение могат да се характеризират чрез следните уравнения:

$$mCVA_{i_1, i_2} = \sqrt{B_{i_1, i_2}^2 + G_{i_1, i_2}^2 + W_{i_1, i_2}^2}, \quad (9)$$

където i_1 е индекс за 2000, а i_2 – за 2011.

$$mCVA_{i_2} - mCVA_{i_1} = \Delta mCVA, \quad (10)$$

където $\Delta mCVA$ е степента на изменение.

$$DA_B = \cos^{-1}\left(\frac{B_{i_1, i_2}}{mCVA_{i_1, i_2}}\right) \quad (11)$$

$$DA_G = \cos^{-1}\left(\frac{G_{i_1, i_2}}{mCVA_{i_1, i_2}}\right) \quad (12)$$

$$DA_W = \cos^{-1}\left(\frac{W_{i_1, i_2}}{mCVA_{i_1, i_2}}\right), \quad (13)$$

където DA е посочният ъгъл на изменението, представляващ посоката на изменение на съответния компонент на ТС.

$$\Delta DA_{(B,G,W)} = DA_{(B,G,W)i_2} - DA_{(B,G,W)i_1}, \quad (14)$$

където ΔDA показва посоката на изменение на съответния компонент за периода от 2000 до 2011 г.

3.3.3. Диаграма на разсейване

За да се постигне по-прецизно определяне на характера на посоката на изменение са приложени "диаграми на разсейването" (scatter plot диаграми). Диаграмите показват разпределението на brightness (x - ос) и на greenness (y - ос) компонентите в предварително избрани територии с полу-естествени ландшафти. Двумерните цифрови стойности (digital values) или факторите, които се измерват с атрибутни стойности за всеки пиксел, показват тенденция, която е естествено централизирана - както и променливостта на спектралните особености, открити за всеки един компонент. Получените "облаци от точки" представят многомерното разпределение за всеки интерпретиран компонент (Lillesand et al., 2007). Разпределението на "облака" в scatter диаграмата представя тенденцията в изменението на изследвания компонент. Направен е сравнителен анализ на разпределението на всеки един от компонентите за 2000 г. и 2011 г.

3.4. Проследяване динамиката на относителното съдържание на влага в почвата чрез използване на данни от радар със синтезирана апертура SAR

Проследяването на динамиката на относителното съдържание на влагата в почвата е постигнато чрез обработка и анализ на SAR сателитни изображения, заснети по време на вегетационния период на растенията, когато се наблюдава силно изразено засушаване, отключващо развитието на деградационни процеси, водещи към опустиняване. Предложен е индекс, оценяващ съдържанието на влага в почвата, което се отчита между два времеви периода на изследване и позволява проследяването на динамиката на това съдържание т.е дали в почвата се наблюдава повишаване или намаляване на съдържанието на влага. Съдържанието на влага в почвата се измерва в относителни единици (%), представлящи съотношение в интензитета на отразеното от почвената повърхност микровълново излъчване и оттук е изведено наименованието на индекса – Индекс за оценка на относителното съдържаниена влага в почвата (Relative Soil Moisture Index - RSMI). (Avetisyan, Velizarova, Nedkov, 2017).

3.4.1. Теоретична база за използване на SAR данни

Сред основните фактори, които оказват влияние на точността на оценките на влага в почвата чрез прилагането на синтезирана радарна апертура (SAR) са грапавината на почвената повърхност и растителната биомаса. Растителната биомаса оказва значителен ефект върху отражателната характеристика на повърхността, термалното и микровълново излъчване, както и върху радарното отражение от почвата (Moran et al., 2006). Растителността поглъща и разпръсква част от микровълновата радиация. Количеството на погълнатата радиация зависи от съдържанието на влага в растителността, а това на разпръснатата от нейната геометрия. Въздействието, което растителността оказва върху отражението спада с нарастване на дължината на електромагнитните вълни (Ulaby et al., 1981). По-късите вълни (X-band, 3 cm) биват отразени от горната част на растителната покривка, докато по-дългите вълни (L-band, 24 cm) проникват през растителността и се отразяват от почвената повърхност. C-band (5,6 cm) се отразяват както от растителността, така и от почвената повърхност. Те проникват по-добре през растителността, когато тя е суха. Това прави C-band особено подходящ за оценка на почвената влага при сухи климатични условия (Brown et al., 1988).

Друг фактор, който влияе върху оценката на влагосъдържанието в почвите с прилагането на SAR данни е грапавината на почвената повърхност. Влиянието на този фактор често може да бъде равно или дори да превишава влиянието на съдържанието на влага в почвата върху отражението на микровълните (Satalino et al., 2002). Ulaby et al. (1976) са стигнали до заключението, че за incidence angles по-големи от 10°, отразената към сензора енергия нараства с нарастване на грапавината на почвената повърхност.

Избраните тестови участъци за оценка на влагата в почвата са изцяло съобразени с особеностите и изискванията на микровълновите дистанционни методи за провеждане на оптимално точни изследвания. И двата избрани участъка се отличават с наличие на рядка растителност и са разположени в полу-естествени територии, в които човешката дейност е ограничена. Поради тази причина се предполага, че единствения фактор, който може да повлияе върху грапавината на почвената повърхност е почвената ерозия.

Третият фактор със значително въздействие върху оценките, използващи микровълнови радарни методи е свързан с параметрите на радарния сензор. С цел минимизиране въздействието на сензора върху изменението в отражението на микровълновото излъчване са използвани изображения от един SAR сензор с

фиксирана конфигурация. Прилагането на този подход ограничава въздействието на сензора и гарантира, че измененията в отразената радиация се дължат изключително на изменения, настъпили в условията на земната повърхност.

Избрани са времеви серии на микровълнови изображения от спътника Sentinel-1, заснети по време на вегетационния период. Тези изображения са заснети в Interferometric Wide swath mode и incidence angle около 35°. Оптималният incidence angle за оценка на съдържанието на влага в почвата варира между 20° и 37° (Holah et al., 2005).

C-band SAR инструментът на сензора поддържа работа в различни поляризации. Въпреки твърдението, че за оценка на съдържанието на влага в почвата е необходимо използването на две поляризации, в своето изследване Baghdadi et al. (2006) стигат до заключението, че точността на този тип изследвания не се повишава при използването на две, вместо само на една, HH или HV, поляризация. Нещо повече, с по-голяма прецизност се отличават изследвания, използващи по-дълги дължини на електромагнитните вълни (L-band) и една поляризация - HH или HV (Barrett et al., 2009). Отчитайки обстоятелствата, че в настоящето изследване маскиращия ефект на природни фактори като растителност и грапавина на почвената повърхност са минимизирани е предпочетено използването на HV поляризация.

3.4.2. Проследяване на динамиката на относителното съдържание на влага в почвата

Взимайки под внимание гореизложените фактори е създадена подходяща база данни, структурирана съобразно орбиталните характеристики, поляризацията и времевия период. Избраните сателитни данни обхващат вегетационния период на 2015 и 2016 г. (Таблица 5)

Таблица 5. SAR база данни

Acquisition Date	Satellite	Incidence Angle	Polarization
12.4.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
24.4.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
5.5.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
17.5.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
10.6.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
22.6.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
4.7.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
16.7.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
15.8.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
2.9.2015	Sentinel1	30° - 40°	VH
18.4.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
30.4.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
12.5.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
24.5.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
11.7.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
23.7.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
4.8.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH
16.8.2016	Sentinel1	30° - 40°	VH

Модел за оценка на относителното съдържание на влага в почвата

Изследвайки два участъка, представителни за преходните условия на хумидните към семи-аридни територии в Средиземноморието, Shoshany et al.(2000) стигат до заключението, че съществува линейна зависимост между коефициента на отражение от SAR (σ) и обемното съдържание на влага в почвата. Тази линейна зависимост е определена чрез прилагането на Normalized radar Backscatter soil Moisture Index (NBMI), представляващ мулти-времево съотношение на отражението. NBMI се представя по следния начин:

$$V_{sm} = a(\sigma_{t_1}/\sigma_{t_2}) + b \quad (15)$$

където V_{sm} е обемното влагосъдържание (%), $\sigma_{t_1,2}$, (σ) (t_1, t_2 и т.н.), са отражението (σ) в различни моменти (t_1, t_2 и т.н.), а a и b са линейните коефициенти

От тук , NBMI се представя по следния начин:

$$NBMI = \frac{\sigma_{t_1} + \sigma_{t_2}}{\sigma_{t_1} - \sigma_{t_2}}, \quad (16)$$

Твърдението за ясна връзка между обемното съдържание на влага в почвата и коефициента на отражение от SAR, заедно с NBMI индекса са използвани като отправна точка за формулирането на Индекса за оценка на относителното съдържание на влага в почвата (Relative Soil Moisture Index - RSMI), предложен в настоящето изследване и за разработването на модел за оценка на относителното изменение на обемното съдържание на влага в почвата за определен период. Моделът позволява оценяването на изменението на обемното съдържание на влага в почвата като съотношение между почвената влага, отчетена в два различни времеви момента. Колкото по-голямо е микровълновото отражение, толкова по-високи са стойностите на индекса и съответно по-високо е обемното влагосъдържание в почвата. Тази зависимост се свързва с особеностите на микровълновото отражение, което се определя от взаимодействието на микровълните с повърхността на почвата. По-влажната почва се отличава с по-високо отражение и обратното - по-сухата почва се характеризира с по-слабо отражение.

Предложеният модел следва уравнението на Индекса за оценка на относителното съдържание на влага в почвата (RSMI).

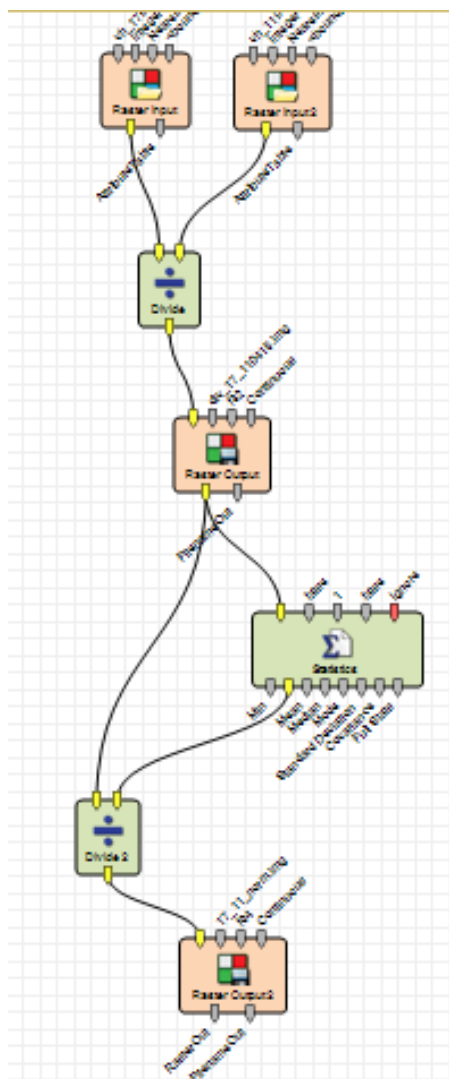
$$RSMI_{(i,j)} = r^{(i,j)} / r_{max} * 100\% \quad (17)$$

$$r_{max} = \{r_{(i,j)}\},$$

където (i,j) са номера на реда и колоната на пиксела в дадено SAR изображение.

$$\text{където } r_{(i,j)} = \frac{\sigma_{(i,j)t_2}}{\sigma_{(i,j)t_1}}, \quad (18)$$

където σ е микровълновия коефициент на отражение за времеви момент t_1 (сателитно изображение от по-ранна дата) и времеви момент t_2 (сателитно изображение от по-късна дата), а r е относителното съдържание на влага в почвата.



Фиг. 6. Моделиране на данните

В резултат на моделирането се генерира растер със стойности, вариращи от 0 до 1. Стойностите на растера са представителни за относителното съдържание на влага в почвата за съответния период. Тези стойности служат като база за оценка на степента на изменение на влагата в почвата за определен период. Като правило колкото по-влажна е почвената повърхност, толкова по-голямо е микровълновото отражение и обратното - по-сухата почвена повърхност се отличава с по-слабо микровълново отражение. От тук, основното предположение, изведено чрез прилагането на модела е, че когато стойностите на RSMI са по-ниски от тези, отчетени за предходния времеви период, то съдържанието на влага в почвата е намаляло и обратното, когато стойностите на индекса са по-високи от получените за предходния период, съдържанието на влага в почвата се е повишило. (Фиг. 6, 23, 24).

Посоката на изменение е потвърдена също така и с прилагане на композитни растери, съдържащи слоеве, представляващи стойностите на RSMI в три последователни времеви периода (например Април, Май и Юни). Прилагането на тази техника позволява диференцирането на периода с най-влажни условия по отношение на почвената повърхност, както и определянето на характера на пространственото разпределение на влагата в почвата.

