



СОФИЙСКИ УНИВЕРСИТЕТ  
„СВ. КЛ. ОХРИДСКИ“  
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ  
КАТЕДРА „МЕТЕОРОЛОГИЯ И ГЕОФИЗИКА“

---

**Екстремни прояви на времето в Югоизточна  
Европа: наводнения 2014 г.**

МАГИСТЪРСКА ДИПЛОМНА РАБОТА

на

Габриела Ангелова Тепсизова

ф.н. 360400

Научен ръководител:

/доц. д-р Г. Герова/

Ръководител катедра:

/доц. д-р Н. Рачев/

София Април 2017

---

# Съдържание

<b>1 Увод</b>	<b>6</b>
<b>2 Наводнения - видове и географско разпределение</b>	<b>8</b>
2.1 Видове наводнения . . . . .	9
2.2 Класификация на наводненията . . . . .	12
2.3 Наводнения в световен мащаб . . . . .	14
2.4 Наводнения в Европа . . . . .	20
2.5 Наводнения в Югоизточна Европа и България . . . . .	25
<b>3 Спътникovi и наземни наблюдения</b>	<b>31</b>
3.1 Синоптични обстановки 2014 . . . . .	31
3.2 Спътникова система ГРЕЙС . . . . .	37
3.3 Наземни наблюдения . . . . .	38
3.4 Водна пара от наземната ГНСС мрежа . . . . .	38
3.5 Индекси на климатична изменчивост . . . . .	40
<b>4 Изследване на връзките между елементите на хидрологичния цикъл през 2014 г.</b>	<b>42</b>
4.1 Аномалии на валежите, температурата, водната пара и никота на водата в почвата . . . . .	42
4.2 Дългосрочни тенденции . . . . .	49
4.3 Връзка между елементите на хидрологичния цикъл в България и индексите на крупномащабна климатична променливост	51
<b>5 Заключение</b>	<b>64</b>

# Списък на фигуранте

2.1	Фактори водещи до образуване на наводнения . . . . .	11
2.2	Инфильтрационна вариация на почвените текстури (web, a) .	16
2.3	Разпределение на годишните суми на валежите от 1988 до 2004 г. (web, c) . . . . .	19
2.4	Графика на опустошителните наводнения в Европа от 1980 до 2010 г. (web, q) . . . . .	21
2.5	Брой наводнения през 1998 - 2008 г. (web, s) . . . . .	22
2.6	Причини за щети в Европа от 1980 до 2015 г. (web, n) . . . .	22
2.7	Изображение на най-застрашените територии от наводнения по река Дунав (12.01.17г) (web, b) . . . . .	24
2.8	Графика на валежите през месец май 2014 г. (web, i) . . . .	27
2.9	Наводнените територии на Босна и Херцеговина, Сърбия и Хърватия (web, r). . . . .	28
2.10	Спътникова снимка на наводнен район Обреновац (web, o) и снимка на наводнен район Обреновац (web, h). . . . .	28
3.1	Карта на България показваща наводненията през 2014 г.: C1 (27.01) - сив цвят; C2 (19.04) - лилав цвят; C3 (24-25.04) - черен цвят; C4 (28-31.05) - кафяв цвят; C5 (4-6.06) - светло син цвят; C6 (15.06) - розов цвят; C7 (19-20.06) - тъмно син цвят; C8 и C9 (30-31.07 и 1-2.08) - зелен цвят; C10 (2-7.09) - жълт цвят; C11 (23-25.10) - оранжев цвят; C12 (4-6.12) - светло лилав цвят. . . . .	32
3.2	Спътникова система ГРЕЙС с показаните два спътника близнаци и микровълновата връзка между тях (web, k). . . . .	37

4.1 Средномесечни: а) количество валеж в [mm] и б) температура в [° C ] за периода 2003 - 2015 г. (червен стълб), сравнени с 2014 г. (син стълб) в София. . . . .	44
4.2 Месечни аномалии: а) на валежа [mm] и б) температурата [° C ] за 2005, 2007 и 2014 г. . . . .	46
4.3 Сравнение на средните годишни данни за нивото на водите в почвата [cm] от трите центъра - AIUB, CNES и CSR с координати София,(42.75 N, 23.36 E) за 2003 - 2015 г. . . . .	47
4.4 Аномалия на нивото на водата в почвата [cm] за периода 2003-2015 г. Със синя линия са аномалиите от център CNES, зелената линия от център AIUB, а оранжевата от център CSR (web, m). . . . .	48
4.5 Месечна аномалия на водната пара в [ $kg/m^2$ ] за 2005, 2007 и 2014 г. изчислени за периода 2003 - 2015 г. . . . .	49
4.6 Дългосрочни тенденции с филтриран сезонен ход на валежа, температурата и водното количество в почвения слой от 2003 до 2015 г. . . . .	50
4.7 Кроскорелация на редиците от средномесечни стойности на валежите с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	55
4.8 Кроскорелация на аномалиите на валежите с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	56
4.9 Кроскорелация на редиците от срдномесечни стойности на температурата с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	57
4.10 Кроскорелация на аномалиите на температурата с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN. . . . .	58
4.11 Кроскорелация на редиците от срдномесечни стойности на водната пара с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	59
4.12 Кроскорелация на аномалиите на водната пара с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	60
4.13 Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от AIUB с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	61
4.14 Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от CNES с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . .	62

4.15 Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от CSR с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN . . . . . 63

# Списък на таблиците

2.1	Брой на наводнения в България за периода 2010 - 2015 г. . . . .	30
3.1	Синоптични обстановки с наводнения през 2014 г. . . . .	33
3.2	Продължение на таблица 3.1 . . . . .	34
3.3	Продължение на таблица 3.1 . . . . .	35
3.4	Продължение на таблица 3.1 . . . . .	36

# Глава 1

## Увод

Наводненията се получават в резултат на повишаване на нивото на водата в речен басейн, езеро, море или океан вследствие на проливни дъждове, топене на снегове, скъсване на язовирна стена, образуване на цунами или потъване на части от сушата. През последните години се наблюдава тенденция за нарастване на броя на наводненията в световен мащаб, което се свързва с климатичните промени. Познаването на механизмите на тяхната проява и териториалните им особености са от изключителна важност за стопанската практика на територията на България, тъй като те водят до значителни социално-икономически и екологични загуби. Актуалността на изследването се подчертава от факта, че зачестилите през последните години разрушителни наводнения и последващите ги бедствени ситуации, нанесоха огромни материални щети и причиниха икономически загуби на населението в различни градове от цялата страна. Наводненията в Югоизточна Европа през 2014 г. са с особено големи социално-икономически последствия като в Сърбия оценката на загубите надхвърля 1 млрд. евро, а в България оценката за щетите на Националният статистически институт е за над 170 млн. лева. В Румъния 125 села и 10 000 жители са засегнати от наводнения през 2014 г., а в Хърватия, десетки хиляди хора са евакуирани от домовете си по теченията на реките Сава, Босна и Уна. Целта на тази дипломна работа е да се направи количествена оценка на аномалиите на температурата, валежа, водната пара и нивото на водата в почвата за 2014 г. За постигането на целта са използвани наблюдения от наземни и спътникови източници за периода 2003 - 2015 г., а също и 4

индекса на климатична изменчивост. Разглежданите наводнения в България са свързани с 12 синоптични обстановки, от които три през юни, две през април и по една през януари, май, юли, август, септември, октомври и декември.

Дипломната работа е разделена на 5 глави - първата глава включва увод; втората глава обяснява видовете наводнения, класификацията им и появата, разпределението и развитието на наводненията в световен мащаб, Европа и България; третата глава синтезира методите и използваните данни; четвъртата глава е свързана с резултатите и анализите от изследването и петата глава е заключителна.

Настоящата дипломна работа използва нови за България спътникovi продукти, които биха били от полза за системата за ранно предупреждение от наводнения.

## Глава 2

# Наводнения - видове и географско разпределение

Наводнение се нарича временно заливане на дадена земна местност или територия с голямо количество вода вследствие на повишаване на нивото на река, езеро, море или океан. Причините за повишаване на нивото на тези водни басейни могат да бъдат различни - проливни дъждове, топене на снегове, скъсване на язовирна стена, образуване на цунами, или потъване на части от сушата. Наводнения могат да се получат и от различни селскостопански дейности като напояване, ерозия на почвата, дренажи и други. В много случаи се наблюдава и комбинирано въздействие на тези и други фактори. При тези случаи екокатастрофите се дължат на повърхностни води. Има и води, които са под повърхността на земята - подземни, които също причиняват разрушения на склонове, образуване на свлачища и водят до наводнения на различни райони. Сами по себе си наводненията представляват заплаха не само за сигурността на населението в наводнения район, а и за сигурността на цялата държава. Това природно бедствие обаче е най-известното и добре изучено, което дава шанс за неговото прогнозиране, с цел намаляване на щетите и жертвите.

## 2.1 Видове наводнения

Наводненията възникват по различни причини и по различни начини. Най-често стават наводнения от т.нар. дъждовно-речен тип. Те се причиняват от падналото количество валеж върху водосбора на река, чието речно корито не може да побере тези водни маси в границите си. Водата излиза от речното корито и залива големи пространства в речните долини и низини. Водното количество ( $Q$ ) и обем ( $W$ ) са едни от основните хидрологични характеристики. Те са променливи величини през годините и с големи различия при отделните реки. Водното количество представлява обемът вода, който преминава през напречното сечение на реката за една секунда. Измерва се в  $m^3/sec$  и се изчислява за денонощие, месец или година. Стойностите на водното количество се определят на основата на измерванията на скоростта и напречното сечение на дадена река. Водният обем е сумарното количество вода, което протича през напречното сечение за определен период от време. Друга важна хидрологичка характеристика, която се отчита и има основно значение е отточната височина ( $H$ ). Тя представлява дебелината на пласт, който би се получил, ако се разлее водния обем върху площта на речния басейн. Измерва се в mm. Тези характеристики се използват най-често за да се опише хидрологичката обстановка при наводнение на определена територия (Христова, Н., 2009).

От друга страна при валеж, дъждовните капки ускоряват ерозията на почвата, а също така формират склонов оток, който отнася изветрели почвени продукти от речния басейн, към коритото, което допълнително причинява щети. По този начин проливните дъждове имат основна роля за образуването на наводнения.

Валежите са основен източник на вода в реките. Те увеличават водните обеми в речните корита в зависимост от своето количество - при равни други условия по-големите валежни суми формират по-голям речен отток, а именно - количеството вода, преминаваща през напречното сечение за определен период от време.

Количеството валеж, което пада за единица време, е много важна характеристика и се нарича интензивност- изразява се в mm за 1 min. Тя е и причината за внезапните прииждания на реките, отнасянето на час-

ти от почвения слой, затлачването на язовири и много други. Интензивността освен от количеството паднал валеж, зависи и от температурата, влажността, стратификацията на атмосферата и скоростта на възходящите движения. Най-голяма интензивност имат конвективните валежи. В Европа при дъжд с продължителност от 1 до 5 min може да се отчете интензивност от 3-4 mm/min, а при 2-3 часов валеж - само 0,5 mm/min. В София дъжд с продължителност от 1 до 7 min има интензивност от 2 mm/min, а при времетраене от 18 до 32 min - 0,8 mm/min (*Векилска, Б.*, 2012). Има различни дефиниции за долна граница на интензивните валежите и техните количества. В България се приема 0,18 mm/min (*НИМХ БАН*). От такъв тип са валежите при наводненията в България на река Росица през юни 1939 г., Разград през 1947 г., и много други, на които ще обърнем внимание по-късно в настоящата работа. За да се образува наводнение върху даден речен басейн са нужни метеорологични фактори - валежи, изпарения, температура на въздуха и още множество други фактори, като: релеф, хидроложки условия, залесеност, езерност и блатност, хидрографски особености и антропогенно влияние. Всички те поотделно или съчетани могат да доведат до катастрофални поражения. Графичен пример на съвкупността на различните фактори е показан на фиг. 2.1. Голямо значение има и вида на валежите. Ролята на снега е много важна при всички геофизични и хидроложки процеси. Снежната покривка съдържа големи запаси от вода, която при бързото ѝ топене може да причини мащабни наводнения. Топенето на снежната покривка се осъществява под действието на следните фактори: адвективен приток на топъл въздух, действие на слънчевата радиация и валежите от дъжд при положителни температури. Първият от изброените фактори е основен. Той осигурява около 70 % от топлината за топене на снега. При ясно небе влияние оказва и слънчевата радиация, но повече за замърсен сняг, при който отражателната способност е намалена. Влиянието на слънчевата радиация върху топенето на снега по склоновете с различна експозиция е различно - обикновено снежната покривка по южните склонове се стопява по-рано от тази по северните. Това до някъде е и предпоставка за наблюдение именно на тези райони с цел предотвратяването от наводнения. Опасността от наводнение зависи не толкова от дебелината на снежната покривка, т.е. от



Фигура 2.1: Фактори водещи до образуване на наводнения

количеството на снега, колкото от скоростта и времетраенето на топенето му. Тези два параметъра варират в доста широки граници. За разлика от причинените от проливни дъждове, наводненията вследствие на топенето на снегове, се характеризират не с резки максимуми на нивото на водата, а по-скоро с продължителността на времетраенето на високите нива на водата.

Други типове наводнения са тези от селскостопанската дейност на човека, разрушаване на язовирни стени, аварии в хидротехнически съоръжения и заприщване на речните корита от ледени образования. Последните са характерни за умерените и субарктическите географски ширини на земното кълбо. В някои случаи след разрушаването на леден бент събраната вода се устремява с голяма сила и скорост и също причинява екокатастрофи. Селскостопанската дейност и строителството влияят върху водните басейни пряко или косвено. Те модифицират облика на даден район - разорават или напояват, залесяват или изсичат, застрояват т.н. Всички тези промени биха довели до наводнение, ако не се спазват определени изисквания. Чрез прилагане на методиките разработени в речното инженерство и управле-

нието на почвите вероятността от наводнения може да бъде намалена. Например много язовири са построени по такъв начин, че да намаляват риска от наводнения. В някои случаи в резултат на строежа на големи язовири има промяна в ландшафта, което оказва влияние върху валежа в района (*Seneviratne et al.*, 2012).

Промяната на климата води до промяна на много от факторите, които влияят за образуването на наводнения. Такива са: валеж, снежна покривка, съдържание на почвена влага, морско ниво, състояние на ледниковите езера, растителност и други. Тези промени ще увеличат вероятността от тежки, повсеместни и необратими последици, за които ще бъде трудно да се адаптира населението. Наводненията са дългосрочна и нарастваща заплаха за повечето крайбрежни селища, затова оценката на причините и промените водещи до наводненията е комплексна и трудна задача.

## 2.2 Класификация на наводненията

От всички екологични катастрофи наводненията са най-добре известни на човека. Още от дълбока древност са правени опити за класифицирането им според продължителността, интензивността и естествено, според загубите - броя на човешките жертви и мащабите на нанесените щети (*Мардиросян, Г.*).

Основните параметри на наводненията са доста разнообразни и взаимозависими. Според данни на ООН ежегодно по цялата Земя стават средно по около 10 000 различни наводнения, които имат различни параметри и съответно причиняват различни по вид и размери загуби. Друго изследване разделя наводненията според цикличността и силата им за определени периоди от време (*Мардиросян, Г.*, 1993):

- Локализирани наводнения - нанасят сравнително малки щети. Обхващат неголеми крайбрежни територии. Заливат до 10 % от обработваемите селскостопански територии и почти не влияят на ритъма на живот на хората. Повтаряемост: 10-20 г.
- Опасни наводнения - нанасят значителни щети. Обхващат по-големи крайбрежни територии. Заливат до 20 % от обработваемите селскос-

топански територии. Нарушават ритъма на живот на хората. Възможна е необходимост от евакуация. Повтаряемост: 20-40 г.

- Високо опасни - нанасят големи щети. Заливат до 50 % от обработваемите селскостопански територии. Много опасни за живота на хора и животни. Възможна е необходимост от евакуация. Повтаряемост: 40-80 г.
- Опустошителни - нанасят много големи материални щети. Заливат и унищожават 50 - 70 % от обработваемите селскостопански територии. Нарушават ритъма на живот на хората за дълъг период от време. Провежда се евакуация на населението от засегнатите площи. Довеждат до човешки жертви. Цикличност: 80-150 г.
- Катастрофални - нанасят огромни материални щети. Заливат и унищожават над 70 % от обработваемите селскостопански територии. В залетите райони попадат десетки жилищни, административни и стопански сгради, съоръжения, комуникации и др. Провежда се масова евакуация на населението. Значителен брой човешки жертви. Парализира стопанската дейност. Изменя стандарта на живот на засегнатите райони. Цикличност: 150 - 200 г.

По отношение на параметрите на наводненията могат да се подредят така: честота на повтаряемост, големина, скорост на покачване на водата, продължителност и сезонност.

- Честотата на повтаряемост е важен физичен параметър, който силно въздейства върху хората и тяхната готовност да посрещнат екокатастрофата и да компенсират щетите. Честотата на наводненията в различните райони на Земята е много различна. В районите с умерен климат наводненията стават по един път на няколко години. В други части на Земята честотата на наводненията е изключително ниска - едно наводнение средно на 1000 години.
- Физичните показатели за големината на дадено наводнение са дебитът - в  $m^3/s$ , и нивото - в m на точка, приета за базисна. За различните места "опасното" ниво е различно - от 1 до 3-4 m. Нивото

на всяко наводнение определя дълбината на водата над залетите територии, от която зависят продължителността на бедствието и машабите на загубите.

- Скоростта на покачване на водата представлява увеличаването на нивото на водата за времето от началото на наводнението до достигане на най-високото ниво и характеризира интензивността на еко-катастрофата. Този параметър има важно отношение към броя на човешките жертви, тъй като той определя времето, с което хората разполагат, за да реагират на стихията.
- Продължителността на наводнението може да се мени от няколко минути до месеци. Тя е най-малка, когато наводнението е вследствие на цунами. А когато е причинено от проливни дъждове в басейните на мощните реки или от топенето на огромни снежни маси, продължителността може да е седмици и дори месеци.
- Сезонността на наводненията е един от най-важните параметри, определящи материалните щети и главно загубите в селското стопанство. В този смисъл опасно наводнение се получава, когато имаме унищожена реколта или създадени ненормални условия за растеж. Този тип наводнения са характерни за всички сезони освен през зимата. Зимните наводнения са по-катастрофални за градския, промишления и обществения сектор. Сезонността има отношение и към броя жертви, тъй като по време на наводнения има случаи на загинали от студ хора.

## 2.3 Наводнения в световен машаб

Наводненията са често срещани катастрофални явления за някои части от света, докато за други, те са необходими за да поддържат посевите. Наводненията отнемат най-много човешки животи от всяко друго природно явление. Годишно 40 % от всички смъртни случаи дължащи се на природни бедствия са от наводнения.

Всеки ден, някъде по света вали, но не всеки валеж води до наводнение.

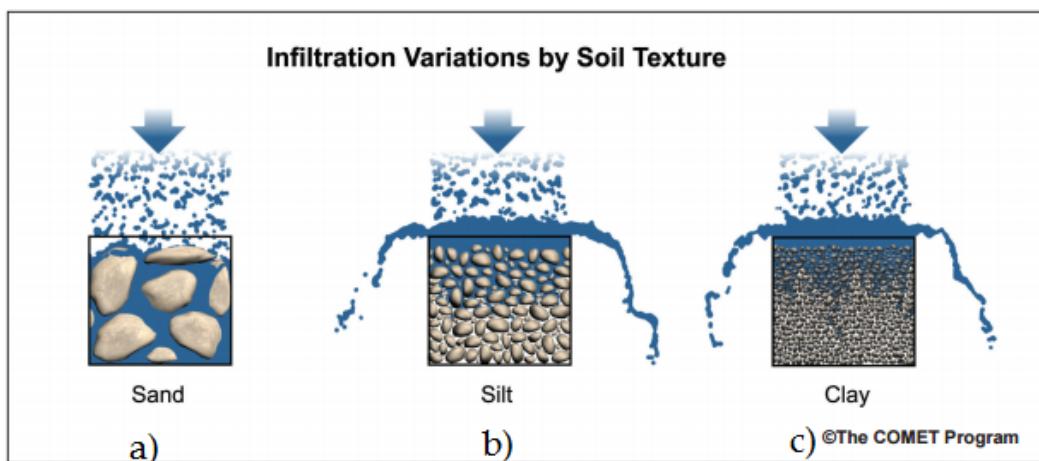
За появата му са необходими специфични метеорологични обстановки, които образуват типични "поройни наводнения". Те представляват внезапни, интензивни валежи върху относително малки или ниско разположени водосбори, за много кратко време (до 6 ч.). Поройните валежи падат обикновено от купесто-дъждовни облаци. Започват и спират внезапно и имат резки колебания в интензивността. Капките, особено в началото на валежа, са много големи. През зимата пороен характер имат снеговалежите от едри снежни кристали. В преходните сезони може да се наблюдават краткотрайни и силни извалявания от суграшица едновременно със сняг и дъжд.

Освен това основен фактор играе и повърхностният земен слой, който ако е пренаситен с вода, не може да абсорбира цялото водно количество (web, a). На фиг. 2.2 е показана инфильтрацията на вода в няколко различни типа почвени текстури. Почвите са важен фактор за образуването на наводнение, защото в зависимост от вида си имат различна водопропускливост, водоемкост и степен на овлажненост. Това са трите най-важни свойства, които трябва да се имат предвид при оценка на риска от внезапни наводнения за дадена територия. С най-голяма водопропускливост са пясъчните почви (карбонатни черноземи, тъмноцветни горски, ливадните и алувиално-ливадните). Те намаляват обема на оттичащата се вода и попълват запасите на подземните води. На фиг. 2.2 b) е показана почва с алевритова текстура. Тя е по-слабо пропусклива и част от валежа не се просмуква, затова и по-лесно може да доведе до наводнение. Този тип почва затруднява проникването на вода, защото е с по-наситена и плътна структура. На фиг. 2.2 c) е показана още един вид глинеста почва, която е много по-плътна и трудно поглъщаща вода. Такива са сивите горски почви, смолниците в котловините и низините и канелените горски почви в планинските водосбори.

Естествено влияние оказва и горската, тревната и храстовата растителност, които имат водорегулиращ ефект, но тяхната роля е незначителна в случаите на проливни валежи и интензивно снеготопене (Христова, Н., 2009).

Почвеното разнообразие по целият свят е голямо и може да бъде предпоставка за откриване и систематизиране на райони с високо или ниско ниво

на опасност от наводнения. Но като всяко правило и тук има изключение. Например в Сахара за цяла година валежите достигат едва няколко десетки милиметра, но и в тези безводни и пясъчни територии са се случвали наводнения в иначе сухите речни корита. През 1904 г., 1957 г. и 1958 г. тези наводнения са причинили катастрофални последствия за района и са взели десетки човешки жертви.



Фигура 2.2: Инфильтрационна вариация на почвените текстури (web, a)

Рекорд за най-голямо количество валеж за една минута е поставен през 4-7 юни 1956 г. в САЩ - Юниънвил, с количество от 31,2 mm/min (web, j). Има много рекордни наводнения по целият свят. Едни от най-характерните и проливни дъждове са регистрирани в Гваделупа - 38 mm/min, Ямайка - 19 mm/min, в басейна на река Мисури - 305 mm за 42 min. Поройните наводнения освен от интензивни валежи, могат да се получат и от скъсване на язовирна стена, разрушена дига и дори интензивно снеготопене през зимните или пролетните месеци, свързано с покачването на температурите.

Градските наводнения са също сериозен проблем, свързан с разрастването и неправилно застройване. Именно в градските територии наводненията са с най-голям брой жертви. Заради тази опасност някои страни са въвели мерки и системи за ранно предупреждение за наводнения.

За да имаме поройно наводнение са необходими следните условия:

- голяма скорост на интензивните валежи, която е една от основните

предпоставки за голям отток в речните басейни,

- висока почвена влага или ниска пропускливоност на почвата и нейната вертикална структура, които са важни характеристики на оттичането и спомагат за определянето на рисковите райони,
- неблагоприятни басейнови характеристики, например - размер, форма, наклон и други, които също влияят на оттичането и следователно на появата на поройно наводнение,
- урбанизацията може значително да повиши рисковете от поява на наводнения, както на самото водно количество, така и на неговата скорост на проявление.

За появата на валеж главно са необходими конвективни движения в неустойчиво стратифицирана атмосфера. С нея са свързани конвективните облаци, които в умерените ширини и тропиците дават най-значителната годишна сума на валежите. Нашата страна попада в район, в който конвективните дейности са често явление. Необходимо условие за възникване на такава облачност е неустойчивата стратификация на атмосферата, която зависи от разпределението на температурата и влагата, от процесите на смесване на облака с околната среда, които от своя страна зависят от условията за турбулентност и разпределението на вятъра. Важно значение има и ролята на крупномащабното поле, а също така и на местните условия и орография. Важен извод, който наблюденията са показвали, е че за да се стигне до значителна конвективна облачност и валеж, в повечето случаи е необходимо крупномащабното поле да бъде циклонично. Слаба конвекция се образува при различни барични полета, но мощна и много мощна облачност има предимно при циклоничен вихър. По-прецизни наблюдения показват, че за нашите райони конвекция не се развива ако на нива 700 и 500 hPa има антициклоничен вихър. Полето на по-ниски нива не е от голямо значение за конвекцията. За прогнозиране на поройни валежи, условията в слоя между 800 и 700 hPa са основни. Най-благоприятни са условията при наличие на циклонично барично поле, значителна влажност на въздуха, големи вертикални температурни градиенти и отсъствието на инверсионни слоеве. Последният фактор има подчертан дневен и годишен

ход. Интензивни валежи падат през топлото полугодие и в следобедните часове, когато температурните условия са най-подходящи. Всички други условия се срещат също често и през останалата част от годината и нощните часове, но конвективните облаци и валежи по това време са рядкост. Освен от термични причини, като конвективна облачност, извалаивания се образуват и по фронтални зони. Ако студена въздушна маса избутва топла, имаме "студен фронт", и ако топла въздушна маса избутва отстъпваща студена - тогава имаме "топъл фронт". Студеният фронт причинява по-интензивни валежи, съсредоточени на малки площи, докато топлият фронт има обложен валеж, но е разпространен върху сравнително голяма площ. Студените фронтове се придвижват по-бързо от топлите и при застигане се получава взаимодействие между три въздушни маси и започва процес на "оклюзия".

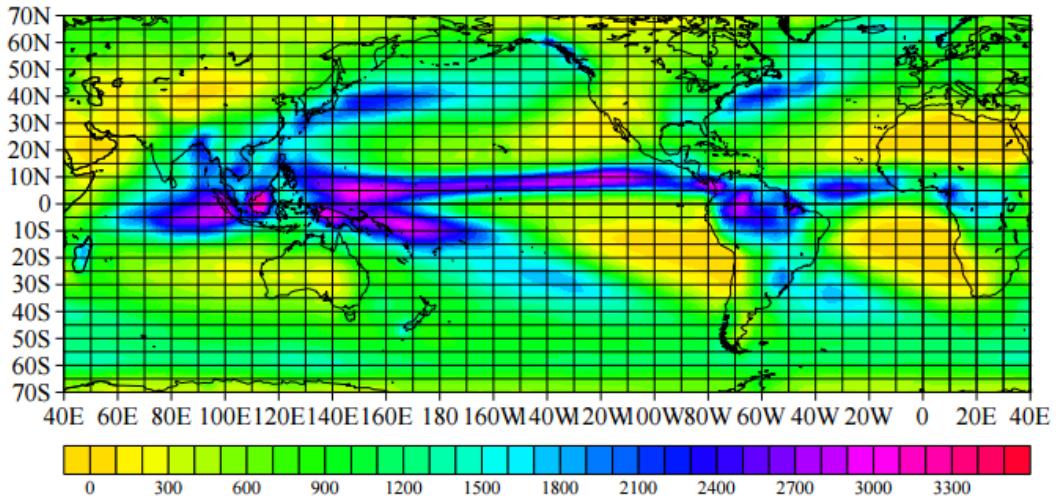
Орографските прегради също предизвикват валежи наречени орографски. Те представляват механично повдигане на влажен въздух над планински бариери. Те предизвикват силни валежи от наветрената страна на преградата.