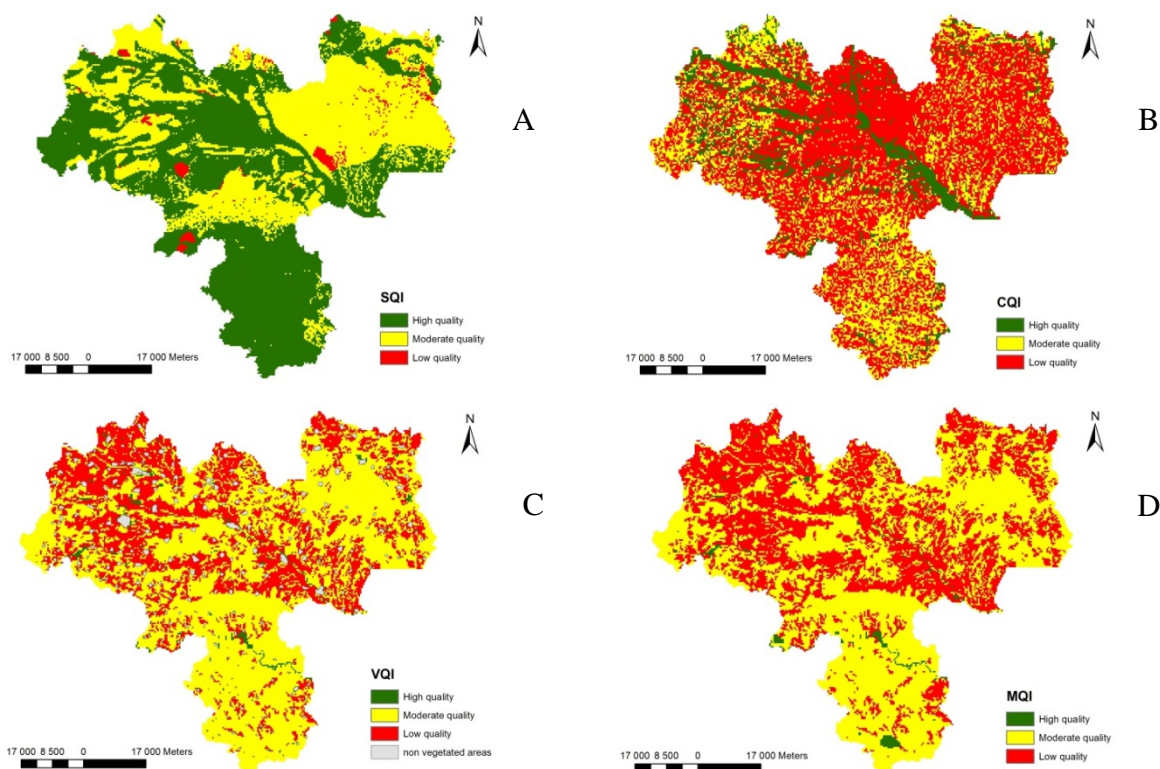
ГЛАВА IV. РЕЗУЛТАТИ

4.1. Интегрирана оценка на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи в област Хасково

Оценката на екологично уязвимите по отношение на опустиняването земи се основава на физичните характеристики на почвите, растителността и климата. Начините на стопанисване като тип земеползване, интензивност и политики се включват като стресови индикатори за опустиняване, причинени от човека. Оценката се състои от два етапа. В първият етап, четирите индекса за почва, климат, растителност и земеползване се изчисляват като се взимат под внимание присъщи качества на физическата среда и стреса за системата, причинен от човека.

В резултат на приложените обработки на данните са генерирани растерни слоеве, представящи значимостта на всеки един от отчетените по време на анализа природни компоненти по отношение на деградационните процеси. Диференцирани са територии с различна уязвимост към опустиняване по отношение на всеки един от компонентите по отделно и като цялостна система. (Фиг. 7)

Оценката на почвата, като фактор, показва, че 57 % от почвените разновидности, характерни за изследваната територия се отличават с висок индекс за качество по отношение на опустиняването, 41 % - със среден и 2 % с нисък. Индексът SQI варира от 0 до 4,32. Почвите с най-нисък индекс за качество са рендзините, заемащи около 1% от територията. Тези почви имат азонално разпределение под формата на отделни петна. Разпокъсаното териториално разпределение на рендзините и малката обща площ, която обхващат, предполага, че те не представляват сериозна опасност за нарушаване на хоризонталната структура на ландшафтите и развитието на мащабни деградационни процеси в съседните територии. По-голямо внимание следва да се обърне на почвите със средно качество - 41% от общата площ, които имат заемат компактни площи в Сакар планина и централните части на обл. Хасково. Основните почвени разновидности в тези територии са: силно излужените до слабо оподзолени (лесивирани) канелени горски почви; канелено-подзолисти (псевдоподзолисти), повърхностно оглеени, леко песъчливо-глинести, по-рядко глинесто-песъчливи; излужени чернозем-смолници, глинести и ерозирани излужени канелени в Родопите.



Фиг. 7. Карти, показващи уязвимостта на територията по отношение на оценените природни компоненти и начина на стопанисване на земите: А – SQI, В – CQI, С – VQI, D – MQI

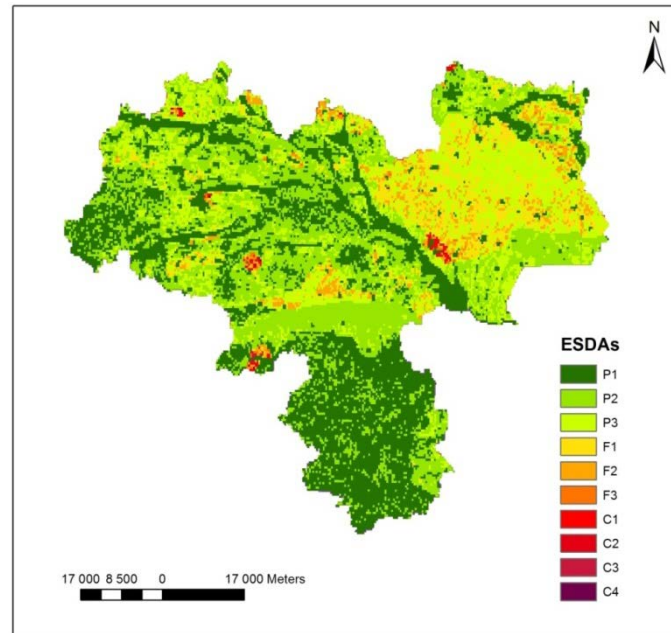
По отношение на климата, цялата изследвана територия се характеризира с изключително сухи условия по време на вегетационния период и особено през лятото и ранната есен. Индексът CQI варира от 0.87 to 1.66. Получените територии, оценени с ниски стойности на индекса за качество на климата като фактор са почти хомогенни в цялата територия и са отделени основно според особеностите на изложението. Резултатите показват, че само 12% от територията се отличава с високо качество по отношение на климата (CQI от 0.87 до 1), 27% - със средно и 61% - с ниско качество (CQI от 1.5 до 1.66). Площите със средно качество са разположени главно в западните и южни части на обл. Хасково. Причината за това пространствено разпределение може да е свързана от една страна с типичният пренос на въздушни маси от запад на изток, а от друга с близостта на Егейския басейн до Родопите и обусловените от тази близост относително по-влажни атмосферни условия.

Оценката на растителността (VQI) като фактор за развитие на деградационни процеси, водещи към опустиняване показва, че 34% от територията се отличава с ниско качество, а 62% със средно качество. Делът на останалите категории е пренебрежимо нисък. Териториите с ниско качество на растителността са главно обработваеми земи, заети основно с не напоявана посредством иригационни съоръжения растителност и са разположени в най-ниските части и Сакар планина.

Оценката на територията, базирана на начина на стопанисване и антропогенната натовареност показва, че около 41,5% от площта на обл. Хасково се характеризира с ниско качество на стопанисване, 57% - със средно и само 1,3 – с високо. Земите с най-неподходящи практики за стопанисване на територията са и тези, които се отличават с най-висока степен на антропогенна натовареност. Най-широко разпространени сред тях са обработваемите площи без напоителни системи.

Въз основа на направената оценката са отделени уязвими по отношение на опустиняването територии. Интегрираната оценка на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи (ESDAs) е извършена чрез прилагането на следното уравнение:

$$ESDAs = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4} \quad (19)$$



Фиг. 8. Карта на екологично уязвими по отношение на опустиняването земи (ESDAs) в област Хасково

Въз основа на направената оценка (Фиг.8), територията е разделена на 10 класа с различна уязвимост по отношение на опустиняването. Първите три класа (P1, P2 и P3) попадат в категорията на земи с потенциален риск от опустиняване. Тази категория покрива около 89% от територията на обл. Хасково, но при по-детайлно изследване на получените резултати се стига до извода, че тези 89% са почти равномерно разпределени между отделните класове (P1 – 33%, P2 – 33%, и P3 – 23%). Този пространствен модел на разпределение свидетелства за динамика в развитието на деградационните процеси в посочените земи и за своевременна възможност за преминаване на площите от един клас в друг в зависимост от промяна на индикаторите. Най-компактните територии с потенциален риск от опустиняване са разположени в Родопите и по протежение на големите реки. Земите тук се отличават с полегат релеф, високо качество на почвената компонента и съответно по-благоприятни условия за развитие на растенията. Въпреки изброените предимства обаче, териториите са уязвими към опустиняване първо поради неблагоприятните климатични условия и на второ място поради стръмнината на склоновете на някои места и високата антропогенна натовареност на земите около големите реки. В случай, че в бъдеще се измени типа стопанисване на земите и се увеличи антропогенното натоварване, може да се прогнозира нарушаване на водния баланс на ландшафтите (поради интензифициране на почвено-деградационните процеси) и бързо преминаване на засегнатите територии към по-уязвима към опустиняване категория земи. На тези територии, и най-малките изменения в деликатния екологичен баланс могат да интензифицират деградационните процеси и това да доведе до опустиняване.

Следващите три класа попадат в категорията на уязвимите територии. Те заемат 11% от площта на обл. Хасково и представляват основно територии с неблагоприятни почвени условия и неподходящ тип стопанисване на земите. В тези територии

обичайно се наблюдава подмяна на естествената растителност с едногодишни земеделски култури. Деградацията при тези територии се дължи на лошо териториално управление в миналото. Понастоящем представляват заплаха за екологичният баланс на съседните територии. Например, силно ерозирани територии са засегнати от площната водна ерозия и загуба на твърд отток. Това може да доведе до значителни наводнения в прилежащите ландшафти и натрупване на твърд отток в язовирите.

Основен фактор за диференцирането на критични по отношение на опустиняването земи са характеристиките на почвените разновидности. Земите с критична уязвимост (такива като рендзини) имат азонално териториално разпределение. Върху варовикови скали се формират плитки почви с относително сух по отношение на влагата режим. Растителността е рядка и разпокъсана, което предразполага към образуване на почвено-ерозионни процеси. Като се вземе предвид силното засушаване, може да се предвиди, че веднъж развито опустиняването ще отнеме много-повече ресурси за да бъде ограничено. Зоните с критична уязвимост заемат едва 0,5% от територията на обл. Хасково.

4.2. Състояние и динамика на горската растителност в област Хасково

Анализът на резултатите, получени след изучаването на взаимовръзките между флукуациите на климатичните елементи и състоянието на горската растителност в област Хасково за период от 28 години (1985 до 2013) показва следното:

1. Цялата изследвана територия се отличава с нарастване на стойностите на изследваните климатичните елементи (средна температура на въздуха, сума на валежите и евапотранспирацията за периода със средна денонощна температура над 5°C). (Фиг. 9, 10, 11)

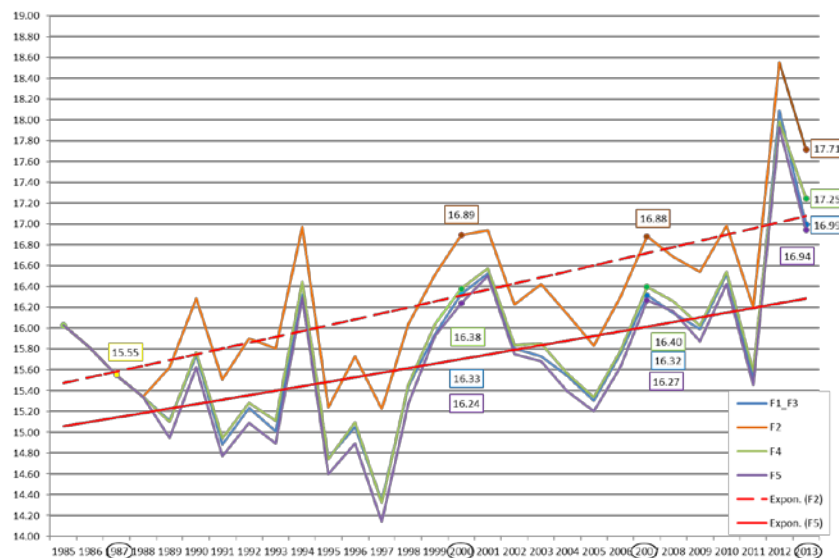
2. Наблюдава се значителна флукуация в стойностите на NDVI и VCI. Горната граница в стойностите на NDVI варира около 0,4 и 0,6, като отчетените стойности са типични за горска растителност, характеризираща се с неблагоприятно протичане на процесът фотосинтеза, а долната граница на отчетените стойности е около 0,3 за всички изследвани години. Стойност на NDVI около 0,3 е представителна за рядка растителна покривка и тревна растителност, но не и за добре функционираща, здрава гора. Вариациите в стойностите на VCI вероятно са резултат на изменение в съотношението между топлина и влага. През различните години, недостигът на влага варира между 350 mm и 725 mm. Следователно, разликите в условията на микроклимата са най-вероятният фактор, оказващ въздействие върху състоянието и динамиката на горската растителност. (Таблица 6, Фиг .12,13,14)