Само за последните четири века сме претърпели над 40 големи екологични катастрофи, причинени от наводнения. Начело на статистиката по броя на човешките жертви е наводнението през 1887 г. в Китай. Тогава водите на река Хуанхъ (Жълтата река) отнемат живота на повече от 900 хил. души в провинция Хенан. Хуанхъ е една от най-големите реки в света и събира водите си от територия с площ от 1,25 млн.  $km^2$ , а по нейните брегове живеят около 70 млн. души.

Вторият рекорд също е на китайска река - през 1642 г. загиват около 300 хил. души. На трето място по броя на човешките жертви е река Яндъзъ. Нейният басейн заема площ от близо 2 млн.  $km^2$  в централната част на Китай. През последните двадесет века са регистрирани повече от 50 наводнения на тази река. Най-катастрофалното от всички е през 1931 г., когато под вода се оказва територия от около 310 хил.  $km^2$ , като на места дълбината на водата достига 5-6 м. Залети са около 6 мил. хектара обработваема земя, разрушени са 4 млн. жилища, пострадалите са почти 60 млн. и са загинали повече от 140 хил. души (*Мардиросян, Г.*).

Разпространението на валежите по земната повърхност се представя чрез

изохиетни карти. Изохиетите са линии, които свързват места с еднакви валежни суми. На фиг. 2.3 е представено разпределението на годишните валежни суми върху земното кълбо (web, c).



Фигура 2.3: Разпределение на годишните суми на валежите от 1988 до 2004 г. (web, c)

С помощта на такива карти нагледно се представят валежните количества. Вижда се, че най-големи валежни количества има в пояса между двата тропика. Причината се крие във високите температури, богатия на влага въздух и активните конвективни движения. Почти половината валежи на Земята падат между  $20^{\circ}$  с.ш. и  $20^{\circ}$  ю.ш. Между  $0$  и  $10^{\circ}$  с.ш. се очертава особено валежна ивица, неречена валежен екватор. Валежите са средно над 1000 mm, но на много места надминават 2000-3000 mm. В мусонните райони, по наветрените склонове на Хималаите, падат изключително високи количества валежи. В селището Черапунджи на около 1300 m надморска височина по различни сведения валежите са между 11 000 и 12 000 mm средногодишно. Най-малката годишна сума, отчетена в Черапунджи е 7000 mm, а най-голямата е почти 23 000 mm. В климатоложката литература обикновено този пункт се посочва като най-валежното място на Земята (Векилска, Б., 2012). Някои тропични острови с благоприятни орографски условия също се отличават с големи валежи. Например на Хавайските острови (о. Кауай) е отчетена сума, конкурираща тази на Черапунджи - над 12 000 mm. На о. Уай-Але-Але има до 350 дъждовни дни

годишно. Въпреки специфичните особености на тези райони, това не е местата с най-опасни наводнения на света.

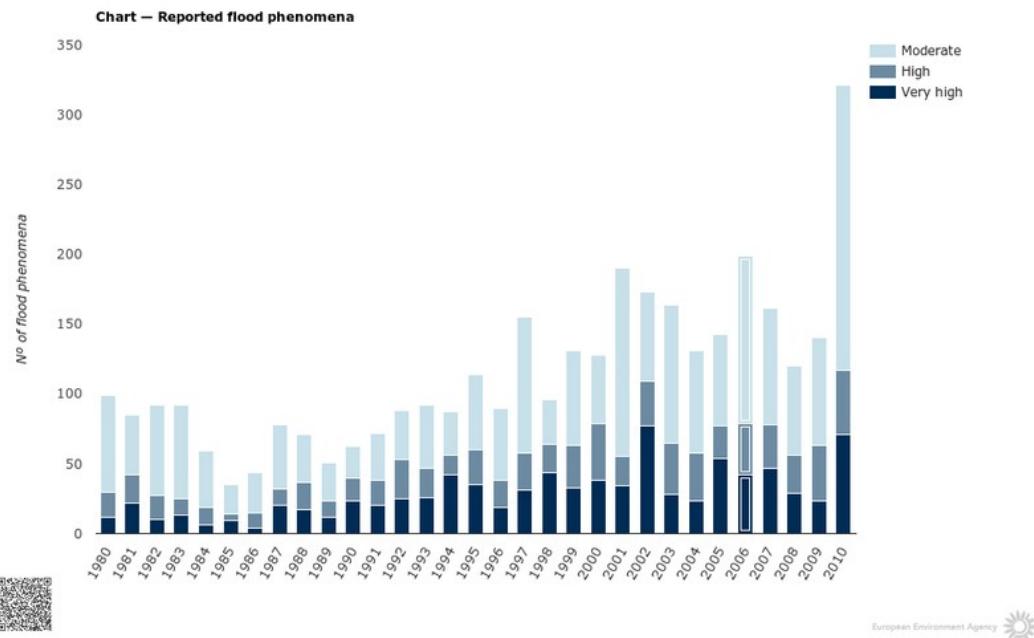
В умерените ширини за валежните суми се отбележва един вторичен максимум, свързан с фронталните валежи, като сумите им са двойно по-малки от сумите в екваториалния пояс. Тук и влиянието на орографията върху разпределението на валежите е силно изразено.

## 2.4 Наводнения в Европа

След наводнението в Париж през 1910 г., френското правителство изгражда няколко водохранилища, които да предотвратяват обичайните наводнения от река Сена. Лондон е защитен от наводнения от бариера на река Темза, която представлява голяма механична бариера, която се активира при повишаване на морското ниво. Във Венеция също са изградени много диги и насипи, които противодействат на по-големите приливи. За Венеция опасно е покачване на водата над 1 м, а когато на 4 ноември 1966 г. нивото на водата достига 195 см, води до катастрофално наводнение. На река Адидже в северна Италия е изграден подземен канал за оттичащи се води, за да бъде намален риска от естuarни наводнения. Каналът е използван два пъти - през 1966 и 2000 г. Около една трета от Нидерландия е под морското равнище и това обуславя факта, че разполага с най-големите и ефективни защити от наводнение. По крайбрежието на страната са изградени многобройни водохранилища, шлюзове и водозащитни прегради, валове, насипи, диги и бариери. Защитата е изградена след наводнението през 1953 г., засегнало страната. Австрия контролира непрекъснато река Дунав от 150 години, а Северна Ирландия разполага със специална фирма, бореща се с наводненията.

На фиг. 2.4 е показана графика от Европейската агенция за околната среда за периода от 1980 до 2010 г. за опасни наводнения. Показан е техният брой и сила. Най-често срещани са средните по сила наводнения. Всички наводнения, със смъртни случаи са отнесени към наводнения с "много висока сила". Общият брой на наводненията в отчетения период на изследването между 1980 и 2010 г. показва, че 37 европейски страни са регистрирали 3 563 случая. Най-голям е техният брой през 2010 г. - 321 наводнения, от

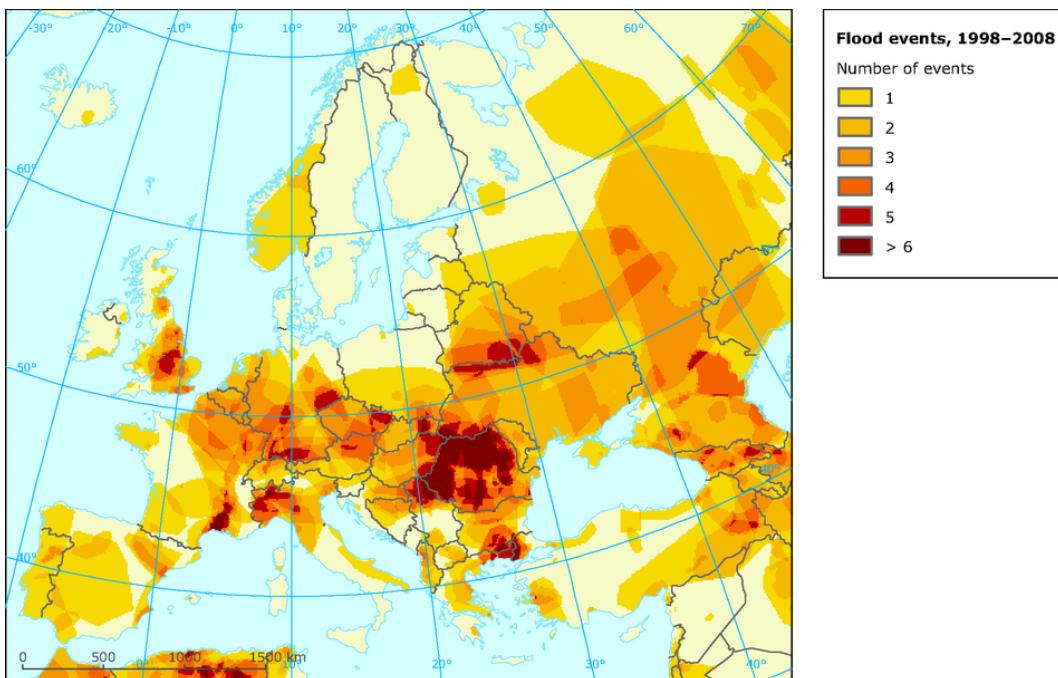
които 27 страни са засегнати. Забелязва се тренд за нарастване на наводненията през годините, който ще се очаква да продължи и за в бъдеще, поради промените в климата (web, q).



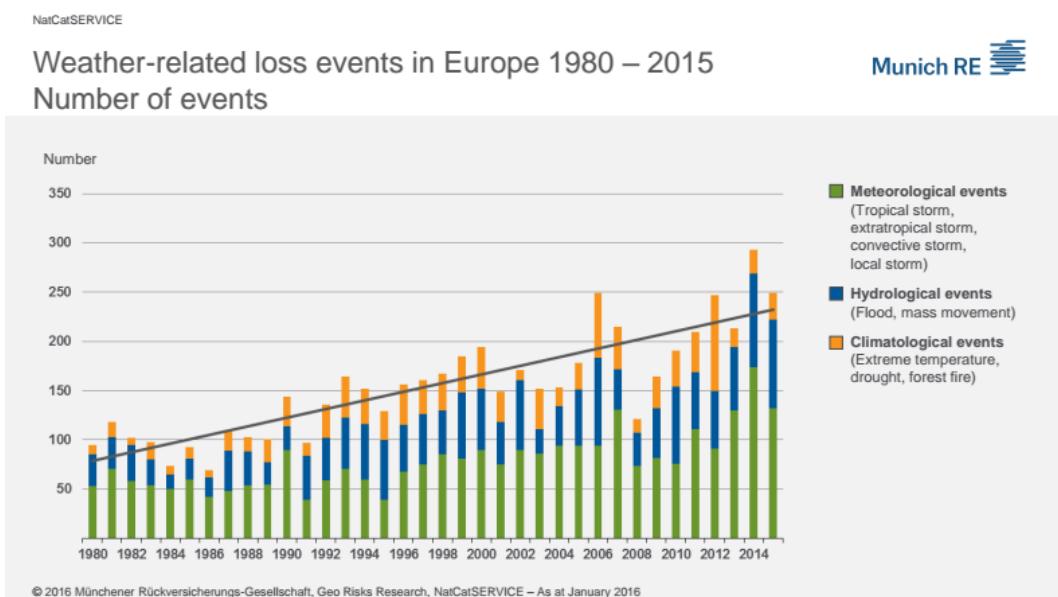
Фигура 2.4: Графика на опустошителните наводнения в Европа от 1980 до 2010 г. (web, q)

На картата на фиг. 2.5 са показани районите с особено опасни наводнения за периода 1998 - 2008 г. Най-малко са регистрираните наводнения в северните страни, а зачестяват в планински райони и/или където речната мрежа е по-гъста и има пълноводни реки.

Изследване от 2016 г. на застрахователна компания Munich RE, разкрива водещите причините довели до щети. На фиг. 2.6 е показан общият брой на събития от метеорологичен, хидрологичен и климатичен тип, които са причинили щети в Европа в периода 1980 - 2015 г. Най-много щети се причиняват от метеорологични явления, като конвективни, локални, тропични и субтропични бури. Според изследването е нараствал броят на метеорологичните събития, нанасящи значителни щети в Европа, през последните 35 години (web, n). Втори по значимост са хидрологичните явления, като наводнения и свлачища, а на трето място са климатичните



Фигура 2.5: Брой наводнения през 1998 - 2008 г. (web, s)



Фигура 2.6: Причини за щети в Европа от 1980 до 2015 г. (web, n)

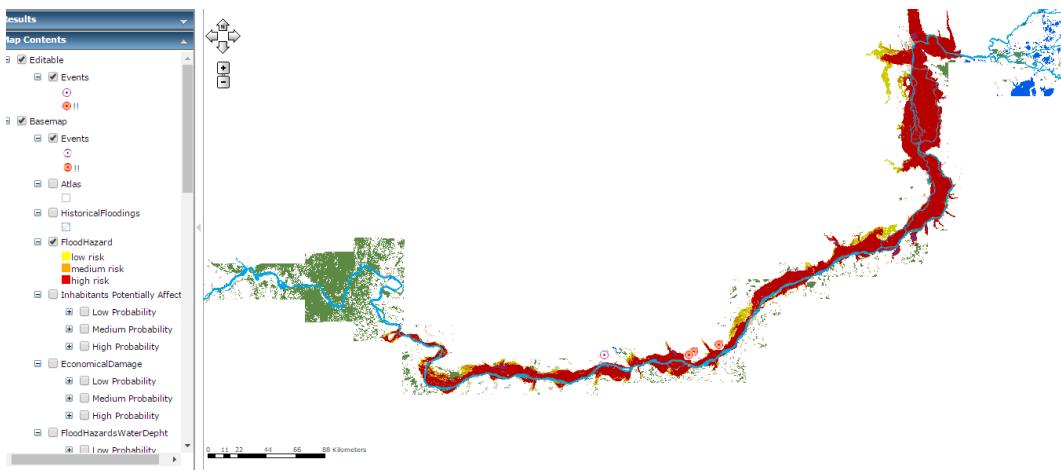
явления - екстремни температури, засушавания и горски пожари.

Когато говорим за Европа, е важно да споменем и най-дългата река Ду-

нав. Тя води своето начало от планината Шварцвалд, и преминава през десет страни - Румъния, Унгария, Сърбия, Австрия, Германия, България, Словакия, Хърватия, Украйна и Молдова преди да се влезе в Черно море. Нейният водосборен басейн обхваща и Италия, Швейцария, Чехия, Полша, Черна гора и Босна и Херцеговина. Река Дунав е един типичен пример за сътрудничество и комуникация между различните страни с цел предотвратяване на екологични катастрофи. Така например през 2006 г., изключително високите нива на водите в реката, доведоха до икономически загуби в Сърбия, България и Румъния. През 2010 г. под ръководството на Министерството на околната среда и водите на Румъния, 24-ри обществени и научни организации от осем дунавски страни си партнират за изпълнението на финансиран от Европейският съюз проект - Danube Flood Risk (web, 1). С помощта на спътниково изображения и комбинация от други източници съставят обща картография на опасните и рисковите райони от наводнения по целия басейн на реката. Разработената карта показва:

- екстремни сценарии за възможни събития,
- архив от 100 годишен период назад във времето,
- потенциалните щети от наводнения в евро на  $m^2$ ,
- броя на засегнатите жители.

Река Дунав е една от най-важните природни оси в Югоизточна Европа. Благодарение на транснационално сътрудничество, този проект е основополагащ за района и може да гарантира устойчивост, въпреки спецификите на районите, през които тече реката и многообразието от метеорологични обстановки. Въпреки че рискът от наводнения се увеличава с постоянно изменение на климата, то това е един естествен процес, който се класифицира като екстремно природно явление и може да бъде предвиден до някаква степен. На фиг. 2.7 е представен пример на карта на застрашените от наводнение райони по течението на река Дунав за 12 януари 2017 г.(web, b). С червено са най-рисковите райони за този ден.



Фигура 2.7: Изображение на най-застрашените територии от наводнения по река Дунав (12.01.17г) (web, b)

Европа е континент, в който проявата на зоналност (широкина и височина) е добре изразена. В съчетание с умерения континентален климат, речното пълноводие е през пролетните месеци и е следствие от снеготопене и валежи. Във водосбори с умерен океански климат състоянието на висока водност, която може да доведе до наводнения е през зимните месеци. В криолитозоната реките пресъхват през зимата. В ледниците на най-северните части на континента абляцията е причината за образуването на реки в ледени легла. Във високите планински райони пълноводието на реките започва в края на пролетта и се подхранва с пресни води от снеготопене и от валежи. То обикновено е с продължителност 2-3 месеца. От картата на Европа се забелязва нейната отвореност на западните части към Атлантическия океан. Именно тези открити и постоянно контактуващи си части от сушата с водната повърхност са едни от най-засегнатите и податливи на наводнения територии. Постояният пренос на влажни и топли въздушни маси от запад, със сухите континентални и богати на кондензационни ядра от изток, водят до образуването на поройни дъждове, които се извояват предимно в тесните крайбрежни ивици. Пример за това е 1947 г., когато Испания, Англия и дори някои вътрешноконтинентални страни, като Германия и Чехия са залети, заради поройни дъждове и снеготопене. В град Валенсия през 1957 г. се образува наводнение от силния дъжд, поради което река Турия прелива.

Европа е четвъртия континент по водни ресурси (15%), нареджа се след Азия - 32%, Южна Америка 23% и Северна и Централна Америка с 16% (Христова, Н., 2009). Основа за устойчиво водоползване е Европейската рамкова директива (ЕРД) 2000/60/ЕС, създадена с цел защита на повърхностните и подземни води. Най-много водни ресурси по държави има Норвегия с  $381.4 \text{ km}^3/\text{год}$ . Втората страна е Франция с  $189.0 \text{ km}^3/\text{год}$ , следвана от Германия с  $188.0 \text{ km}^3/\text{год}$ . Италия, Швеция, Испания и Великобритания си делят следващите места. Това са и страните, които биха били най-податливи на евентуални рискове от наводнения. През 2014 г., България попада в кризисна ситуация на множество наводнения, въпреки нейният воден ресурс от  $19,4 \text{ km}^3/\text{год}$ . Ще обърнем специално внимание на тази година в следващата глава.

## **2.5 Наводнения в Югоизточна Европа и България**

Балканският полуостров е географски район в Югоизточна Европа, разположен между Черно, Мраморно и Средиземно море. Площта му е около  $505\,578 \text{ km}^2$ . Държавите на Балканския полуостров се делят на три групи:

- изцяло разположени на Балканите - Албания, Босна и Херцеговина, България, Гърция, Косово, Република Македония и Черна гора;
- голяма част от чиито територии са на Балканите - Сърбия (73%), Хърватия (49%) и Словения (27%);
- и такива, които имат съвсем малка територия на Балканите - Румъния (9% - областта Северна Dobруджа), Турция (3% - областта Източна Тракия) и Италия (0,2% - провинция Триест).

В настоящата глава ще обърнем по-голямо внимание на наводненията на Балканите през 2014 г., които засягат няколко държави, най-тежко засегнатите, от които са Босна и Херцеговина, Сърбия и Хърватия.

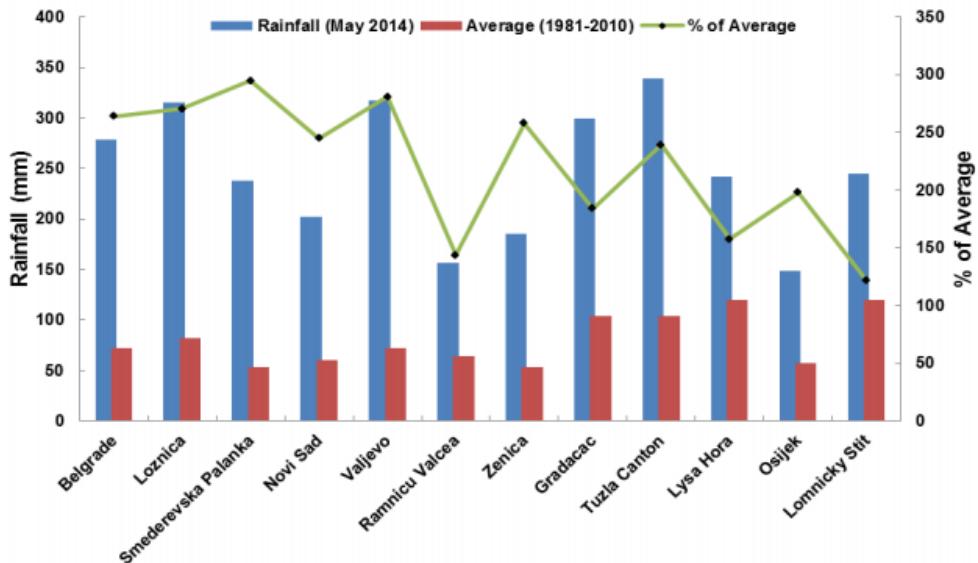
В резултат на значителни валежи между 13 и 17 май 2014 г., дължащи се

на блокиран циклон се увеличават речните нива и водят до катастрофални наводнения. Циклоните (Тамара и Ивет) обхващат големи територии в Югоизточна и Централна Европа. В 120 годишната история, откакто се отчитат тези явления, не е наблюдаван такъв валеж (web, p). Наводненията причиняват и около 2 000 свлачища на Балканския полуостров, като нанасят щети в големи градове и села. В следствие на калните свлачища, няколко реки се сливат с водосборите на реките Сава и Морава. Увеличават техните водни обеми и по този начин придошлите води заливат околните им долини. Това води до големи материални щети и 49 жертви.

Метеорологичните условия довели до тази катастрофа са: на 13 май се формира циклонът Ивет, който се придвижва от Средиземно море към югоизточна Европа. Снабден с достатъчно влага и топъл въздух от Адриатическо море, достига Балканския полуостров, където въздушната маса изпитва силното орографско влияние на планината Динари и се издига във височина. Това води до изключително високите количества валежи, които продължават 4-ри дни, заради стационирането на студената въздушна маса. На 17 май циклонът се премества над Полша (web, p). В резултат от това, проливни дъждове се извояват над Сърбия и Босна. Най-значимите количества валеж в Сърбия са в Белград, където за 72-часов период, от 14 до 16 май падат почти 190 mm. На 15 май, дневните количества валеж, преминават историческите рекорди в Белград от 107.9 mm, Велжеvo - 108.2 mm и в Лозница 110 mm. На същата дата в Белград, се надвишават и месечните рекорди от 1897 г, от 175 mm., и се записва нов рекорд от 278 mm (web, i). На 17 май дъждът спира постепенно, а времето става по-топло и слънчево, като до известна степен облекчава спасителните операции. На 18 май, циклонът Тамара се премества на северозапад от страната.

Фиг. 2.8 обобщава сумата на валежите за месец май 2014 г. и средния 30-годишен валеж за 12 града. Зелената линия показва общото количество валеж за месец май 2014 г., като проценти от 30-годишния среден валеж за този месец. Вижда се, че валежът през 2014 е между 150 и 300 % от средния 30 годишен период.

Повишеното речно ниво от своя страна разрушава множество мос-



Фигура 2.8: Графика на валежите през месец май 2014 г. (web, i)

тове, инфраструктура и обработвани площи, което води до евакуация на множество градове и села. Най-засегната страна от бурята остава Сърбия и в частност нейните централни части. На фиг. 2.9 се виждат наводнените територии на Босна и Херцеговина, Сърбия и Хърватия (web, r). Тъмно-червените области са най-засегнатите, а именно районите около поречията на реките Сава, Босна и Дрина. Оцветените в светлочервено области на фиг. 2.9 също са засегнати от проливните дъждове, като в планинските области се образуват множество свлачища, които допринасят за усилване на ефекта от наводненията.

С помощта на спътникова информация от NASA (web, o) се виждат много ясно на фиг. 2.10 наводнените територии около река Сава през месец май. Също така е показана и реална снимка от наводнението. Жертви от наводненията през месец май 2014 г., са регистрирани и в Чешката република, Румъния, Словакия, Хърватия и България. За Румъния, това е третото катастрофално събитие причинено от наводнения до тогава. Засегнати са около 125 села са и близо 10 000 жители. В Хърватия, десетки хиляди хора са евакуирани от домовете си по теченията на реките Сава, Босна и Уна (web, h).

Актуалността на изследването за България се подчертава от факта, че



Фигура 2.9: Наводнените територии на Босна и Херцеговина, Сърбия и Хърватия (web, r).



Фигура 2.10: Спътникова снимка на наводнен район Обреновац (web, o) и снимка на наводнен район Обреновац (web, h).

зачестилите през последната година разрушителни наводнения и последващите ги бедствени ситуации причиниха значителни икономически загуби на населението в градовете Варна, Добрич, Мизия, Бургас, Приморско, Хасково и други. По данни на Националния Статистически Институт през 2014 г., в България е имало общо 360 наводнения, които са причинили щети за над 177 604 млн. лв и са взели 18 жертви (web, f). Таблица 2.1 показва наводненията за периода 2010 - 2015 г. общо за страната и по области. Дан-

ните са получени въз основа на представените в НСИ годишни отчети от постоянните общински комисии за защита на населението при бедствия, аварии и катастрофи.

За България прогнозата на значителни валежи, като опасно явление (ОЯ) и особено опасно явление (ООЯ) има специфични критерии. Те се използват и при прогнозата за опасно метеорологично време, в оперативната дейност на синоптиците на НИМХ-БАН, за европейската система Метеоаларм([www.meteoalarm.eu](http://www.meteoalarm.eu)):

- жълт код: количеството валеж е 15 - 35 mm/24 h или интензивен валеж 15 - 20 mm/12 h;
- оранжев код: количеството валеж е 35 - 60 mm/24 h или интензивен валеж 20 - 30 mm/12 h;
- червен код: количество валеж по-голямо от 65 mm/24 h.

Брой на наводненията в България 2010 - 2015 г.						
Области	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ОБЩО	651	382	692	547	360	266
Благоевград	14	10	5	14	4	3
Бургас	82	22	77	37	19	14
Варна	30	16	11	15	28	47
Велико Търново	24	28	32	17	21	3
Видин	1	1	4	—	2	—
Враца	—	10	5	1	5	5
Габрово	8	9	7	2	13	—
Добрич	10	21	3	2	4	2
Кърджали	11	12	19	9	14	13
Кюстендил	2	5	11	1	1	17
Ловеч	4	1	1	—	3	—
Монтана	14	11	6	4	30	2
Пазарджик	27	11	2	4	7	2
Перник	9	13	2	1	1	4
Плевен	14	10	1	—	19	31
Пловдив	9	—	2	2	42	7
Разград	1	—	2	8	5	—
Русе	6	5	5	2	—	23
Силистра	—	4	—	1	2	—
Сливен	102	51	267	335	25	36
Смолян	179	97	98	88	43	29
София (столица)	2	—	—	—	—	—
София	30	32	8	2	25	7
Стара Загора	7	5	115	-	8	11
Търговище	2	1	—	—	—	—
Хасково	3	6	5	1	10	7
Шумен	1	1	4	1	16	3
Ямбол	59	—	—	—	2	—

Таблица 2.1: Брой на наводнения в България за периода 2010 - 2015 г.