3. В периода от 28 години се наблюдават по-кратки периоди, характеризиращи се с влошаване на оптималните условия за горска растителност. Тези по-кратки периоди се отличават с изостряне на засушаването. Най-продължителното от тях трае 4 години - от 1997 до 2000. Годишната с най-негативно въздействащи климатични условия през изследвания период е 2000. Тази година е пикова за по-краткотрайния период на засушаване, продължаващ между 1997 и 2000 година. Средната стойност на температурата на въздуха за периода със средна денонощна температура над 5 ° се е увеличила с 2.0 C, сумата на валежите за същия период е намаляла с 225 mm, а сумата на евапотранспирацията се е увеличила с 100 mm. Разликата между сумата на евапотранспирацията и тази на валежите е около 700 mm. Всички тези фактори се отразяват върху стойностите на вегетационните индекси, които са най-ниски именно през 2000 година. Нещо повече, за целия период в изследваната територия, стойностите на NDWI са критично ниски - близо до нула, а за 2000 година стойностите на индекса

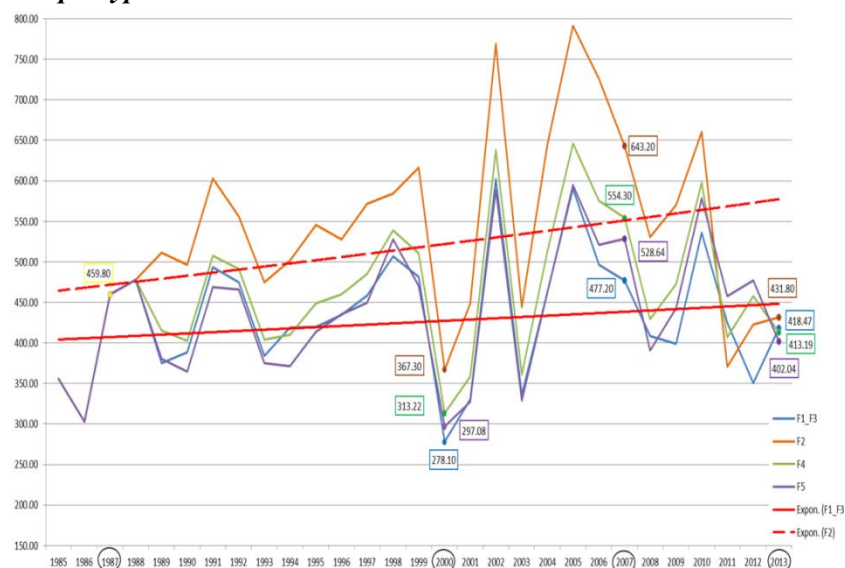
са отрицателни в 4 от общо 5-те тестови участъци за наблюдение.(Таблица 6, Фиг. 12,13,14)

4. Резултатите показаха, че причина за влошаване на състоянието на горската растителност в област Хасково е проявяване на по-висока степен на засушаване в периоди, продължаващи до 4 години. Тази равномерна цикличност насочва вниманието към слънчевата активност и характера на нейното проявление. Периодите на изявено засушаване вероятно се дължат на процесите, свързани с квази-двугодишната осцилация, която влияе върху общата атмосферна циркулация и съответно на циклогенезиса. През последните десетилетия се наблюдава взаимовръзка между квази-двугодишната осцилация (QBO) и вариациите на СА по време на слънчевите цикли, чиято енергия влияе на слънчевото греене и йонизацията на аерозолите. Това причинява вариации в разпределението на ветровете (QBO) и образуването на облаци.

Тези периодични изменения в климата влияят върху динамиката на растителността.(Фиг. 15, 16а, 16b) [37, 40]



Фиг. 9. Средни стойности на температурата на въздуха за периода със средна денонощна температура над 5°C.



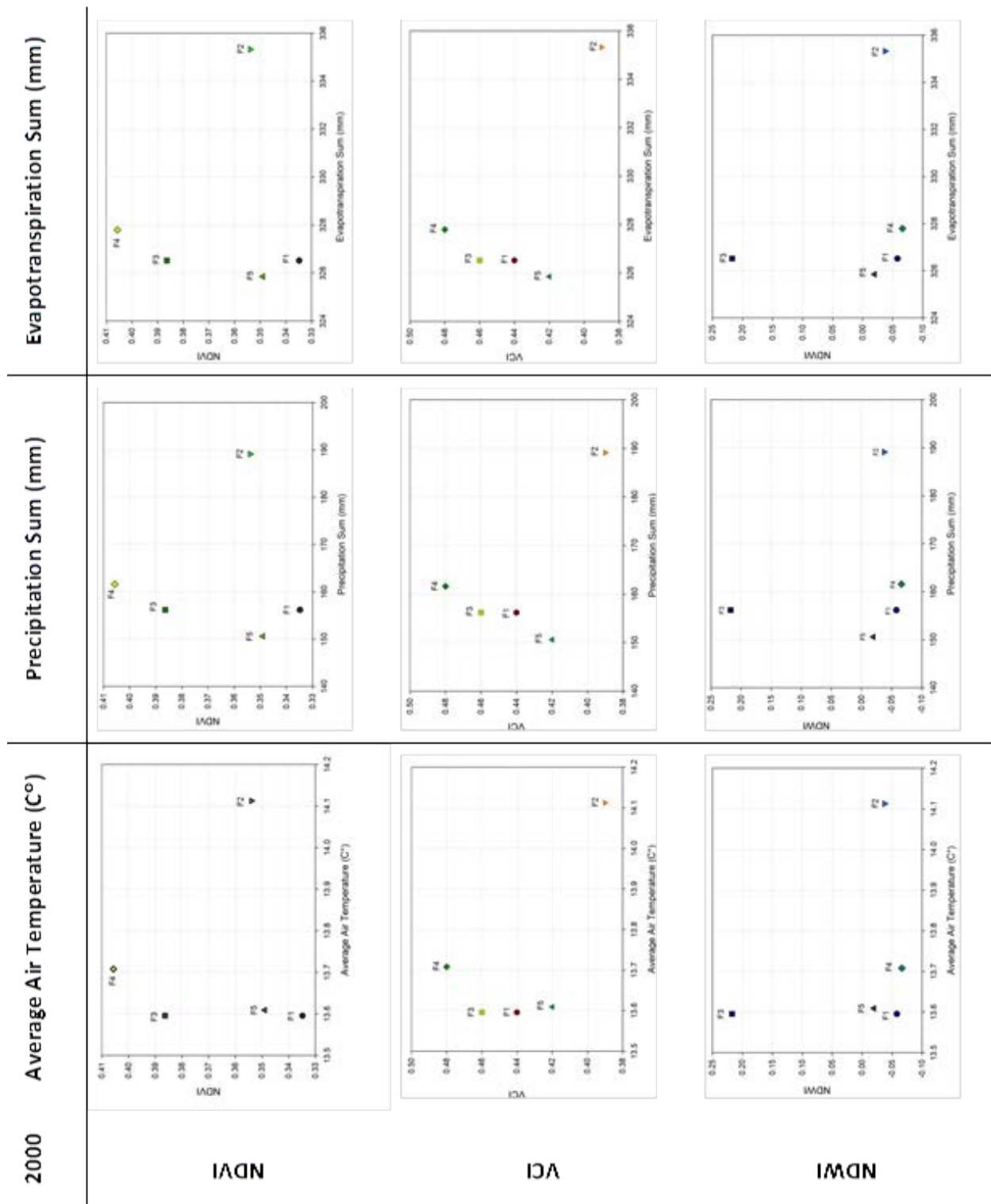
Фиг. 10. Средни стойности на сумата на валежите за периода със средна денонощна температура над 5°C.



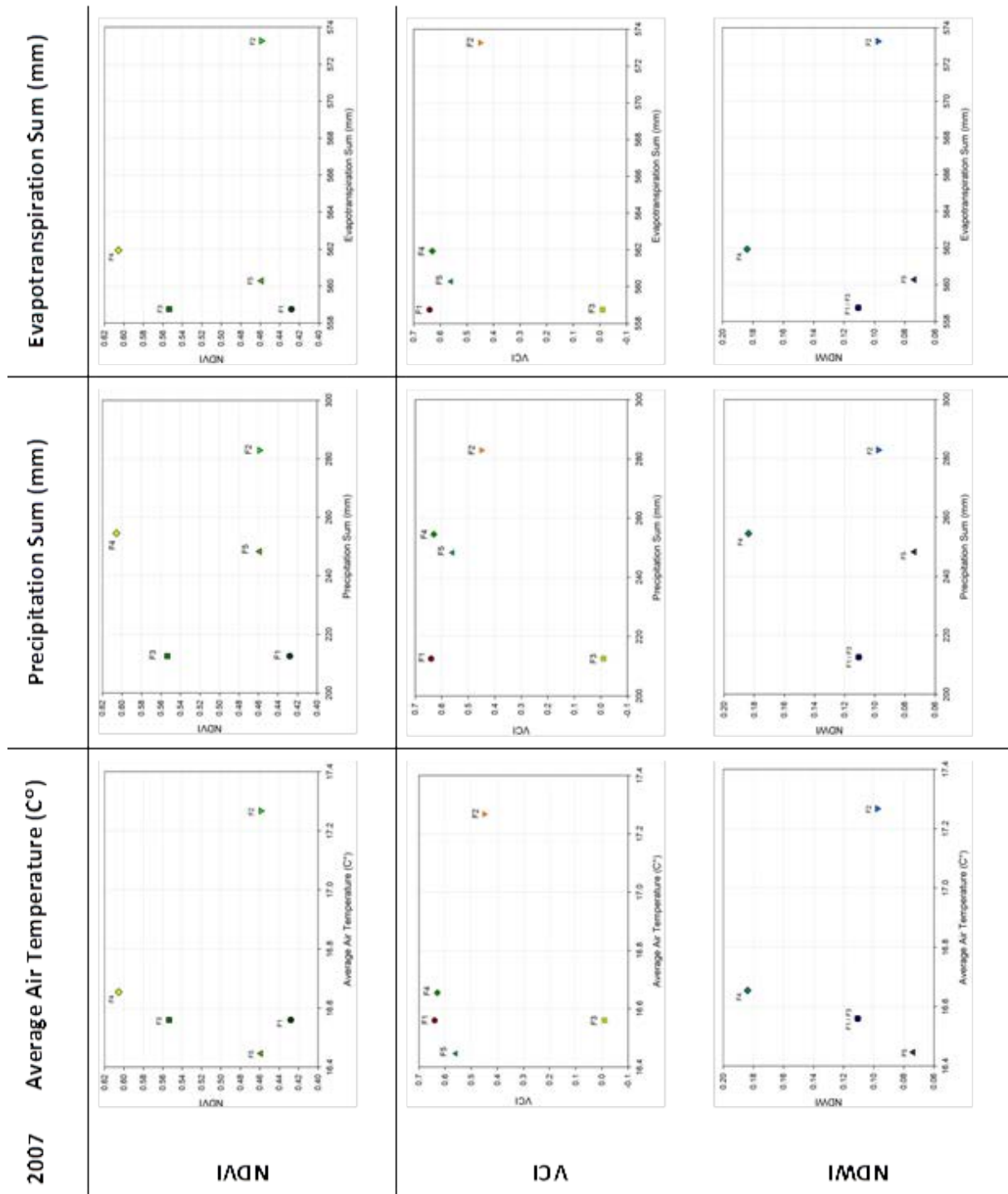
Фиг. 11. Средни стойности на сумата на еванотранспирацията за периода със средна денонощна температура над 5°C.