## Глава 3

# Спътникови и наземни наблюдения

### 3.1 Синоптични обстановки 2014

Департамент „Прогнози“ към НИМХ-БАН, анализира и прогнозира 12 обстановки, които водят до наводнения на територията на страната (*Стойчева et al.*, 2015). За целта на изследването са използвани приземни карти от синоптичния архив на НИМХ-БАН на приведеното към морско ниво налягане над Европа с нанесени фронтални системи в основните синоптични срокове 00, 06, 12 и 18 UTC и височинни карти на абсолютната барична топография на нива 850 hPa и 500 hPa, както и картите на относителна барична топография 500-1000 hPa в 00 и 12 UTC. В част от обстановките за пълнота са добавени и други полета на метеорологични елементи, с цел по-доброто описание на процесите, това са: скорост на вятъра, хоризонтална дивергенция и геопотенциал на 300 hPa, комбинирано поле на вятъра и относителен вихър на 300 hPa, индекси на неустойчивост (LI и CAPE), вертикални движения, поле на относителната влажност на 700 hPa (*Стойчева et al.*, 2015). Картата на фиг. 3.1 показва местоположенията на наводненията през 2014 г. Различните цветове показват 12-те разгледани обстановки. В таблица 3.1 са систематизирани синоптичните обстановки, както и метеорологичните елементи и явления и хидрологичната обстановка за наводненията през 2014 г. Разгледаните обстановки могат да се



Фигура 3.1: Карта на България показваща наводненията през 2014 г.: С1 (27.01) - сив цвят; С2 (19.04) - лилав цвят; С3 (24-25.04) - черен цвят; С4 (28-31.05) - кафяв цвят; С5 (4-6.06) - светло син цвят; С6 (15.06) - розов цвят; С7 (19-20.06) - тъмно син цвят; С8 и С9 (30-31.07 и 1-2.08) - зелен цвят; С10 (2-7.09) - жълт цвят; С11 (23-25.10) - оранжев цвят; С12 (4-6.12) - светло лилав цвят.

обобщят в няколко типа :

- валежни обстановки в резултат на средиземноморски нахлювания (от запад, югозапад или юг) - С3, С8-9, С11;
- валежни обстановки в резултат от атлантически/океански нахлювания (от запад, северозапад и север) - С5;
- валежни обстановки в резултат на нахлюване на континентални въздушни маси (от северозапад, север или североизток) - С2, С6, С7;
- валежни обстановки от комбинирани (средиземноморски, атлантически, континентални и полярни) атмосферно-циркулационни системи - С1, С4, С10, С12.

Таблица 3.1: Синоптични обстановки с наводнения през 2014 г.

Дата	Засегнат район	Синоптична обстановка	Валежи	Температура	Хидрологична новка	обстановка	Почви
C1 27.01	Ахтопол	от 24 до 27.01 бавно-подвижен студен фронт през България	24-25.01 валежи от дъжд, на места от сняг. Снежна покривка 3-5 см.	T =10-12° C южното крайбрежие	предива р. Велека през Ахтопол	-	-
C2 19.04	Лом, Белоградчик	област на ниско налягане; над Балканите 2 Ц.	Повсеместни валежи. Белоградчик - 150 mm	-	р. Лом, р. Дългоделска Огоста и р. Стакевска заливат терасите си	-	-
C3 25.04	Лом	България е под влиянието на североизточните части на Ц.	валежи от дъжд, с гръмовезици; Вършец - 83 mm	хладно	р. Лом наводнява с. Горни Лом, Драженци и Бело поле	Високата влажност на почвата, от предходни валежки	-
C4 31.05	Велико Търново	Балканите са в предната част на барична долина; Формира се Ц. и България остава в тилната му част	Ruse - 92 mm, Разград, Ве - 30 mm, Велико Търново - 15 mm.	адвекция на СВ на AT 850 температурите се понижават	р. Янтра залива части от Габрово и В. Търново, водно ниво H= 684 см и водно количество Q=555 m <sup>3</sup> /sec. Водното количество е с период на повторяемост 10 г.	-	-
C5 5-6.06	Албена, Резовска, Камчиya	Балканите - под влияние на барична долина, която се затваря в циклонален център, който стационарира над Черно море и Б-я е в тилната му част – хладни въздушни маси.	интензивни валежи на 4.06 - Драгоман – 34 mm, на 5.06 Добрич – 41 mm, Ахтопол – mm	AT 850 T=8-10° C	на 05.06 р. Батовска на водния к-т „Албена“ и улиците на Добрич. В с. Драганово, нивото на водата е 1,5 m.	-	-

Таблица 3.2: Продължение на таблица 3.1

Дата	Засегнат район	Синоптична обстановка	Валежи	Температура	Хидрологична обстановка	Почви
C6 15.06	Югоизточна България - Бургас, приморско, Кавацци, Дюни	Балканите в тилна част на Средиземноморски циклон	валеж в Средец – 45 mm при месечна норма 41 mm и Зидарово - 32 mm	AT 850 температура от 10 до 14° C	15.06 р. Дяволска залива – пътя Бургас – Приморско около резерват „Аркутино“, както и пътища за селищата „Кавацци“ и „Дюни“.	-
C7 19-20.06	Варна (Аспарухово), Шумен, Добрич, Габрово, Велико Търново	Балканите под влияние на барична долина, свързана с висок циклон, с център над Сръбия на Европейска Русия; AT 850 над Балканите се формира вихър, чийто център се премества на североизток над Черно море	гръмотевични бури и проливни валежи. Варна валежт между 18:00 и 20:00 ч. е 35 mm, кв. Аспарухово е 50 mm; Шумен-37 mm, Добрич - 99 mm, Шабла - 151 mm, Калиакра - 91 mm.	-	, „поройно наводнение“. Формира се много бързо. В резултат на интензивни валежки, които падат на малка територия за кратко време (до 6 ч.) р. Добричка прелива.	15-17.06 превълажнена почва. Валежите на 18-19.06 отнасят повърхностния почвен слой
C8 30-31.07 C9 1-2.08	Враца, Борован, Бяла Слатина; Своге, Етрополе, Мизия	Запълващ се циклон; От Лигурско море настъпва нов Ц. към България, притиснат от АЦ в източна Европа; През периода 1-2.08 висок циклон, преминава над България - бавен и се разширява.	Интензивни валежи в З, и СЗ България; 1-2.08 най-много в СЗ България - Борован 111.5 mm/day .	-	30.07. р. Въргешница на воднява гр. Враца и Бели Извор, р. Огоста наводнява Монтана; 01.08 – р. Искрецка и р. Малки Искър на 31.07-2.08; .Мизия остава няколко дни под вода.	пренаситена почва около р. Огоста по-ради валежи на 31.07-2.08;

Таблица 3.3: Продължение на таблица 3.1

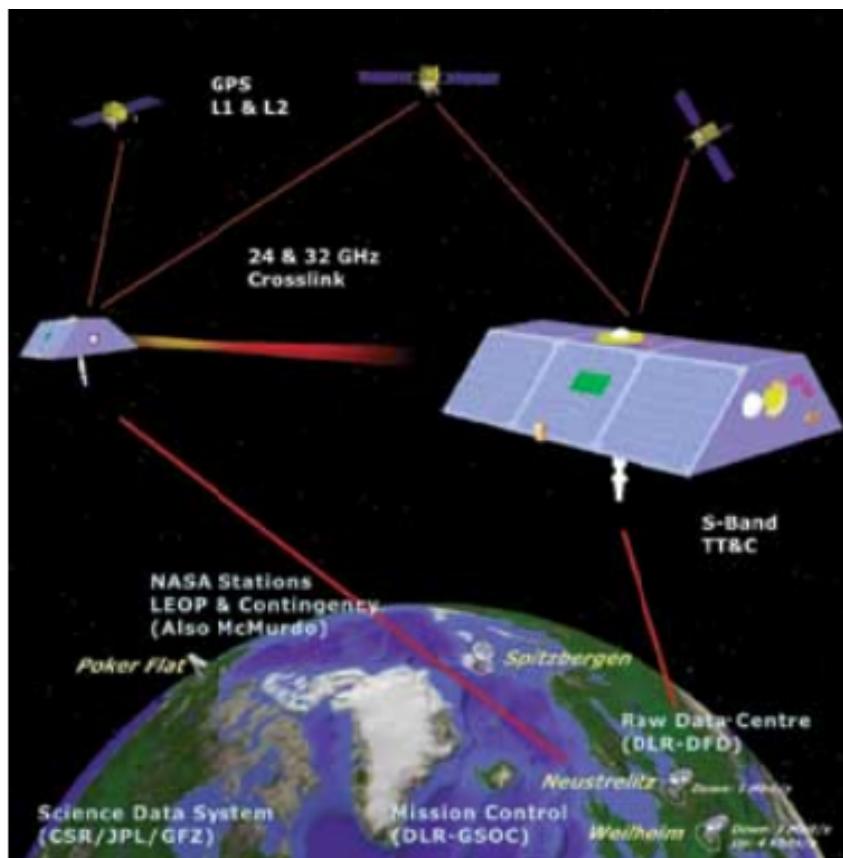
Дата	Засегнат район	Синоптична обстановка	Валежки	Температура	Хидрологична обстановка	Почви
C10 4- 7.09	Берковица, Монтана, Приморско, Димитровград, Ст.Загора, Свиленград	Барична до- лина, в която се образува циклон над Ю. Италия и се премества над Балканите; Циклонът оста- ва блокиран от баричен гребен и се придвижва само на изток	Ловеч - 90 mm, Стара Загора - 95 mm, Сливен - 96 mm/36h, Хасково - 106 mm, Враца - 120 mm, Ка- занлък - 134 mm, Чирпан 164 mm, Бургас - 176 mm/day	Около 10° C	4.09 р. Берковска залива гр. Берковица, р.Дългоделска Огоста залива с. Говежда. 6.09, р. Ропотамо при с. Веселие се повишава с 300 см над критичното ниво и достига 700; 6-8.09. р. Сазлийка при Гъльбово се повишава с 465 см, водно количество -140 m <sup>3</sup> /sec (повтаряемост 10 г.) Ниво р. Марица при гр. Харманли е с над 430 см и водно количество 715 m <sup>3</sup> /sec (период на повтаря- емост 3 г.) При гр. Свиленград - водно ниво 305 см, с водно количество 900 m <sup>3</sup> /sec (период на повтаряемост 5 г.)	наситена почва в западна България в следствие на валежа.
C11 23- 25.10	Априлци, Рудозем, Хасково, Ди- митровград, Бургас	България под челото на висок Ц. При земетря- щ през Гърция преминават 2 Ц. На 24.10 втория Ц ми- нава южно от България; Комбинация на АЦ на север от България и Ц през Гърция.	Бъл- гария и Рило- Родопската област; На север вадле- жите от сняг, навявания и пресипи; Хас- ково 138 mm, Бургас - 124 mm, Априлци - 45 mm.	AT 850 тем- пературите се понижават, СВ нас източна Бъл- гария. 25.10- ветровито, и температура- понижава-	23.10 р. Елховска при гр. Ру- дозем достига 300 см; р.Росница при гр. Севлиево се повишава с 200 см, водно кол. - 235 m <sup>3</sup> /sec (повтаряемост 5 г.) 25.10 пре- ливат 5 микрорязовира в оби- Бургас; Преливат р. Селска и р. Хасковска; 26.10 р. Харман- лийска при гр. Харманли дос- тига 432 см и водно кол. 158 m <sup>3</sup> /sec; р. Марина при гр. Хар- манли достига до 470 см и вод- но кол. 840 m <sup>3</sup> /sec; Р. Марица при гр. Свиленград - 330 см и водно кол. - 1020 m <sup>3</sup> /sec	- -

Таблица 3.4: Продължение на таблица 3.1

Дата	Засегнат район	Синоптична обстановка	Валежи	Температура	Хидрологична обстановка	Почви
C12 4 6.12	Кърджали, Хасково, Ди- митровград, Симеоновг- рад, Топо- ловград, Лю- бимец, Бур- гас, Раднево, Гъльбово, Елхово, Ямбол, Сви- ленград	Ц бавно се за- пълва над Балка- ните. Фронтална- та зона се задържа над България	3-4.12: Хасково - 75 mm, Кър- джали - 95 mm, Елхово - 59 mm, Стара Загора - 52 mm, Сливен - 64 mm, Бургас - 29 mm	северозападна България тем- пература 0° C , поледици; В южна Бъла- рия T=10-12 ° C	нивото на р. Сазлийка е 535 см и водно количество 160 m <sup>3</sup> /sec (пе- риод на повтаряемост 10 г.); р. Харманлийска при гр. Харманли се повишава 400 см/2days ,ниво - 472 см и водно кол. 190 m <sup>3</sup> /sec (период 10 г.); Ниво р. Марица при гр. Свиленград 390 см и водно кол. от 1300 m <sup>3</sup> /sec; Ниво р. Тун- джа при гр. Ямбол - 530 см и вод- но кол. 220 m <sup>3</sup> /sec (повтаряемост 25 г.); Нивото при гр. Елхово - 435 см с водно кол. 208 m <sup>3</sup> /sec (период 20 г.)	-

## 3.2 Спътникова система ГРЕЙС

Спътниката система за наблюдение на гравитационното поле и климата (ГРЕЙС) е разработена съвместно от NASA (National Aeronautics and Space Administration) и GFZ (German Research Center for Geosciences). ГРЕЙС е система от два спътника, които летят на полярна орбита с височина 500 km и са на 220 km един от друг (web, k).



Фигура 3.2: Спътникова система ГРЕЙС с показаните два спътника близнаци и микровълновата връзка между тях (web, k).

Фиг. 3.2 илюстрира спътниците близнаци, които са свързани с високо прецизна К-честотна микровълнова система, която се използва за измерване на разстоянието между спътниците. Гравитационните аномалии се изчисляват от събранныте данни за промяната на разстоянието между тях. Такова изменение между спътниците е възможно, когато единият спътник минава над място с голяма концентрация на маса т.е. има силно

гравитационно привличане.

Гравитационните вариации могат да се изчисляват от спътниците от няколко източника: 1) промяната на повърхността и на дълбочината на океаните; 2) проманя на оттокът и съхранението на подпочвените (подземните) води; 3) обменна разлика между ледниците и/или големите ледени повърхности с океаните в полярните и субполярните райони и 4) вариационни разлики на масите в рамките на Земята. Друга важна задача на ГРЕЙС е изследване на земната атмосфера. В тази работа ще използваме продукти на ГРЕЙС, които отчитат месечните отклонения на гравитационното поле в резултат на промени в нивото на водите в почвения слой (*Swenson and Wahr, 2006; Meyer et al., 2016*). За целта са използвани данни от три центъра за анализ, а именно: 1) Астрономически институт, Университет Берн (AIUB - Astronomical Institute, University of Bern), 2) Национален институт за изследване на космоса на Франция (CNES - Centre national d'etudes spatiales) и 3) Център за изследване на космоса на САЩ (CSR - Center for Space Research). Нивото на водата в почвата в тези данни е представено като интегрирано количество в целия земен слой т.е общото й количество във всички земни пластове. Използваните данни са за България, София (42.75 N, 23.36 E) (web, m).

### **3.3 Наземни наблюдения**

В тази работа са използвани наблюдения от синоптична станция София. Данните за станцията са от базата данни на ОГИМЕТ (OGIMET). Базата предоставя информация от синоптичните станции участващи в световния обмен на данни. Метеорологичните елементи се зареждат в таблица SYNOP на база данни СУАДА (*Guerova et al., 2014*). Таблица SYNOP съдържа метеорологични данни за температурата на 2 m (T [ K ]), налягане на височина на станцията (p [ hPa ]) и валежите (PP [ mm ]).

### **3.4 Водна пара от наземната ГНСС мрежа**

През последните две десетилетия се използва нов метод за оценка на количеството водна пара от наземни наблюдения от Глобалната Навигацион-

ни Спутникovi Системи (ГНСС). Чрез него се получават данни с висока пространствена резолюция, както локално така и глобално, независимо от метеорологичните условия. Този метод се доказва като надежден източник на хомогенни редове от данни за интегрираната водна пара (IWV) за последните 15 години (*Guerova et al.*, 2016). В тази работа са използвани данни от ГНСС станция София (SOFI). Станцията е част от Международната ГНСС служба (МГС), обединение на учени от 200 научни института и университети в над 80 държави от целия свят. Шест от регионалните центрове обработват ежедневно над 350 наземни ГНСС станции. Те предоставят главно информация за тропосферното групово закъснение.

Тропосферното групово закъснение е следствие от рефракцията и е основен източник на грешка при ГНСС. Обикновено тропосферното закъснение се пресмята по посока зенит и се нарича Пълно зенитно закъснение (Zenit Total Delay - ZTD). Два са източниците на закъснението. Първото и по-голямо закъснение се дължи на сухия въздух (от азота и кислорода) и се нарича Зенитно хидростатично закъснение (ZHD). То е около 2,1 m над морското равнище и се изменя с температурата и атмосферното налягане. Изменението на Зенитното хидростатично закъснение е по-малко от 1% от средната стойност за няколко часа. Второто закъснение е причинено от водната пара и се нарича Зенитно водно закъснение (ZWD). То е по-малко от хидростатичното и е от 1 до 80 cm, в посока на зенита. Зенитното водно закъснение има значително изменение във времето. Бръзката между пълното и съставните закъснения се изразява чрез следното уравнение:

$$ZTD = ZHD + ZWD \quad (3.1)$$

Интегрираната водна пара (IWV) се изчислява по формулата:

$$ZWD = ZTD - 2.2768 \frac{p_s}{1 - 0.00266 \cos 2\theta - 0.00028h} \quad (3.2)$$

$$IWV = \frac{10^6}{(k_3/T_m + k_2)R_v} ZWD \quad (3.3)$$

където  $k_3$ ,  $k_2$  и  $R_v$  са константи,  $T_m$  е средната температура на атмосферата,  $p_s$  е налягането в точката на измерване,  $h$  е височина и  $\theta$  е ъгъла на

отклонението от зенитната ширина.

### **3.5 Индекси на климатична изменчивост**

Един от индексите, който използваме за сравнения е НАО (NAO - North Atlantic Oscillation). Той традиционно се определя, като разлика в наляганията между станции на Азорските острови и Исландия. През зимните месеци могат да се използват данни от югозападната част на Иберийския полуостров (Hurrell, 1995). Стандартно данните за НАО индекса са месечни стойности за периода от 1821 до 2016 г. и са достъпни от web (e).

Друг индекс, който е специфичен и може да бъде определящ за България е МОИ (MOI - Mediterranean Oscillation Index). МОИ е дефиниран от Палутиков (1996 г.) и Конте (1989 г.) и представлява отношение на нормализираното налягане между Алжир ( $36.4^{\circ}$  N,  $3.1^{\circ}$  E) и Кайро ( $30.1^{\circ}$  N,  $31.4^{\circ}$  E). МОИ може да се изчисли използвайки и наблюдения от Гибралтар ( $36.1^{\circ}$  N,  $5.3^{\circ}$  W) и Лод в Израел ( $32.0^{\circ}$  N,  $34.5^{\circ}$  E). Месечни стойности на индекса се съхраняват за периода от 1948 до 2016 г. (web, d).

Третият индекс е АМО (AMO - Atlantic Multidecadal Oscillation Index). Той е основен индекс за температурите в северния Атлантически океан. Временните редове на АМО се актуализират ежемесечно от 1856 г. до 2016 г. Индексът описва връзките между мащабните промени в Атлантическия океан, Северна Америка и Западна Европа. АМО е свързан с термохалинната циркулация на океана и е основен двигател на мултидекадните колебания през летните месеци. Смята се, че термохалинната циркулация е една от причините за умерения климат в Западна Европа и ако се потвърди такава връзка, тя ще има много важно значение за климатичните прогнози и тяхното предвиждане. Индексът е приложим за периоди от няколко десетилетия и разглеждания тук 13 годишен период е твърде кратък за да могат да се направят категорични изводи.

Скандинавския индекс (Scand) е свързан с основен циркулационен център над Скандинавския полуостров и с по-слаби центрове с над Западна Европа и Източна Русия (Западна Монголия). Този индекс е известен и като Евразия-1 (Barnston and Livezey, 1987). Месечни стойности на индекса са достъпни от 1950 г. (web, g). Положителната фаза на Скандинавския

индекс е свързана с положителни аномалии, отразяващи основните блокиращи антициклони над Скандинавия и Западна Русия. Положителната фаза на индекса е се свързва и с по-ниските от средните температури в цяла Централна Русия, а също и над Западна Европа. Характерно е и над средното количество валеж в Централна и Южна Европа и с под средното над Скандинавския полуостров.

## Глава 4

# Изследване на връзките между елементите на хидрологичния цикъл през 2014 г.

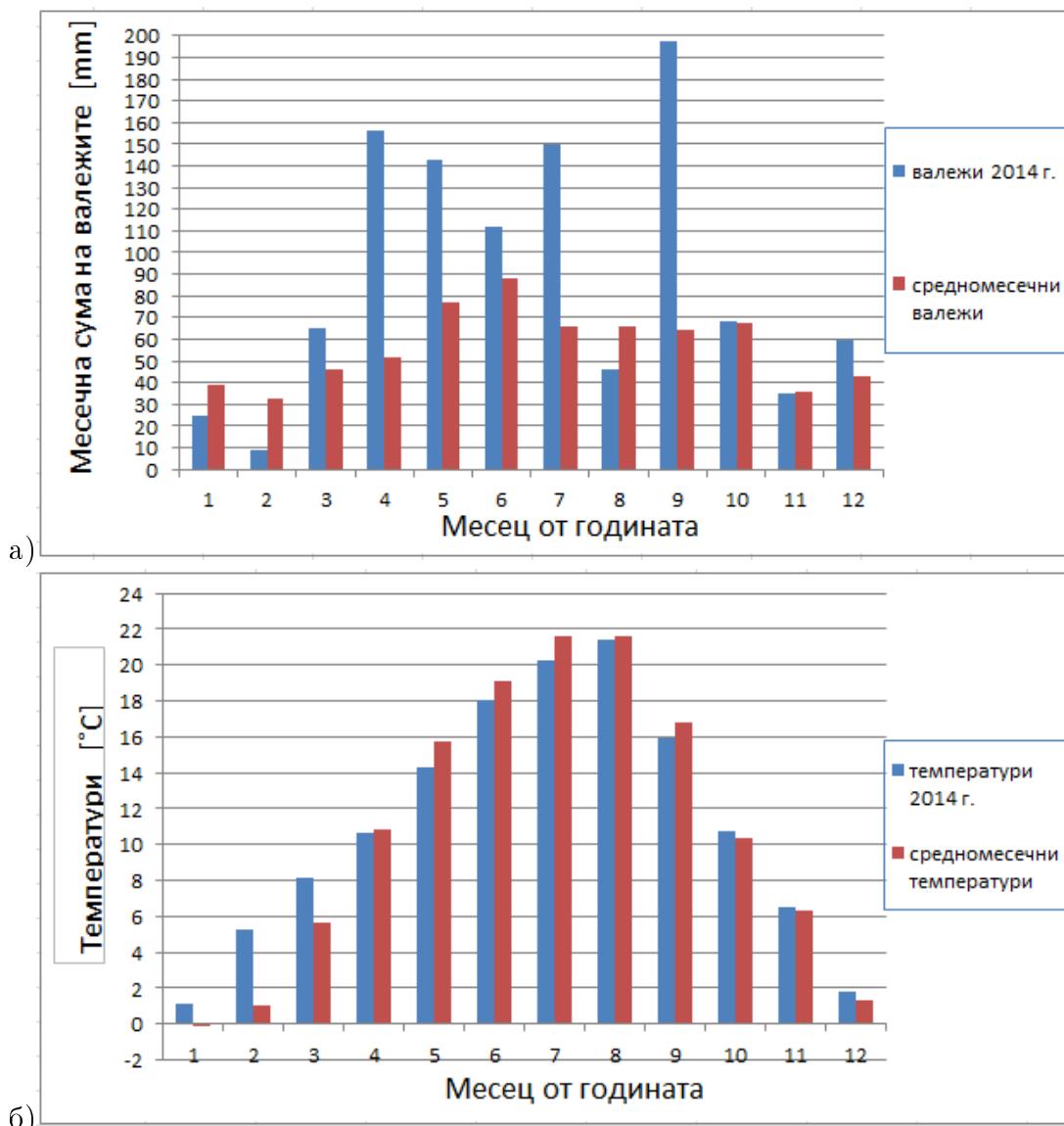
### 4.1 Аномалии на валежите, температурата, вод- ната пара и нивота на водата в почвата

Количествата на валежа и температурата за 2014 г. са сравнени със средните стойности за периода 2003 - 2015 г. и са показани на фиг. 4.1 а) и б). Средномесечните стойности са осреднени за целия период на изследването за всеки отделен месец и са показани на графиката с червен цвят. На фиг. 4.1 а) е изразено необично високото количество на валежите през 2014 г. (син цвят). Стойностите в началото на годината са под средното ниво за България, но след месец март те рязко се увеличават. От месец април до края на годината са над осреднените за периода 2003 - 2015 г. стойности като изключение правят само месеците август и ноември. Минималното количество валеж през 2014 г. е през февруари - 9 mm, а максимумът е достигнат през септември, когато се извала 197.3 mm дъжд при средномесечна норма от 64.18 mm. Количество паднал дъжд през изследваната 2014 г. за този месец е над 3 пъти по-голямо от усреднените стойности. Вторият месец с необично високи стойности е април с 156.3 mm валеж при средномесечни количества за 2003 - 2015 г. от 51.8 mm. Изключител-

но високи и почти двойни са количествата и през месеците май на 2014 г. (142.7 mm), юни 2014 г. (111.6 mm) и юли 2014 г. (150.1 mm). На графиката пролетно-летният сезон през 2014 г. е показан като необичайно влажен и това води до многобройните наводненията в България през този период от 5-6 месеца. От разгледаните синоптични обстановки с наводнения в началото на трета глава, най-голям е техния брой през месец юни, което е следствие от високите аномалии на валежа през април и май. През февруари, март и ноември няма обстановки с наводнения, поради множество фактори, но един от основните, е че през предишните месеци количеството на валежите е около или под средното ниво. Най-важната черта на резултатите е, че 2014 г. е изключително влажна година с положителни аномалии на валежа.

На фиг. 4.1 б) са показани месечните стойности на температурата за 2014 г. сравнени със средните стойности за периода 2003 - 2015 г. Температурите в началото на 2014 г. са по-високи за месеците: януари  $1.15^{\circ}$  C , при  $-0.08^{\circ}$  C за 2003 - 2015 г., февруари  $5.27^{\circ}$  C , при  $1.01^{\circ}$  C за 2003 - 2015 г. и март  $8.1^{\circ}$  C , при  $4.54^{\circ}$  C за 2003 - 2015 г. Между месеците април и септември се наблюдават по-ниски температури от средните за изследвания период с около  $0.5$  и  $1^{\circ}$  C . От октомври те отново се повишават над средните, но това увеличение не е драстично. Може да се направи извод, че изследваната година е относително по-студена, въпреки че е с изцяло положителни температури, не по-ниски от  $1^{\circ}$  C .