Таблица 6. Стойности на вегетационните индекси и изследваните климатични елементи за тестовите горски участъци (1987)

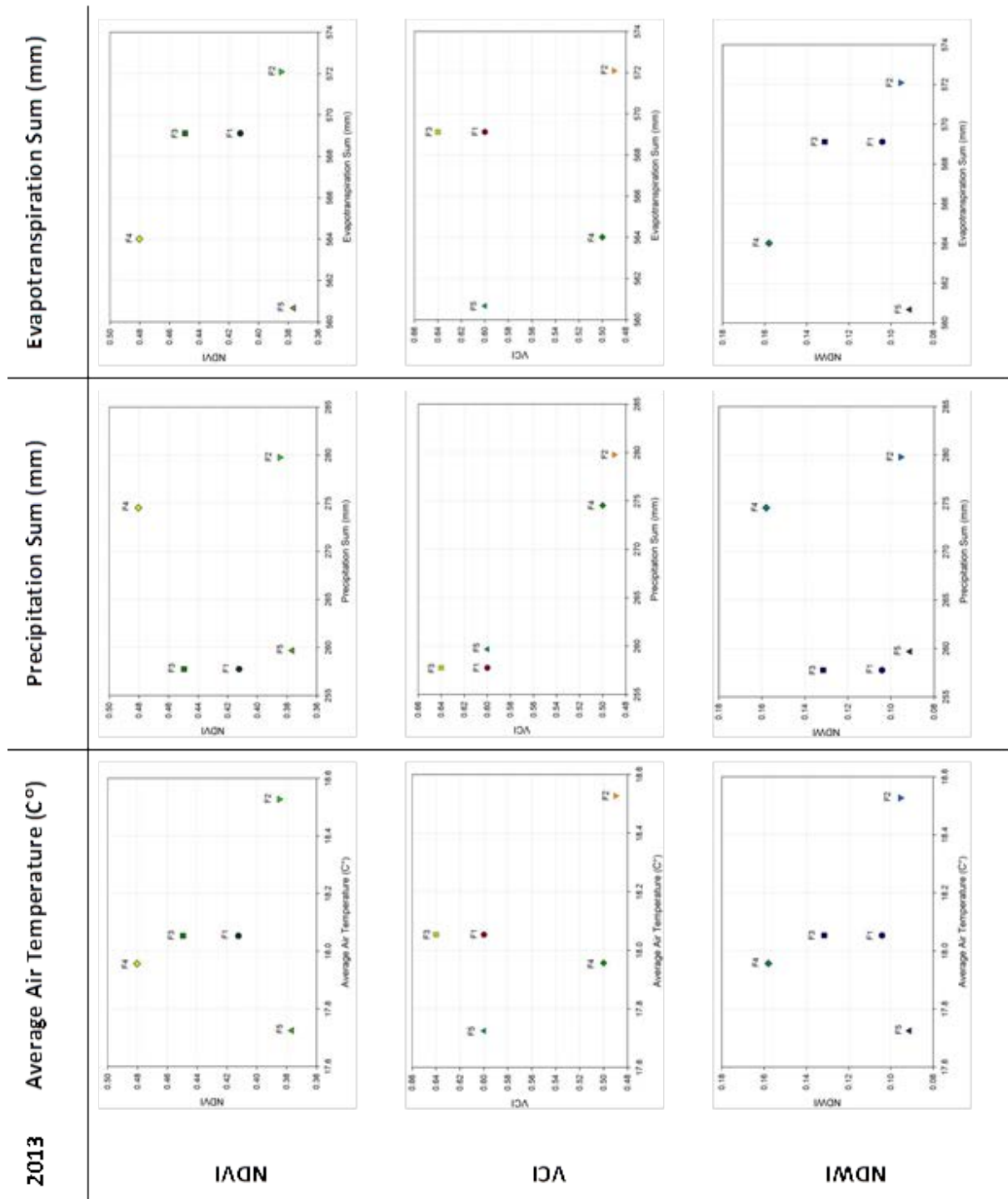
1987	NDVI	VCI	NDWI	Average Air Temperature (°C)	Precipitation Sum (mm)	Evapotranspiration Sum (mm)
F1	0.36	0.58	-0.03	14.880	329.20	425.80
F2	0.33	0.45	-0.06			
F3	0.41	0.67	0.01			
F4	0.41	0.44	0.03			
F5	0.38	0.60	0.01			



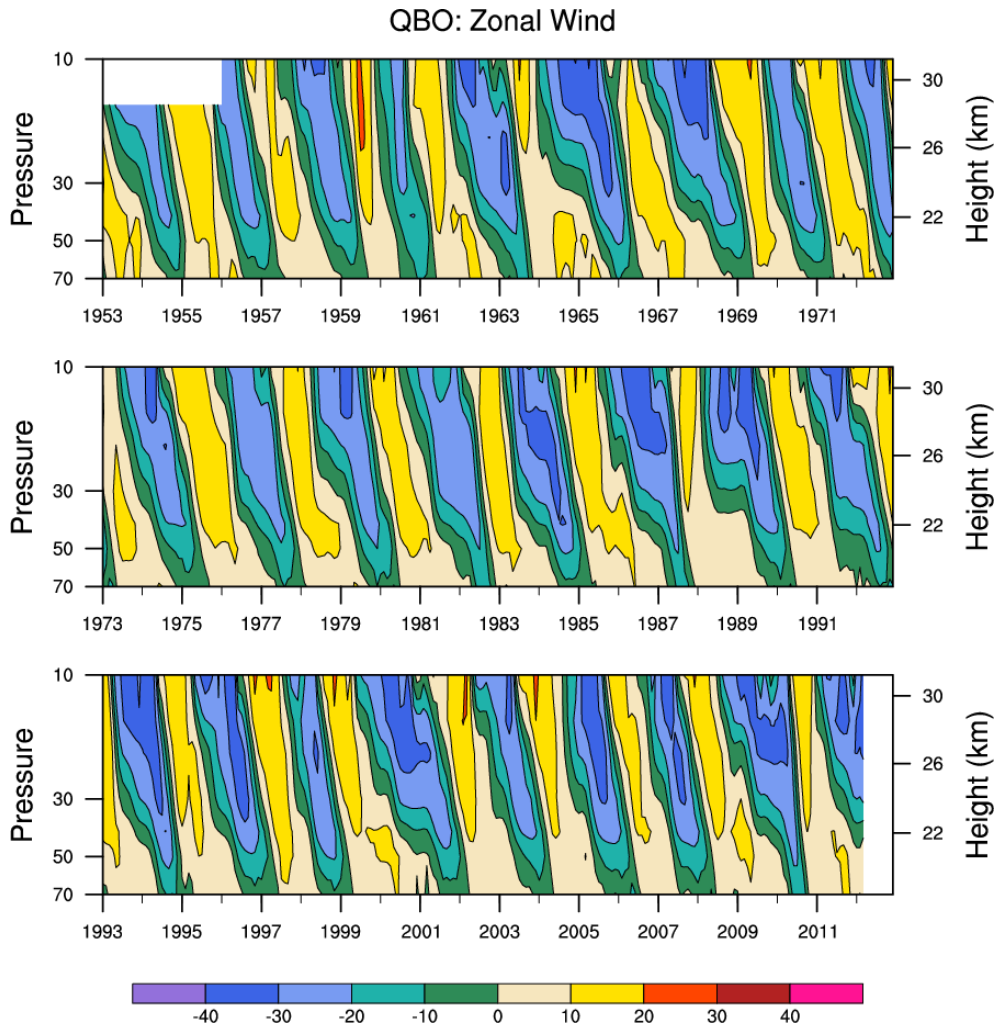
Фиг. 12. Стойности на вегетационните индекси и изследваните климатичните елементи за тестовите горски участъци (2000)



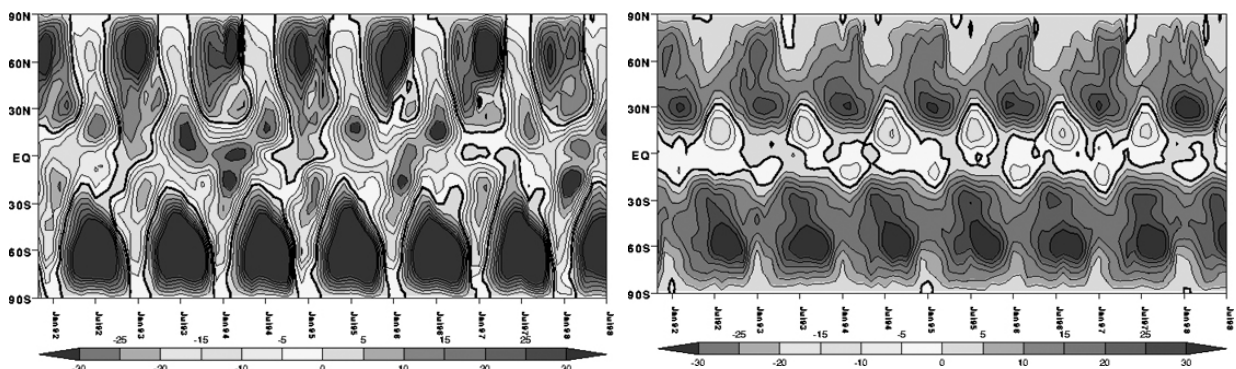
Фиг. 13. Стойности на вегетационните индекси и изследваните климатични елементи за тестовите горски участъци (2007)



Фиг. 14. Стойности на вегетационните индекси и изследваните климатични елементи за тестовите горски участъци (2013)

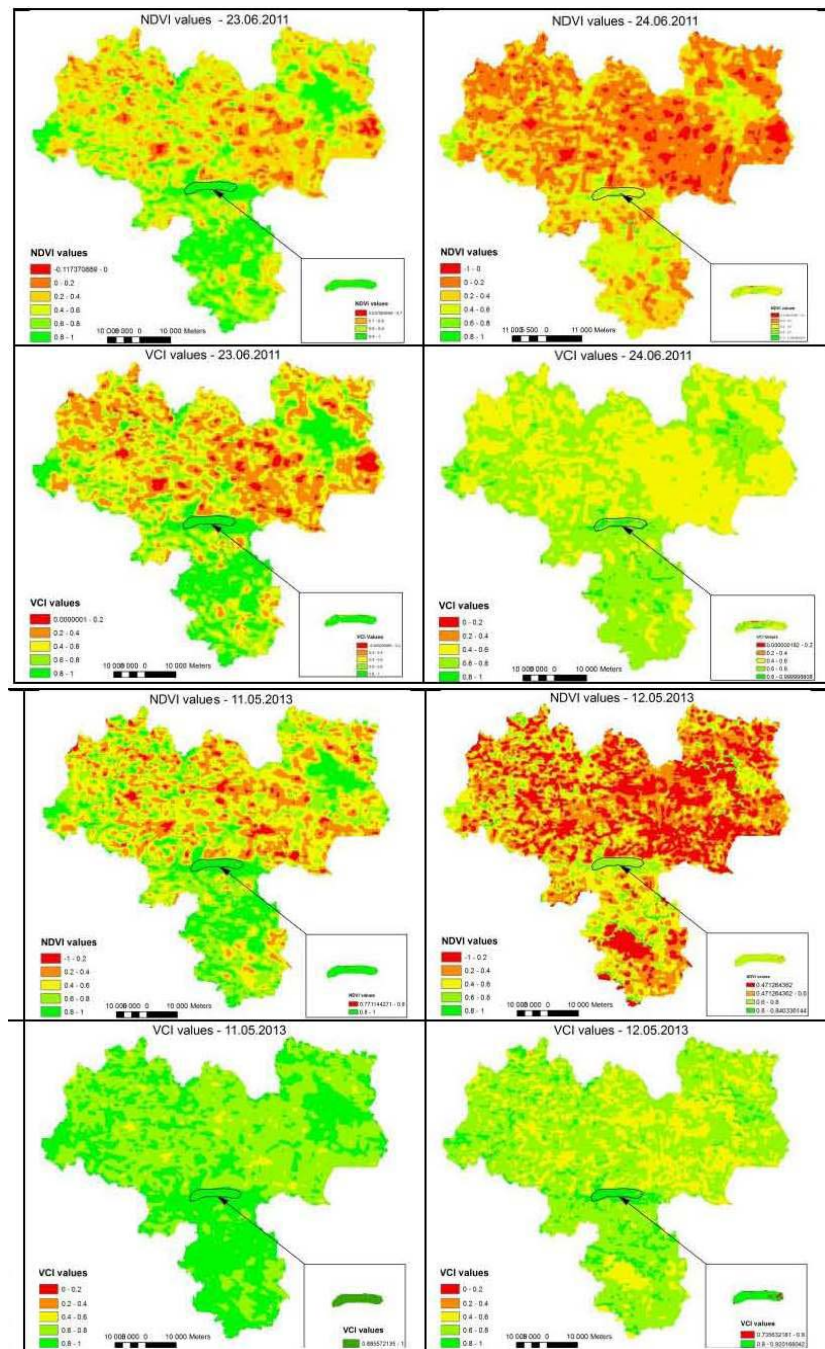


Фиг. 15. Квази-двугодишна осцилация: Зонални ветрове за периода от 1953 до 2011 [40]



Фиг. 16 (a) Zonal mean wind as a function of time and latitude at 10mb. Note the alternating easterlies and westerlies along the equator. [40]

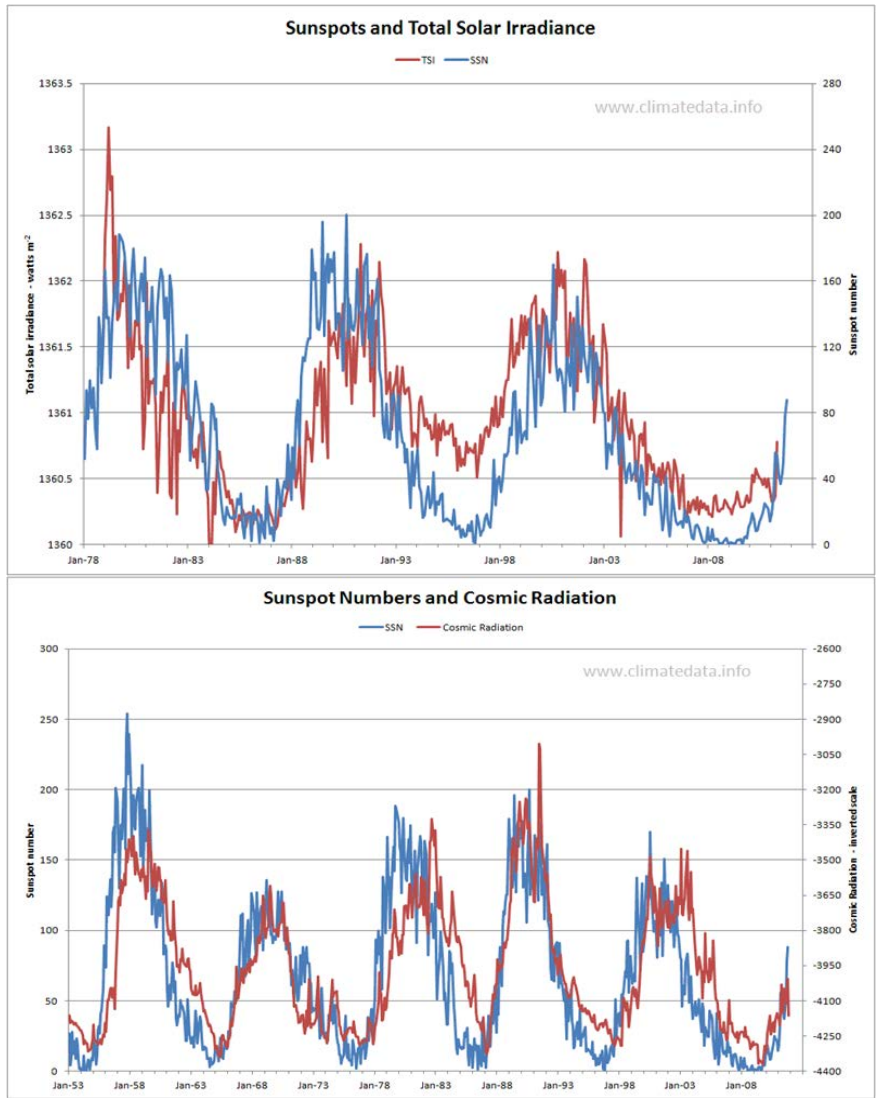
Фиг. 16 (b) Zonal mean wind as a function of time and latitude at 100mb.[40]



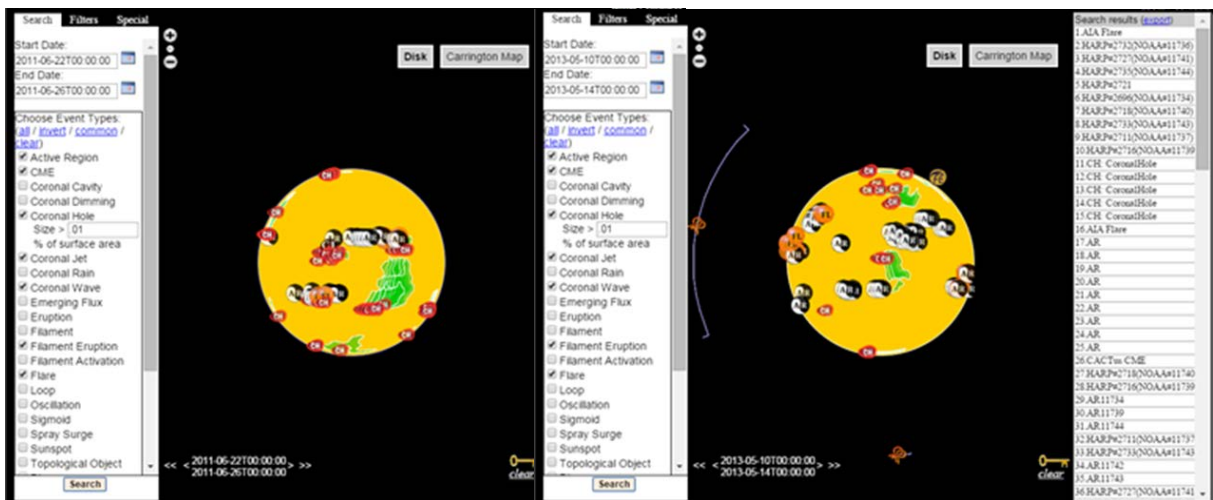
Фиг. 17. Стойности на NDVI и VCI, наблюдаван през Юни 2011 и Май 2013

Друг тригерен ефект, засягащ биосферата се дължи на краткотрайни вариации на СА. Растителността е чувствителна към такива въздействия. Обикновено, ефектът на забавяне на вегетацията е временен и се компенсира в течение на растежа. Това явление е показано на Фиг. 17. На Земята, това явление се отчита чрез рязък спад в стойностите на вегетационните индекси.

Първият примерен период е 2011/06/23-24, когато за два дни преди резкият спад в стойностите на индексите, се наблюдават 23 6-часови изригвания и няколкочасови изригвания през периода на спад на стойностите на индексите. Сходно явление се наблюдава и през 2013/05/11-12. (Фиг.18 и Фиг.19)[36,39,41]



Фиг. 18. Данни за слънчевата активност [39]

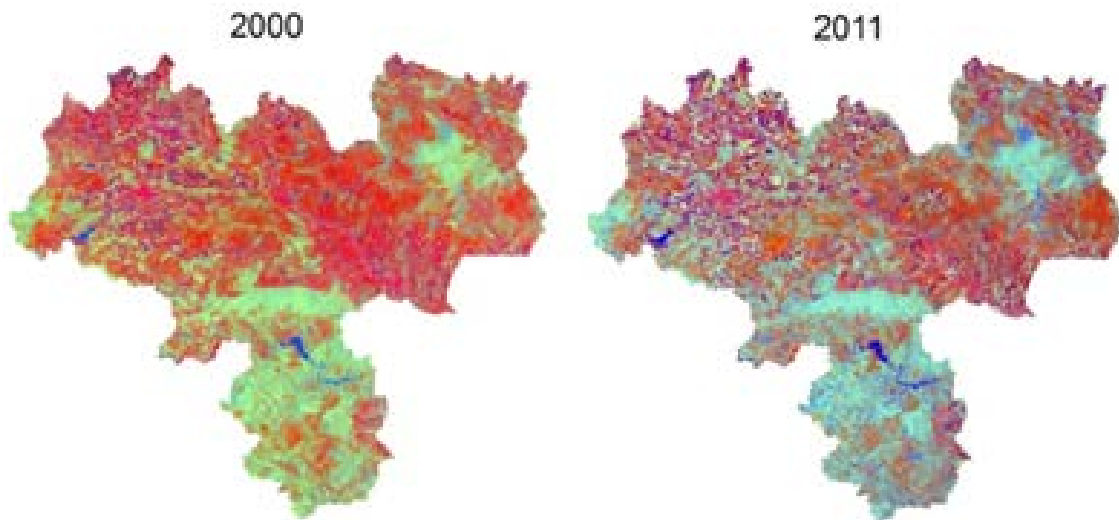


Фиг. 19. Активни региони и геофективни явления на Слънцето (2013/05/11-12; 2011/06/23-24) [41]

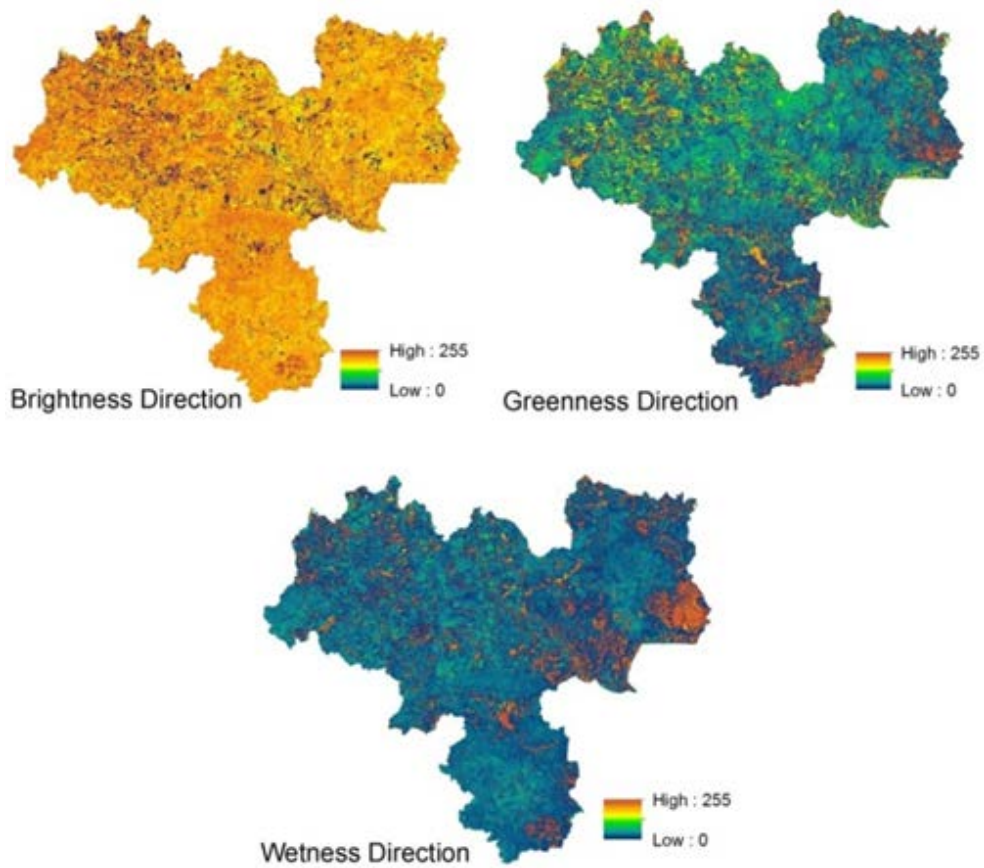
Данните показват, че горските ландшафти в област Хасково са подложени на продължителен стрес, наблюдаван през целия период на изследване, продължаващ 28 години (от 1985 до 2013). Относително стабилните стойности на NDWI и флукуациите на NDVI и VCI могат да бъдат обяснени със стремежа на геосистемите към равновесие. Наблюдаваните процеси и явления могат да доведат до изменения в структурата на ландшафтите в близко бъдеще и интензифициране на деградационните процеси.

4.3. Изменение на земното покритие в полу-естествени ландшафти на територията на област Хасково

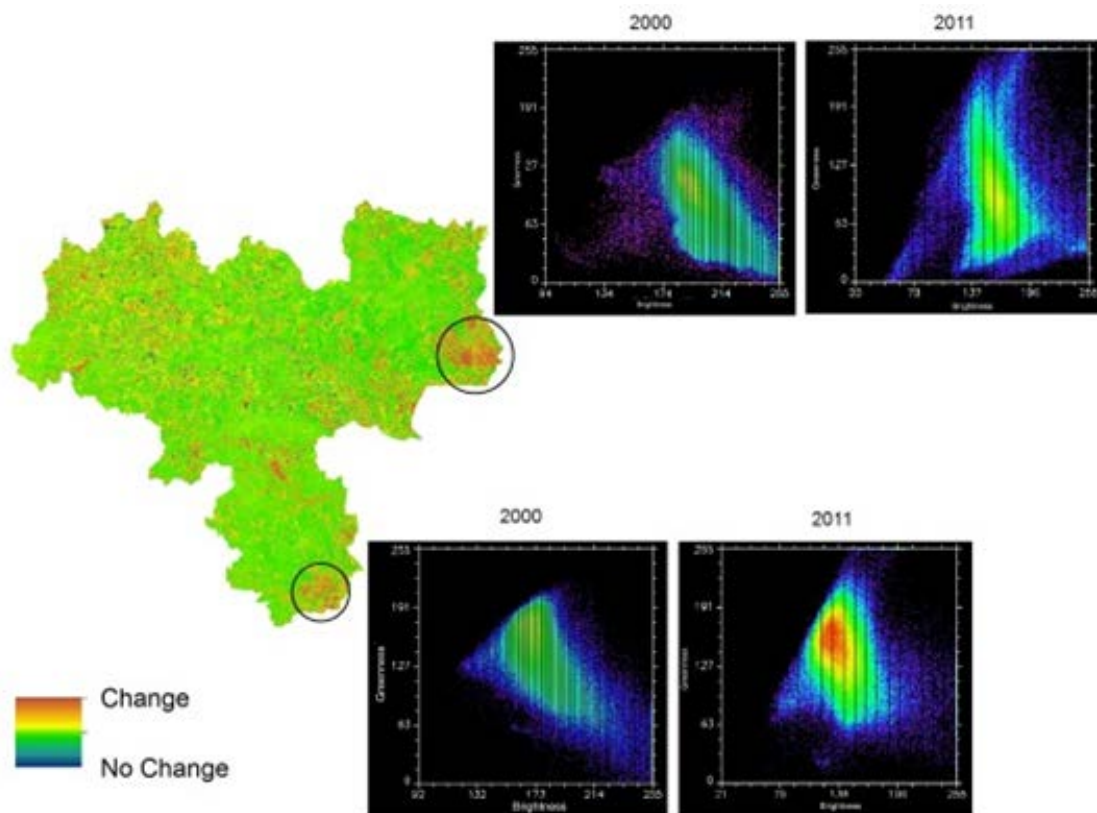
Изследването на посоката на изменение показва някои отчетливи промени в характеристиките на почвите за цялата изследвана територия на обл. Хасково и значителни изменения в характеристиките на растителността и влажността в полу-естествените територии на обл. Хасково. За по-детайлно проучване са избрани най-засегнатите от изменения части на тези територии. Избраните участъци са разположени в полупланинските територии на обл. Хасково. Степенна на изменение на земното покритие в тях достига до 50%. Анализът на вектора на изменението показва значително нарастване на почвите без растителност (brightness) в териториите, типично заети от растителност. (Фиг.20, 21)Тази тенденция се потвърждава чрез диаграмите на разсейване. Наблюдава се ясно изразено нарастване в отражението от почвена повърхност през 2011 за сметка на растителността, преобладаваща през 2000.(Фиг.22)