На фиг. 4.2 а) и б) са показани аномалиите на валежите и температурите за 2005 г., 2007 г. и 2014 г. Избрани са тези години от времевата редица от 2003 до 2015 г., защото искаме да направим пълно сравнение на изследваната 2014 г. с година аналогична на нея (2005 г.), и такава която ѝ е противоположна (2007 г.). Със син цвят е отбелязана 2005 г., със зелен - 2007 г. и с червен 2014 г. Аномалиите на валежа са изчислени, като от дадения месец през определената година е извадено средномесечното количество за периода 2003 - 2015 г. за същия месец. За аномалията на валежа за 2014 г. се виждат три положителни аномалии през месеците април ( $+104.5$  mm), юни ( $+84.29$  mm) и септември ( $+133.11$  mm). Най-голямата отрицателна аномалия за 2014 г. е през февруари ( $-23.64$  mm). Със зелен цвят е показана 2007 г. - година с няколко топлинни вълни,



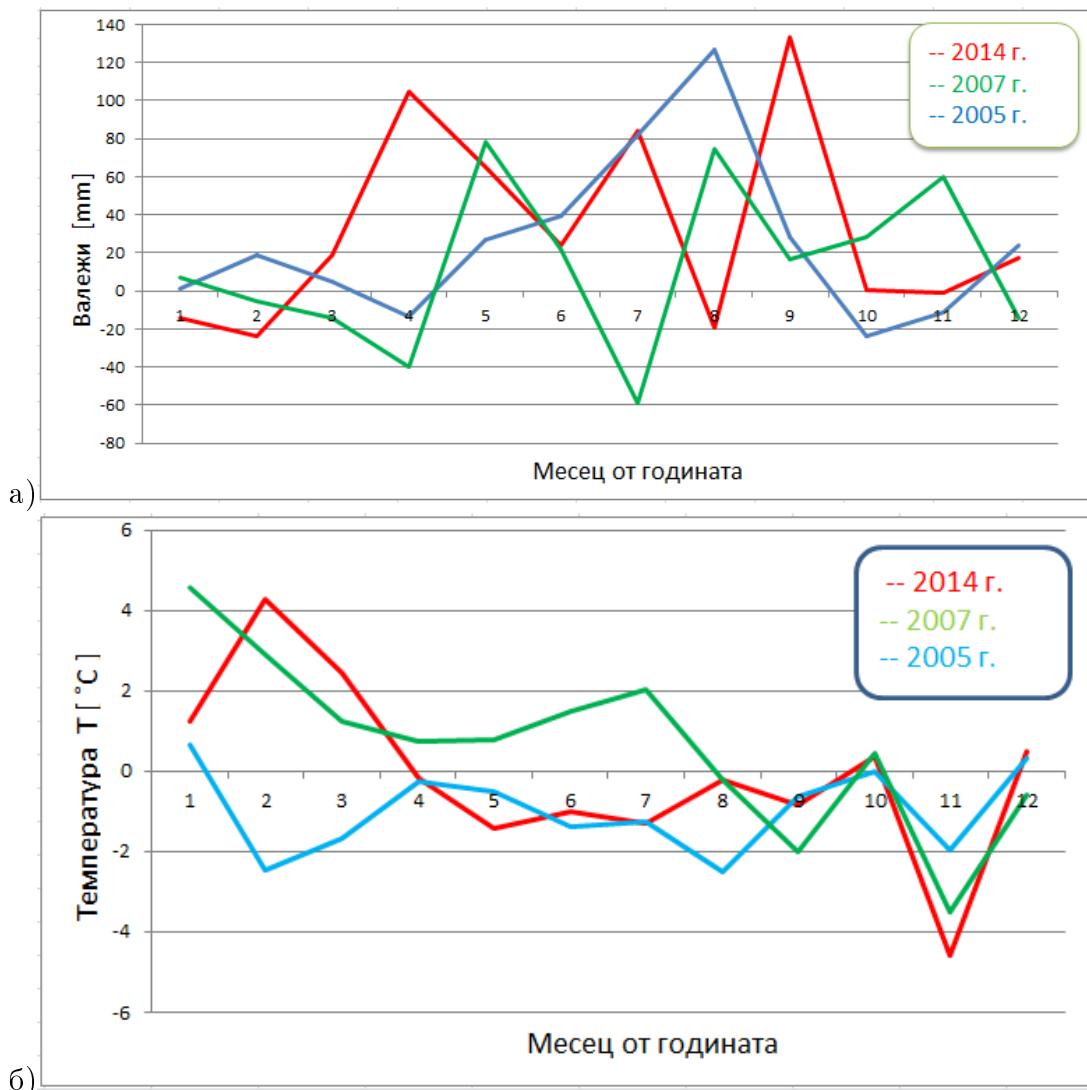
Фигура 4.1: Средномесечни: а) количество валежи в [mm] и б) температура в [° C] за периода 2003 - 2015 г. (червен стълб), сравнени с 2014 г. (син стълб) в София.

най-продължителната от които е през месец юли. Със син цвят е изобразена аномалията на валежа през 2005 г., която има високи положителни аномалии от началото на месец май до края на септември. Различното на 2005 г., е че при нея имаме ясно очертан влажен, летен сезон, докато при 2014 г. трите положителни пулсации са с необичаен характер.

Месечните аномалии на температурата са показани на фиг. 4.2 б). Прес-

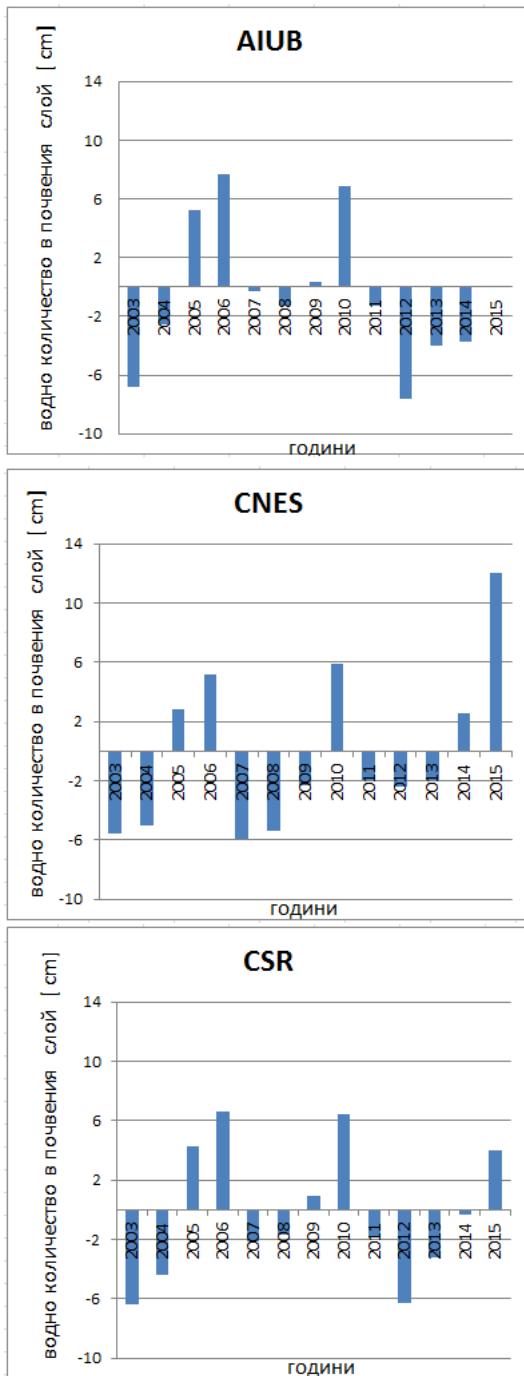
метнати са като разлики на температурите за даден месец със средномесечните стойности за съответния календарен месец за периода 2003 - 2015 г., и така са получени положителни и отрицателни аномалии. Месец февруари на 2014 г. (червена линия) се очертава като относително топъл с най-голяма положителна аномалия от  $+4.2^{\circ}\text{C}$ . Аномалията на температурата през пролетта и лятото е отрицателна, средно около  $-1^{\circ}\text{C}$ , а най-ниска стойност е през ноември  $-4.57^{\circ}\text{C}$ . Важно е да се отбележи, че през 2014 г. зимният сезон започва с високи температури, които способстват за по-бързото снеготопене, което в някои райони води до резки покачвания на речните води и появата на наводнения. Лятото е относително студено, което от своя страна е предпоставка за по-бавното изсъхване на почвата и нейното няколкото месечечно пресищане с вода. Със зелен цвят е направено сравнението с 2007 г., където аномалиите от началото на годината, до август са изцяло положителни и водещи до големи засушавания. През 2005 г., се виждат преобладаващите отрицателни аномалии в температурно отношение като единствено месеците януари и декември са с положителни стойности, малко над  $0^{\circ}\text{C}$ .

На фиг. 4.3 са представени месечните аномалии на нивото на водата в почвата за София ( $42.75^{\circ}\text{N}$ ,  $23.36^{\circ}\text{E}$ ) получени от 3 центъра за анализ - AIUB, CNES и CSR. За съжаление липсата на данни за някои от годините и главно за 2014 г. прави статистическия анализ на фиг. 4.3 нерепрезентативен, но ние ще я използваме като допълнение за нашата цел на изследването. Вижда се, че аномалиите за 2003 - 2006 г. са с еднакъв знак и със сравнително близки стойности. През следващия период от 2007 до 2009 г. аномалиите от различните източници се различават. За 2010 г. стойностите от трите центъра са близки и показват, че водата в почвения слой е била с много високи положителни аномалии ( $6.84\text{ cm}$ ,  $5.90\text{ cm}$ ,  $6.46\text{ cm}$ ). От 2011 до 2013 г. следва период на засушаване с едни от най-големите отрицателни аномалии за изследвания период. Според данните за нивото на водата в почвата на Астрономически институт, Университет Берн - AIUB през 2012 г. е била  $-7.66\text{ cm}$ . За 2014 г. има разминаване на годишните аномалии за нивото на водата в почвата според данните от трите източника. Този факт е обусловен от липсата на данни от AIUB. От данните на Националният институт за изследване на космоса на Франция - CNES



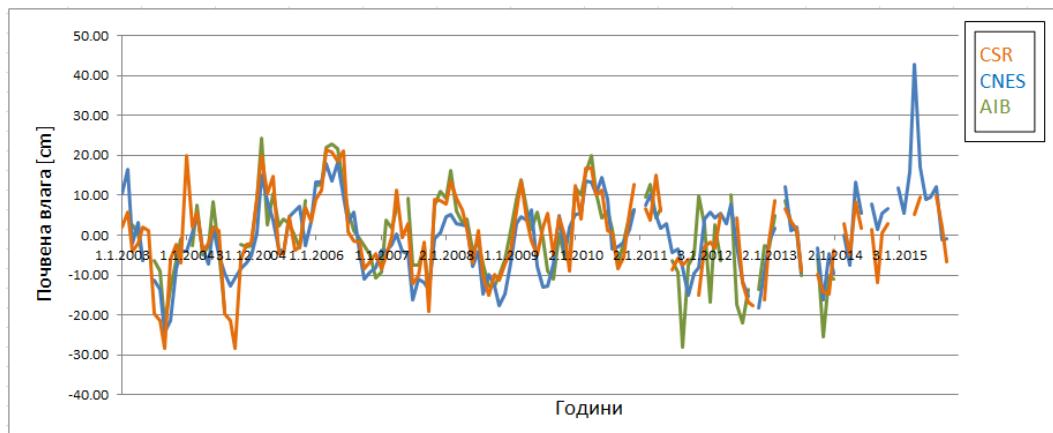
Фигура 4.2: Месечни аномалии: а) на валежа [mm] и б) температурата [ $^{\circ}$ C] за 2005, 2007 и 2014 г.

сме изчислили положителна аномалия от 2.55 см за 2014 г. Месечните стойности на аномалията на нивото на водата в почвата от център CNES следват хода на валежите през 2014 г. Данните от Центъра за изследване на космоса на САЩ - CSR дават много малка отрицателна аномалия през 2014 г. Това се дължи главно на голямата разлика в аномалиите от двата центъра през месец септември, където CSR дава отрицателна аномалия от -11.92 cm, а в CNES тя е +1.43 cm.



Фигура 4.3: Сравнение на средните годишни данни за нивото на водите в почвата [cm] от трите центъра - AIUB, CNES и CSR с координати София,(42.75 N, 23.36 E) за 2003 - 2015 г.