Фиг. 20. „Tasseled Cap Transform“ за 2000 и 2011 за територията на област Хасково



Фиг. 21. Растери, показващи посоката на изменение чрез прилагането на *mCVA*



Фиг. 22. Стойности на вектора на изменение и диаграми на разсейване, показващи зависимостите между компонентите на ТСТ - *brightness*, *greenness*, and *wetness* през 2000 и 2011 година

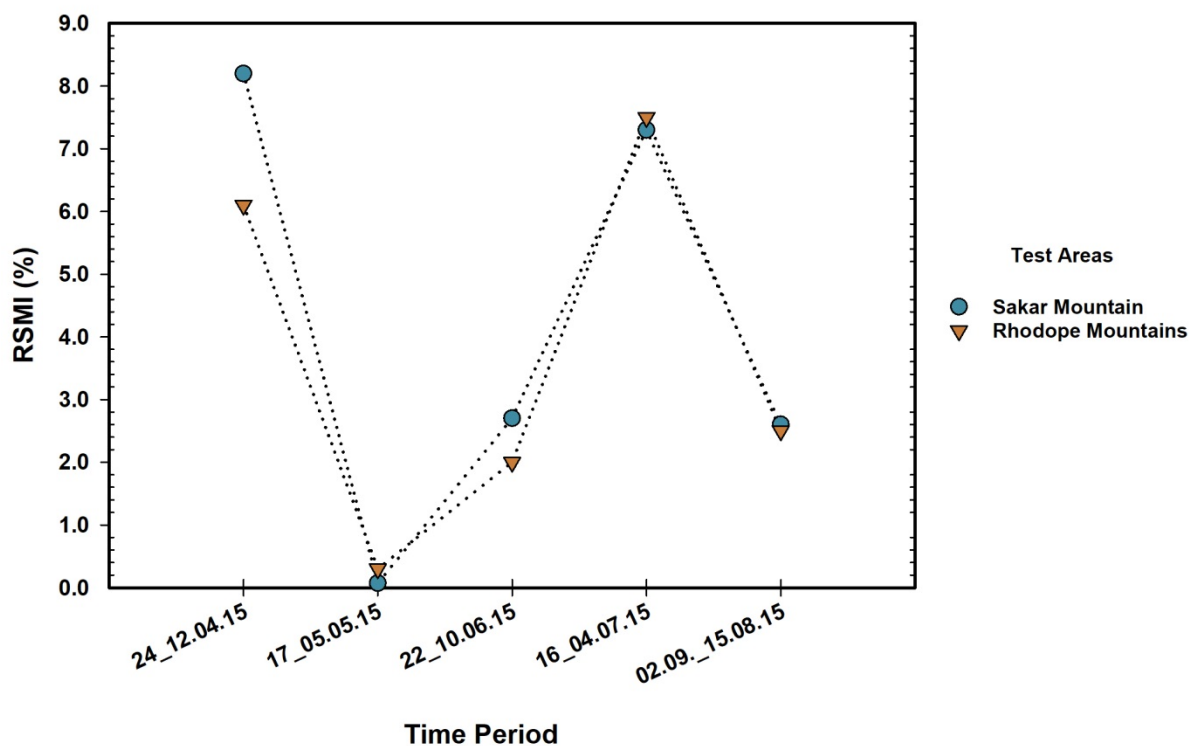
Нарастването на отражението от почвената повърхност показва повишаване на степента на разпространение на откритите почви в изследваните полу-естествени територии. Един от възможните фактори за наблюдаването на този процес е повишаване на степента на засушаване и свързаните с него изменения на екологичните условия (Avetisyan and Nedkov, 2015). Териториите с най-голяма степен на трансформация и съответно най-уязвими към засушаване са разположени в Източните Родопи и в Сакар планина.

4.4. Динамиката на относителното съдържание на влага в почвата чрез използване на данни от радар със синтезирана апертура SAR

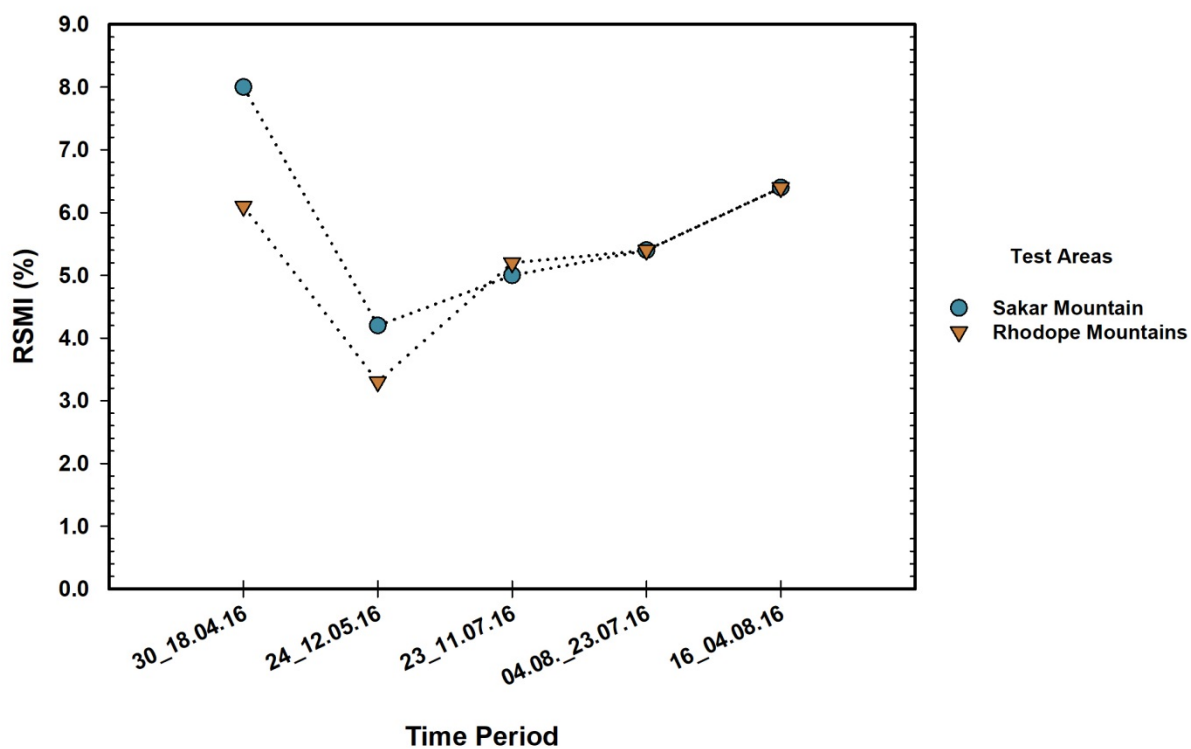
За оценката на съдържанието на влага в почвите са използвани райони, показали най-съществени изменения в земното покритие. Почвите в тестовият участък в Родопите са *Humic Luvisols*. Те се характеризират със средна податливост към ерозионни процеси. Почвите в Сакар планина са по-разнообразни. Основните почвени разновидности тук са *Eutric regosols*; *Strongly leached to slightly podzolized (lessive) cinnamonic forest Albic Luvisols*; *Fluvisols* и *Mollic Fluvisols*; *Arenosols* и *Gleysols*; *Rendzinas*; и *Eutric Regosols*. Избраните тестови участъци се отличават с наличието на рядка растителност - ключов фактор за приложението на микровълнови дистанционни методи.

Както бе споменато, в настоящето изследване е проследена динамиката на обемното съдържание на влага в почвата по време на вегетационния период чрез прилагането на *RSMI* индекс. Този индекс оценява относителното съдържание на влага в почвата между два времеви момента (t_1 и t_2) на даден период и позволява проследяването на динамиката на това съдържание т.е дали в почвата се наблюдава повишаване или намаляване на съдържанието на влага.

На Фиг. 23 са представени следните периоди: от 12.04.15 до 24.04.15; от 05.05.15 до 17.05.15; от 10.06.15 до 22.06.15; от 04.07.15 до 16.07.15; и от 15.08.15 до 02.09.15. На Фиг. 24, представените периоди са: от 18.04.16 до 30.04.16; от 12.05.16 до 24.05.16; от 11.07.16 до 23.07.16; и от 04.08.16 до 16.08.16. С цел подбраните периоди да бъдат съпоставими, е целено продължителността на всеки от тях да бъде 12 дни, колкото е цикълът на повторение на Sentinel 1. Това обаче не винаги е приложимо поради орбиталните характеристики на сензора, различията между броя на използваните сцени, което води до празнини в изображенията и т.н. Поради тази причина, избраните периоди имат различна продължителност. Въпреки това, тази особеност не е от съществено значение за изчислението на *RSMI* индекса, защото той показва динамиката на относителното влагосъдържание в почвата за даден период по отношение на отминал времеви период без значение от неговата продължителност. Това прави *RSMI* приложим в ситуации, изискващи бързи оценки и реакции (напр. при прогнозирането на наводнения и/или пожари), а не само за оценки на продължителни периоди каквито са оценките при екологичното планиране.



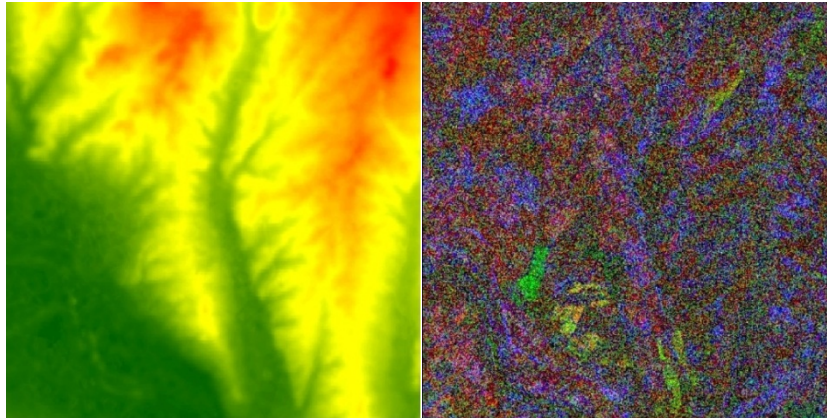
Фиг. 23. Стойности на RSMI за вегетационния период на 2015 г.



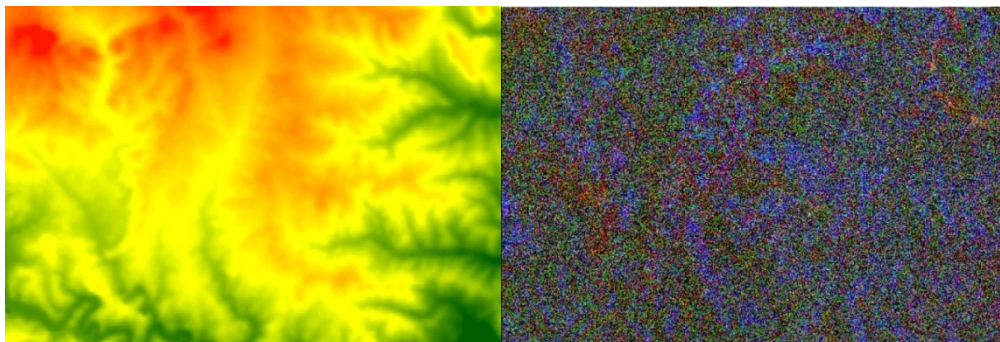
Фиг. 24. Стойности на RSMI за вегетационния период на 2016 г.

Резултатите представени на Фиг.23 и Фиг.24 показват, че най-високите стойности, представлящи относителното съдържание на влага в почвата за двете изследвани години са изчислени за месец април. Тези стойности служат също така като отправна точка за оценката на динамиката на обемното съдържание на влага в почвата през вегетационния период. През май се наблюдава рязък спад в съдържанието на влага в почвата. Стойностите на RSMI, отчетени през май 2015 са критично ниски - 0,07 в Сакар и 0,3 в Родопите. През юни, относителното съдържание на влага все още е сравнително ниско спрямо отчетеното през април, но по-високо от това, изчислено за май. Наблюдава се рязко нарастване в микровълновото отражение от водната компонента в почвата през юли 2015. Това нарастване най-вероятно се свързва с валежна обстановка, възникнала непосредствено преди времеви момент t_2 . В подкрепа на тази хипотеза е струпването на стойности близо до 1 в хистограмата на растера. През август 2015, стойностите на RSMI са сходни с представителните за юни. През вегетационния период на 2016, след резкия спад, отчетен през май, започва стабилизация в съдържанието на влага в почвата.

Анализът на композитните растери показва ясна тенденция към запазване на влагата в почвата в най-ниските форми на релефа в началото на лятото. Фиг. 25 съдържа RGB композити, образувани при комбинирането на три растерни слоя, представлящи относителното съдържание на влага в почвата. Червеният канал представя изследвания период през април, зеленият показва периода от май, а синият респективно показва стойностите, отчетени през юни. Поради най-ниските стойности на индекса през май, зеления цвят в композитното изображение почти отсъства. Като цяло, микровълновото отражение през април е доминиращо, докато стойностите на отражението през юни са най-високи в тези територии, които са разположени в най-ниските релефни форми. Подобна зависимост се отчита и за Източните Родопи (Фиг. 26).



Фиг. 25. DEM и композитен растер, показващ сезонното проявление на влагозадържащия капацитет на почвите в Сакар



Фиг. 26. DEM и композитен растер, показващ сезонното проявление на влагозадържащия капацитет на почвите в Източните Родопи

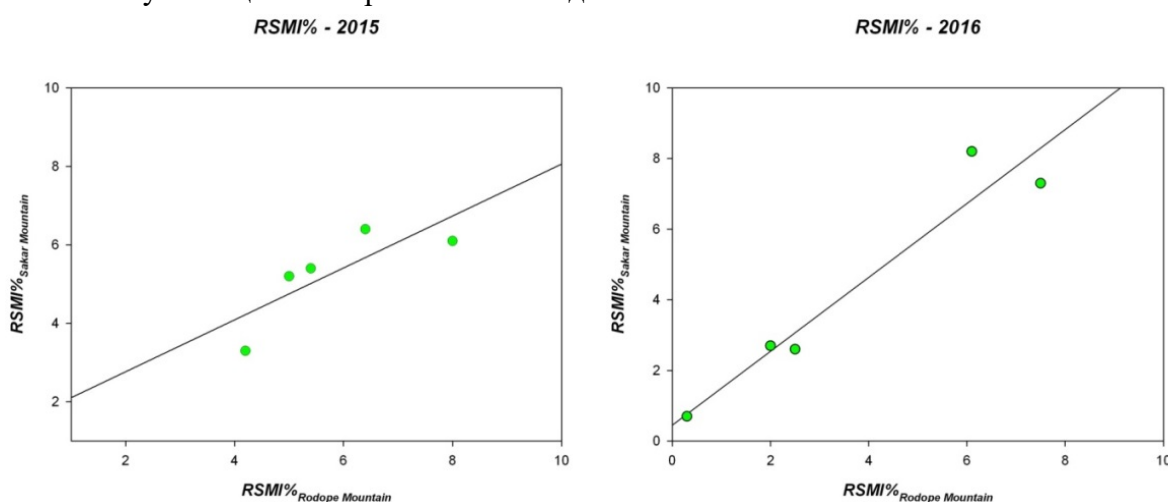
Вследствие на получените резултати, могат да се изведат предположения по отношение на влагозадържащия капацитет на различни почвени разновидности, представителни за изследваните тестови участъци. От фиг.25 и фиг.26 може да се заключи, че през април, почвените разновидности в Сакар планина се отличават с по-добър капацитет за задържане на влага от тези в Родопите. Разликата в стойностите на RSMI за двата участъка е около 20% през този месец. Май е месецът с най-неблагоприятни условия по отношение на почвената влага. След влошеното състояние през май обаче, през следващите месеци, почвите и в двата участъка се характеризират със сходен капацитет по отношение на техните функции за задържане на влага.

По отношение на изследваните години, резултатите свидетелстват за по-неблагоприятни условия през 2015 в сравнение с 2016 г. Стойностите на RSMI през април 2015 са шест пъти по-ниски в Сакар планина и 10 пъти по-ниски в Родопите от стойностите на RSMI, изчислени за април 2016. В края на вегетационния период, през същата година (2015), стойностите на RSMI за двата тестови участъка са 2,5 пъти по-ниски от тези, изчислени за 2016 г.

Корелационна зависимост

За да се верифицира приложността на RSMI е изчислен корелационен коефициент, показващ зависимостта между стойностите на индекса, получени за 2015 и 2016 г.

На Фиг. 27 са показани корелацията между стойностите на RSMI, отчетени за тестовите участъци в Сакар планина и Родопите.



Фиг. 27. Коефициент на корелация R^2 за двата тестови участъка (Сакар и Източни Родопи) през 2015 и 2016 г.

Коефициентът на корелация R^2 за двете изследвани години се характеризира с много високи стойности - $R^2 = 0.963$ за 2015 и $R^2 = 0.799$ за 2016. Тези резултати свидетелстват, че предложеният индекс е приложим за различни територии и почвени разновидности, отличаващи се с различни характеристики на механичния състав на почвата. Предполага се, че отчетливо високите стойности за 2015 ($R^2 = 0.963$) в корелацията между двата тестови участъка се свързва също и с по-стабилно по отношение на климатичните условия състояние. Получените резултати показват, че стойностите на RSMI за периода на изследване, след спада в микровълновото отражение (респективно на влагата, съдържаща се в почвата), отчетени през май 2015 са критично ниски. RSMI варира между 0,07 през май и 2,7 през юни (с изключение на юли, когато се наблюдава валежна обстановка непосредствено преди времеви момент

t_2), докато стойностите на RSMI през 2016 варират между 3,3 през май и 6,4 през август. Следователно, може да се заключи, че ниските стойности на RSMI, изчислени за 2015 г. се определят от ясно проявено и стабилно засушаване. Този фактор допринася също така за изключително високите стойности на коефициента на корелация R^2 . От тук, може да се приеме, че RSMI е особено подходящ за оценка на динамиката и относителното съдържание на влага в почвите в районите, които се отличават със засушаване.

Изчисляването на корелационния коефициент служи като метод за валидация, но въпреки това е препоръчително прилагането на теренни методи за валидация. Валидирането на RSMI с използването на теренни данни ще позволи определянето на точността на предложения индекс.

В заключение може да се каже, че изчисляването на RSMI може да бъде използвано като метод за оценка на относителното съдържание на влага в почвата и определянето на неговата динамика за даден период.

Сред предимствата на RSMI е възможността за измерване на обемното съдържание на влага в почвите по отношение на отминал период. Данните от тези оценки представляват ценна информация за разработването на прогнозни модели за открояване на измененията, които се очакват да настъпят в ландшафтната структура в условия на екологични изменения (динамика на влагосъдържанието в почвата). В този смисъл, RSMI може да послужи при: екологичното планиране; в прогнозирането на катастрофични явления (напр. наводнения, пожари и т.н.); за определяне на засегнатите от засушаване райони; за открояване на най-податливите на засушаване и опустиняване територии.

Предложеният подход с използване на модел за оценка на относително съдържание на влага в почвата позволява да се оцени начина, по който реагират екосистемите и техните компоненти в изменящи се условия. Пример за това е оценката на капацитета на почвените частици от различни почвени разновидности да задържат влага. Начините, по които реагират екосистемите могат да бъдат различни в зависимост от природните особености на територията.

Прилагането на композитни растери на базата на SAR изображения е подходящ метод за визуализация и анализ на пространственото проявление на динамиката в съдържанието на влага в почвата. Предложената техника може да бъде полезна за различни приложения, включително валидиране на получените резултати, тъй като пространственото разпределение на дадено явление зависи от физичните взаимозависимости, наблюдавани в ландшафтната структура.

RSMI е приложим за различни територии и почвени разновидности, отличаващи се с разнообразен механичен състав и особено подходящ за оценка на динамиката и относителното съдържание на влага в почвата в сухите райони. В подкрепа на това становище са получените високи стойности на корелация, изчислени за 2015 г., отличаваща се с отчетливо засушаване.

Може да се обобщи, че методите за дистанционни изследвания и прилагането на SAR - базирани техники са подходящи за оценка на съдържанието на влага в почвата и неговата динамика и също така са подходящи за използване в различни приложения с екологична насоченост.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В заключение от проведените оценки и анализи може да се изведат следните становища относно деградационни процесите, водещи към опустиняване в югоизточната част на страната.

1. Климатът е основният фактор, оказващ въздействие върху деградационните процеси водещи към опустиняване. С второстепенно значение е степента на антропогенна натовареност или стреса, предизвикан от човешката дейност. Растителността като фактор е трета по значение за развитието на деградационни процеси, водещи към опустиняване. Земите с потенциален риск от опустиняване обхващат 89% от територията на обл. Хасково, земите уязвими към опустиняване – около 11%, а земите оценени като критични по отношение на опустиняването заемат около 0,5% от територията на областта.
2. Силно изразеното засушаване през вегетационния период, зачестяването на неблагоприятните природни явления (в частност пожарите) и навлизането на средиземноморски видове в биотата на областта свидетелстват за доближаването на характера на климата към типичния за района на Средиземноморието.
3. За динамиката в състоянието на растителността и свързаните с нея деградационни процеси допринася слънчевата активност и характера на нейното проявление. Наблюдават се периоди със силно изявено засушаване с продължителност около четири години, вероятно свързани с квази двугодишната осцилация и респективно с проявлението на общата атмосферна циркулация и съответно на цикло-генезиса.
4. Използването на ТСТ и анализът на характеристиките на отражението на компонентите на ТС (soil brightness, greenness, wetness), в съчетание с прилагането на модифициран анализ на вектора на изменението mCVA показва, че може да служи за прецизно количествено определяне и оценка на степента изменението в земното покритие.
5. Обусловените от климатичния фактор изменения на земната покривка в полупланинските територии на обл. Хасково се свързват с нарастване на площта на откритите почви в териториите, типично заети от растителност. Степенна на изменение достига до 50% за периода от 2000 до 2011 г..
6. Наблюдава се обща тенденция за рязък спад на отчетените стойности на относителното съдържание на влага в различни почвени разновидности през Май – стресов фактор за на растителността, в активния период на развитие.
7. Прилагането на композитни растери на базата на SAR изображения е подходящ метод за визуализация и анализ на пространственото проявление на динамиката в съдържанието на влага в почвата. Предложената техника може да бъде полезна за различни приложения, включително валидиране на получените резултати, тъй като пространственото разпределение на дадено явление зависи от физичните взаимозависимости, наблюдавани в ландшафтната структура.
8. Отчетените изменения в състоянието на изследваните ландшафтни компоненти и в проявлението на процесите, протичащи в геосистемата водят до изменения в хоризонталната и вертикална структура на ландшафтите. Динамиката и

интензивността на измененията в структурата на ландшафтите на територията на обл. Хасково са свидетелство за обвързаността на процеса с бистабилната динамика на екосистемите и тяхното преминаване от едно стабилно състояние в друго. В процесът на трансформация, външни за системата фактори като повишаване на степента на засушаването, редуциране на валежите през вегетационния период, интензифициране на природните катаклизми и неадекватното териториално управление могат да създадат система само с едно стабилно състояние на опустиняване.

ПРИНОСИ НА ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Разработена и приложена комплексна методика на базата на оптични и SAR спътникови данни за оценка на деградационни процеси, водещи към потенциален риск от опустиняване.
2. Получени са нови резултати на базата на синтезиране и прилагане на нови подходи за оценка на тенденциите в изменението на относителното съдържание на влага в почвата – въвеждане и прилагане на нов индекс (RSMI), използващ SAR данни, както и за динамиката на състоянието на растителността в зависимост от компонентите на ТСТ и прилагане на mCVA.
3. Получени са данни за динамиката на растителността в зависимост от прояви на цикличност в процеса на засушаване свързан с изменения в слънчевата активност.
4. Създадена е гео база данни от спътникови изображения (в оптичния и микровълнов диапазон) с много висока честота на повторение (SAR данни) и резултати, свързани с процесите на деградация и опустиняване.

ПУБЛИКАЦИИ НА АВТОРА, СВЪРЗАНИ С ДИСЕРТАЦИОННИЯ ТРУД

1. Avetisyan D, Nedkov R, Velizarova E., (2017), Integrative Assessment of the Haskovo Region's Lands In Terms Of Environmentally Sensitive to Desertification Areas (ESAS). Ecological Engineering and Environment Protection, No 1, pp. 20 – 30, ISSN 1311 – 8668
2. Avetisyan D, Nedkov R. (2017), Tracing Dynamics of Relative Volumetric Soil Moisture Content Using SAR Data. Fifth International Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017), Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid, Vincent Ambrosia, Gunter Schreier, Diofantos G. Hadjimitsis, Eds., Proc. of SPIE Vol. 10444, 1044410, doi: 10.1117/12.2277506
3. Avetisyan D, Nedkov R., Gotchev D. (2015.) Forest Vegetation State and Dynamics in the Haskovo Region (Bulgaria) – a Research Based on Vegetation Indices, Climate and Solar Activity Data. Ecological Engineering and Environment Protection, No 2, pp. 41 – 51, ISSN 1311 – 8668
4. Avetisyan D, Nedkov R. (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, pp. 4637 – 4640, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326862, Published by IEEE

БИБЛИОГРАФИЯ

- 1 Александров В. 2005. Върху почвеното засушаване в България. - Тематични доклади по проект 00043507 "Изграждане на капацитет за устойчиво управление на земите в България".
- 2 Асенов А. 2006. Биогеография на България. София
- 3 Бондев И. 1991. Растителността на България. Университетско издателство „Св. Климент Охридски“
- 4 Велев, С. 1974. Върху интензивните вележи в Източните Родопи. Изв. ГИ - БАН, 16, , 75-91
- 5 Добринкова Н., 2012. Информационни системи за симулиране на поведението на горски и полски пожари. Дисертационен труд, Институт по математика и информатика, БАН, София
- 6 Йорданова, М., 1972. Върху вътрешногодишните колебания на оттока във водосбора на Арда. Изв. ГИ – БАН 15, 51-73
- 7 Койнов В., Гюров Г., Фотакиева Е. ,1974. Почвено-географско райониране на България. Изд. На БАН, София
- 8 Лазаров, А., С.Русева, В.Стефанова, Е.Цветкова, И.Малинов. 2002. Географска база данни и оценка на различни модели за прогнозиране на ерозията за целите на почвената информационна система. Окончателен отчет на научноизследователска разработка по договор №1108-2556, ИП"Н.Пушкарров"МОСВ.
- 9 Велев, С. 1974. Върху интензивните вележи в Източните Родопи. Изв. ГИ - БАН, 16, , 75-91
- 10 Йорданова, М., 1972. Върху вътрешногодишните колебания на оттока във водосбора на Арда. Изв. ГИ – БАН 15, 51-73
- 11 Койнов В., Гюров Г., Фотакиева Е. ,1974. Почвено-географско райониране на България. Изд. На БАН, София
- 12 Лазаров, А., С.Русева, В.Стефанова, Е.Цветкова, И.Малинов. 2002. Географска база данни и оценка на различни модели за прогнозиране на ерозията за целите на почвената информационна система. Окончателен отчет на научноизследователска разработка по договор №1108-2556, ИП"Н.Пушкарров"МОСВ.
- 13 Мардироян Г., 2003. Аерокосмически методи в екологията и изучаването на околната среда. Акад. Издателство " Марин Дринов", София, 2003, ISBN 954-430-939-X
- 14 Мардироян Г., 2012. Въведение в космонавтиката - изучаване, превенция, защита. Акад. Издателство " Марин Дринов", София, 2012. ISBN 978-954-322-519-4
- 15 Миланова Й., Аветисян Д., Недков Р. 2014. Сравнителен анализ на състоянието и динамиката на земеделска и горска растителност на базата на спътникови и наземни данни. Научна конференция „География и регионалистика“, 30-31 октомври 2014г., Пазарджик. Сборник доклади, 145-151. ISBN 978-954-9531-25-1
- 16 Нам, К., 2003. Природна география на България. Мараш, Геосфера
- 17 Русева С., Лозанова Л., Некова Д., Стефанова В., Джоджов Х., Цветкова Е., Малинов И., Крумов В., Чехларова-Симеонова С.2010. Риск от ерозия на почвата в България и препоръки за почвозащитно ползване на земеделските земи. Част II Южна България. Селскостопанска Академия. Институт по Почвознание „Никола Пушкарров“. София

- 18 Русева, С. 2006. Деградация на почвите от земеделските земи. - Дискусионен доклад по проект 00043507 "Изграждане на капацитет за устойчиво управление на земите в България", София
- 19 Теохаров М. 2004. Корелация на почвите, отразени в картата и класификацията на България със световната референтна база. Почвознание, агрохимия и екология, кн.4, 3-13.
- 20 Топлийски, Д. 2006. Климат на България. Фондация Амстелс. София (in Bulgarian)
- 21 Adams ME. 1996. Savanna environments. In: Adams WM, Goudie AS, Orme AR, editors. The physical geography of Africa. Oxford: Oxford University Press; p. 196–210.
- 22 Avetisyan D, Nedkov R, Velizarova E., 2017. Integrative Assessment of the Haskovo Region's Lands In Terms Of Environmentally Sensitive to Desertification Areas (ESAS). Ecological Engineering and Environment Protection, No 10, pp. 20 – 30, ISSN 1311 – 8668
- 23 Avetisyan D, Nedkov R. 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, pp. 4637 – 4640, DOI: 10.1109/IGARSS.2015.7326862, Published by IEEE
- 24 Avetisyan D, Velizarova E., Nedkov R. (2017), Tracing Dynamics of Relative Volumetric Soil Moisture Content Using SAR Data. Fifth International Conf. on Remote Sensing and Geoinformation of the Environment (RSCy2017), Kyriacos Themistocleous, Silas Michaelides, Giorgos Papadavid, Vincent Ambrosia, Gunter Schreier, Diofantos G. Hadjimitsis, Eds., Proc. of SPIE Vol. 10444, 1044410, doi: 10.1117/12.2277506
- 25 Avetisyan, D., Nedkov, R. and Gotchev, D. 2015. Forest Vegetation State and Dynamics in the Haskovo Region (Bulgaria) – a Research Based on Vegetation Indices, Climate and Solar Activity Data. Ecological Engineering and Environment Protection, No 2, pp. 41 – 51
- 26 Baez S, Collins SL, Lightfoot D, Koontz T. 2006. Effects of rodent removal on community dynamics in desert grassland and shrubland vegetation. *Ecol* ;87:2746–54.
- 27 Baghdadi, N., Holah, N. and Zribi, M., 2006. Soil moisture estimation using multiincidence and multipolarization ASAR data. *Int. J. Remote Sens.*, 27, 1907-1920.
- 28 Barrett, B.W., Dwyer, E. and Whelan, P., 2009. Soil Moisture Retrieval from Active Spaceborne Microwave Observations: An Evaluation of Current Techniques. *Remote Sens.*, 1(3), 210-242, (2009) doi:10.3390/rs1030210
- 29 Burke EJ, Brown SJ, Christidis N. 2006. Modeling the recent evolution of global drought and projections for the twenty-first century with the Hadley Centre Climate Model. *J Hydrometeorol* 2006;7:1113–25.
- 30 D’Odorico P, Caylor K, Okin GS, Scanlon TM. 2007. On soil moisture–vegetation feedbacks and their possible effects on the dynamics of dryland ecosystems. *J Geophys Res* ;112:G04010. <http://dx.doi.org/10.1029/2006JG00037>.
- 31 D’Odorico P., Bhattachan A., Davis K.F., Ravi S., Runyan C.W. 2013. Global desertification: Drivers and feedbacks. *Advances in Water Resources* 51, pp.326 - 244
- 32 Dillon M, McNellie M, Oliver I. 2011. Assessing the Extent and Condition of Native Vegetation in NSW. Monitoring, evaluation and reporting program, Technical report series, Office of Environment and Heritage, Sydney, 2011
- 33 Dregne HE, Chou NT. 1992. Global desertification dimensions and costs. In: Dregne HE, editor. Degradation and restoration of arid lands. Lubbock, TX: Texas Tech. University; 1992. p. 249–82.

- 34 Fraedrich K, Kleidon A, Lunkeit F. 1999. A green planet versus a desert world: estimating the effect of vegetation extremes on the atmosphere. *J Clim* ;12:3156–63.
- 35 Holah, N., Baghdadi, N., Zribi, M., Bruand, A. and King, C.,2005. Potential of ASAR/ENVISAT for the characterization of soil surface parameters over bare agricultural fields. *Remote Sens. Environ.*, 96, 78-86.
- 36 <http://www.lmsal.com/isolsearch>
- 37 <http://www.ugamp.nerc.ac.uk/hot/ajh/qbo.htm>
- 38 <http://spirits.jrc.ec.europa.eu/>
- 39 http://www.climatedata.info/Forcing/Forcing/sunspots_files/BIGw04-sunspots-and-cosmic-radiation.gif.gif
- 40 <https://climatedataguide.ucar.edu/climate-data/qbo-quasi-biennial-oscillation>
- 41 http://www.climatedata.info/Forcing/Forcing/unspots_files/BIGw02-sunspots-and-solar-irradiance.gif.gif
- 42 Huenneke LF, Anderson JP, Remmenga M, Schlesinger WH. 2002. Desertification alters patterns of aboveground net primary production in Chihuahuan ecosystems. *Global Change Biol* ;8(3):247–64.
- 43 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). Summary for policymakers. 2007. In: Solomon et al., editors. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, New York: Cambridge Uni. Press; 2007. p. 1–
- 44 Kogan F. 1995. Droughts of the Late 1980s in the United States as Derived from NOAA Polar – Orbiting Sattelite Data. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 1995
- 45 Kosmas C, Poesen J., Briassouli H.1999. :In: *The Medalus project Mediterranean desertification and land use. MEDALUS Final Report. Commission of the European Communities. Project ENV4 CT 95 0119 European environment and climate research programme Theme: Land resources and the threst of desertification and soil erosion in Europe*
- 46 Lepers E et al.2005. A synthesis of information on rapid land-cover change for the period 1981–2000. *BioScience* 2005;55:115–24.
- 47 Lillesand M., R. W. Kiefer, and J.W. Chipman. 2007. *Remote Sensing and Image Interpretation*, 6 ed., John Wiley & Sons, Inc., NJ – USA,
- 48 MEA. 2005. *Millennium Ecosystem Assessment, Ecosystems and Human WellBeing: Desertification Synthesis*. Washington DC: World Resource Institute;
- 49 Milanova Y., Mateeva Z. 2014. A Multidisciplinary Approach to Study Climate-Determined Productivity of Agricultural Crops. In *CD Proceedings, XXIV International Symposium on Modern technologies, education and professional practice in geodesy and related fields*, Sofia, November 6-7, 2014. ISSN 2367-6051, 2014
- 50 Moran, M.S., McElroy, S. Watts, J.M. and Peters Lidard, C.D. 2006. Radar remote sensing for estimation of surface soil moisture at the watershed scale. *Proc. of ARS/INIFAP Binational Symposium on Modeling and Remote Sensing in Agriculture*, 91–106 (2006).
- 51 Nedkov R. 2017.Orthogonal Transformation of Segmented Images from the Satellite Sentinel-2. *Comptes rendus de l'Acade'mie bulgare des Sciences*, Vol 70, No5, pp.687-692
- 52 Okin GS, D'Odorico P, Archer S. 2009. Impact of feedbacks on Chihuahuan desert grasslands: transience and metastability driven by grass recruitment. *J Geophys Res* 2009;114:G01004. <http://dx.doi.org/10.1029/2008JG000833>.

- 53 Rengasamy P. 2006. World salinization with emphasis on Australia. *J Exp Bot*;57(5):1017–23.
- 54 Reynolds JF, Stafford Smith DM.2002. Do humans cause deserts? In: Reynolds JF,Stafford Smith DM, editors. *Global Desertification. Do Humans Cause Deserts?* Dahlem Workshop Series, vol. 88. Berlin: Dahlem University Press; 2002, p. 1–21.
- 55 Ripley EA. 1976. Drought in the Sahara: insufficient biogeophysical feedback? *Science* 1976;191:100–1.
- 56 Rousseva, S. M. Banov, N. Kolev. 2003. Some Aspects of the Present Status of Land Degradation in Bulgaria. In: *Land Degradation in Central and Eastern Europe* R.J.A. Jones and L. Montanarella (eds.). European Soil Bureau Research Report No.10, EUR 20688 EN, (2003), 324 pp. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- 57 Rozema J, Flowers TJ. 2008. Crops for a salinized world. *Science* 2008;322(5907):1478–80.
- 58 Satalino, G., Mattia, F., Davidson, M.W.J., Thuy Le, T., Pasquariello, G. and Borgeaud, M.,2002. On current limits of soil moisture retrieval from ERS-SAR data. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, 40, 2438-2447.
- 59 Schowengerdt R. A. 2007. *Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing*, 3 ed., Elsevier, NewYork.
- 60 Seager R, Ting MF, Held I, Kushnir Y, Lu J, Vecchi G, et al. 2007. Model projections of an imminent transition to a more arid climate in southwestern North America. *Science* 2007;316:1181–4.
- 61 Sellers, P. J. 1987. Canopy Reflectance, Photo-synthesis and Transpiration. II. The Role of Biophysics in the Linearity of their Interdependence. *International Journal of Remote Sensing*, 21, 143–183, 1987
- 62 Sellers, P. J., Berry, J. A., Collatz, G. J., Field, C. B., Hall, F. G.1992. Canopy Reflectance, Photosynthesis and Transpiration. III. A Reanalysis Using Improved Leaf Models and a New Canopy Integration Scheme. *International Journal of Remote Sensing*, 42, 187–216, 1992
- 63 Sheffield J, Andreadis KM, Wood EF, Lettenmaier DP. 2009. Global and continental drought in the second half of the twentieth century: severity-area-duration analysis and temporal variability of large scale events. *J Clim* 2009;22:1962–81.
- 64 Shoshany, M., Svoray, T., Curran, P.J., Foody, G.M. and Perevolotsky, A., 2000. The Relationship between ERS-2 SAR Backscatter and Soil Moisture: Generalization from a Humid to Semi-arid Transect. *Int. J. Remote Sensing*. vol. 21, no. 11,2337–2343
- 65 Taylor CM, Lebel T. 1998. Observational evidence of persistent convective-scale rainfall patterns. *Mon Weather Rev* ;126(6):1597–607.
- 66 Ulaby, F.T. and Batlivala, P.P., 1976. Optimum radar parameters for mapping soil moisture. *IEEE Trans. Geosci. Electron.*, 14, 81-93.
- 67 Ulaby, F.T., Dobson, M.C. and Bradley, G.A.,1981. Radar reflectivity of bare and vegetation-covered soil. *Adv. Space Res.*, 1, 91-104(1981).
- 68 Van Auken OW.2000. Shrub invasions of North American semiarid grasslands. *Annu Rev Ecol Syst* ;31:197–215.
- 69 Verón SR, Paruelo JM, Oesterheld M. 2006. Assessing desertification. *J Arid Environ* ;66:751–63.
- 70 Walker BH, Ludwig D, Holling CS, Peterman RM. 1981. Stability of semi-arid savanna grazing systems. *J Ecol* ;69:473–98.

71 Walker BH, Salt D. 2006. Resilience thinking: sustaining ecosystems and people in a changing world. Washington, DC: Island Press.

72 Zika M, Erb K. 2009. The global loss of net primary production resulting from human induced soil degradation in drylands. *Ecological Economics* 69(2); pp. 310-318.