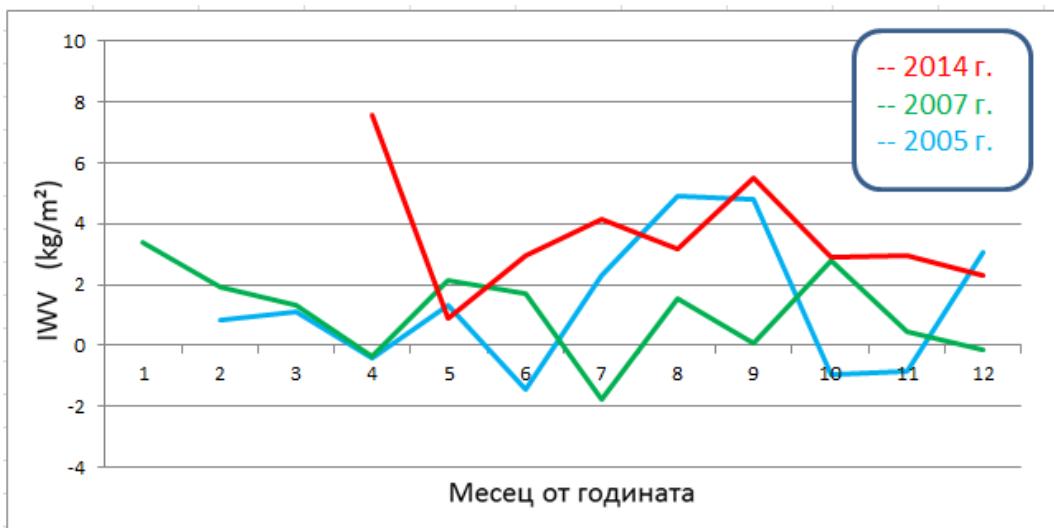
Средните месечни аномалии на нивото на водата в почвата от ГРЕЙС за всяка от годините на изследвания период от 2003 до 2015 г. са показани на фиг. 4.4. Може да се обобщи, че се очертават високи нива на водите в почвените слоеве през късна зима и ранната пролет, поради топенето на снеговете и ниски нива през летните и есенните сезони, заради високите температури и голямото изпарение. На фиг. 4.4 е показан целият период на изследване от 2003 го 2015 г. като внимание обръщаме отново на 2005 г., която също е била много дъждовна и аномалиите ѝ през цялата година са предимно положителни и според данните от трите центъра. Данните за 2007 г., през която в България е имало топлинните вълни показват, че почвената влага има отрицателни стойности, които водят до засушавания. За 2014 г. се вижда малкият брой на данните водещи до пропуски през отделните месеци. Данните на AIUB за тази година са само за месеците януари и март, което ги прави негодни за извлечение на информация и сравнения. Другите два центъра имат почти еднакъв ход през отделните месеци, които показват увеличеното ниво на водата в почвата след месец април, поради интензивните валежи. Липсват изцяло данни за месец юли и декември.



Фигура 4.4: Аномалия на нивото на водата [cm] за периода 2003-2015 г. Със синя линия са аномалиите от център CNES, зелената линия от център AIUB, а оранжевата от център CSR (web, m).

Месечните аномалии на водната пара за периода от 2003 до 2015 г. са показани на фиг. 4.5. Червената линия показва аномалията за 2014 г., но за началото на изследвания период липсват данни. От месец април до

края на 2014 г. аномалията е изцяло положителна, с най-високи стойности през месеците април ( $+7.54 \text{ kg/m}^2$ ) и септември ( $+5.51 \text{ kg/m}^2$ ). Със зелен цвят е показана 2007 г., при която си личат по-ниските нива на водна пара в атмосферата от 2005 и 2014 г., но са с близки стойности до нулата. Нейните най-високи стойности са в началото на годината  $+3.41 \text{ kg/m}^2$  и октомври  $+2.79 \text{ kg/m}^2$ . Синият цвят показва 2005 г., на която стойности ѝ са близки до тези през 2014 г., през летните месеци от юли до септември.



Фигура 4.5: Месечна аномалия на водната пара в  $\text{[kg/m}^2]$  за 2005, 2007 и 2014 г. изчислени за периода 2003 - 2015 г.

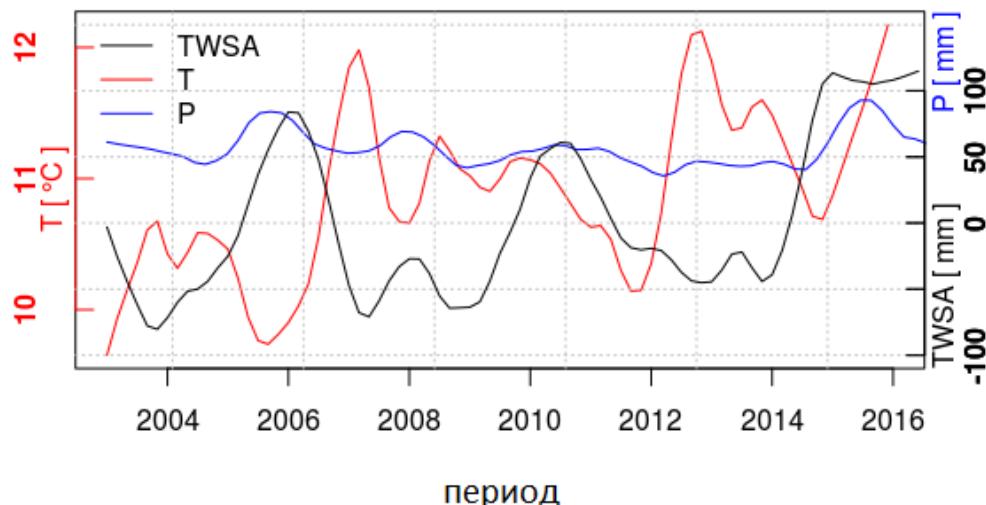
## 4.2 Дългосрочни тенденции

На фиг. 4.6 са представени дългосрочните тенденции на изменението на валежа, температурата и нивото на водата в почвата за София от 2003 до 2015 г. Стойностите показвани на графиката са усреднени, като е премахнат сезонния ход, чрез декомпозиция, тоест показвани са нискочестотните (плавни) вариации. Те очертават посоката, в която се развива редицата. Специфично, което се вижда на фигурата за 2014 г., е че температурата има локален минимум, а количеството вода в почвения слой по CNES има локален максимум. Валежите за 2014 г. също показват тенденция за увеличение. Графиката илюстрира специфична пресечна точка на три от

основните причини довели до наводнения в България през изследваната 2014 г. Основни са, защото локалното понижение на температурите, води до по-бавното изсъхване на почвения слой и неговото пресищане с вода. Увеличението на количеството на валежите е една от основната причина за появата на наводнения. Никъде другаде през избрания 13 годишен период няма такова специфично пресичане.

За сравнение може да се види 2007 г., където ходът на температурите има максимум, а този на нивото на водата в почвата минимум. Валежите през 2007 г. са с постоянен ход, който леко се понижава. Ясно се виждат топлинните вълни характерни за периода, довели до засушавания.

### Дългосрочни тенденции



Фигура 4.6: Дългосрочни тенденции с филтриран сезонен ход на валежа, температурата и водното количество в почвения слой от 2003 до 2015 г.

### **4.3 Връзка между елементите на хидрологичния цикъл в България и индексите на крупномащабна климатична променливост**

В настоящата глава ще изчислим и анализираме кроскорелациите на представените в глава 3 индекси на климатична променливост с редиците от наблюдения на валежите, температурата и водната пара за София (42.75 N, 23.36 E), както и с редиците от аномалии им спрямо средните за периода 2003 - 2015 г. стойности за съответния календарен месец. Аномалиите на почвената влага и климатичните индекси също са разгледани на фиг. 4.13, 4.14 и 4.15. Целта е да проверим дали модите на климатична изменчивост (NAO, MOI, AMO и SCAN) влияят върху компонентите на хидрологичния цикъл в България. На фиг. 4.7 до 4.15 са илюстрирани корелограмите за изследваните двойки редици. При направения анализ сравняваме корелацията между две времеви редици за различни закъснения, за да установим степента им на свързаност при дадено закъснение. За всяка изчислена стойност на кроскорелационния коефициент правим и статистически тест за нулеви корелации. При този тест нулевата хипотеза е, че редиците са независими и коефициента на корелация между тях е нула. За да се провери дали това е така се използва тестова статистика, която следва разпределение на Стюдънт с  $n-2$  степени на свобода. Ако стойността на тестовата статистика надвишава определена критична стойност (която съответства на критична стойност на изчисления кроскорелационен коефициент), то отхвърляме нулевата хипотеза (за съответно ниво на значимост) в полза на алтернативната хипотеза, че редиците са свързани. Пунктирани линии на съответните графики показват критичните стойности на кроскорелационния коефициент, които ако са надвишени, то отхвърляме хипотезата за некорелираност на редиците с ниво на значимост - 5 %. Ако стойността на изчисления кроскорелационен коефициент попада в интервала между пунктирани линии, то приемаме нулевата хипотеза, че редиците са некорелирани и не съществува връзка между двете променливи. При анализа ще описваме и посоката на връзката - дали е положителна или отрицателна. Това означава, че ако имаме положителен

лен знак на изчисления кроскорелационен коефициент, тенденцията на нарастване (намаляване) в дадена редица ще бъде съпроводена със същата тенденция (нарастване или намаляване) и в корелираната с нея редица. Когато знакът на изчисления кроскорелационен коефициент е отрицателен, то тенденцията на нарастване в една от редиците е по-вероятно да бъде съпроводена от тенденция на намаляване в другата редица, както и тенденция на намаляване в първата редица е по-вероятно да бъде съпроводена от тенденция на нарастване в другата редица. Лявата част на графиката показва закъснението, а дясната избръзването на индексите спрямо валежите, температурата, водната пара или почвената влага.

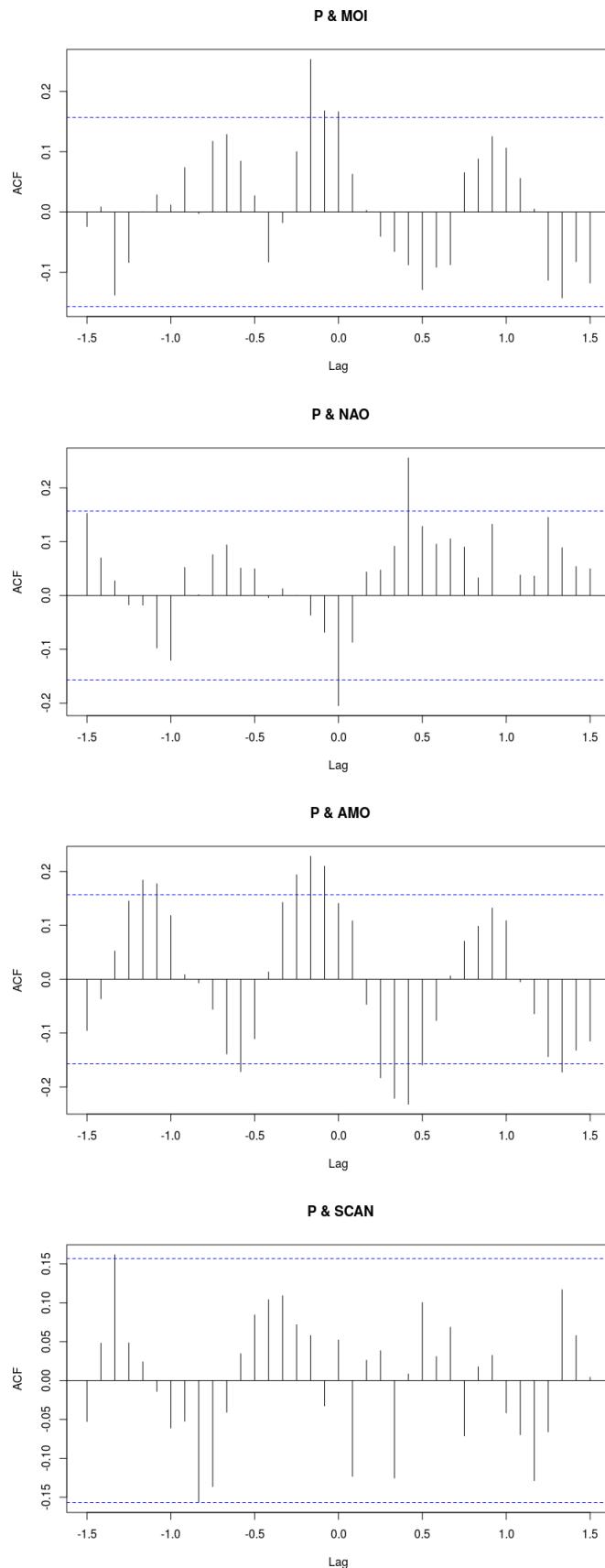
На фиг. 4.7 и 4.8 са показани кроскорелациите на средномесечните стойности на валежите в София и техните аномалии с индексите на климатична променливост: MOI, NAO, AMO и SCAN за различни закъснения на редиците една спрямо друга. При корелограмите сравняващи стойностите на кроскорелационните коефициенти, определящи връзката на валежите с индектие на климатична променливост се наблюдава отчетлив годишен ход. Поради това наблюдаваните надвишения на стойностите на кроскорелационния коефициент над критичните (извън пунктирните линии) не могат да се интерпретират като наличие на свързаност между редиците. Когато сравняваме индексите на климатична променливост с аномалиите на валежа в София този годишен ход е до голяма степен филтриран. При валежните аномалии сравнени с MOI индекса се получава за закъснение от 2 месеца надвишение на критичната стойност и съответно отхвърляне на нулевата хипотеза. Наличието на остатъчен периодичен ход в данните, както и малката стойност на надвишение на изчисления кроскорелационен коефициент спрямо критичната му стойност, поставят под съмнение приемането на наличие на свързаност на редиците. Ако все пак има връзка между валежите в София и MOI индекса тя е много слаба, със стойност на корелационния коефициент около +0,19. С NAO индекса се получава положителна корелация +0,25 при избръзване от 1 година. От предишната фигура се вижда, че при същото закъснение стойностите на корелационния коефициент, определящ връзката между валежите и NAO индекса е неотличим от нула. Всъщност тази графика показва, че валежите в София са отрицателно корелирани с NAO индекса. Комбинираната интерп-

ретация на връзката между NAO индекса и валежите в София, както и техните аномалии показва, че е възможно да има слабо влияние на Северноатлантическата осцилация върху валежите в София. Анализът на корелограмите илюстриращи свързаността на валежните аномалии в София с индексите на AMO и SCAN, показва, че такава връзка няма. AMO и SCAN не влияят на валежите в София. Наблюдаваните надвишения на критичните стойности на кроскорелационния коефициент, илюстриращ свързаността между AMO и софийските валежи се дължи на наличие на годишен ход в данните, а не на физически механизъм.

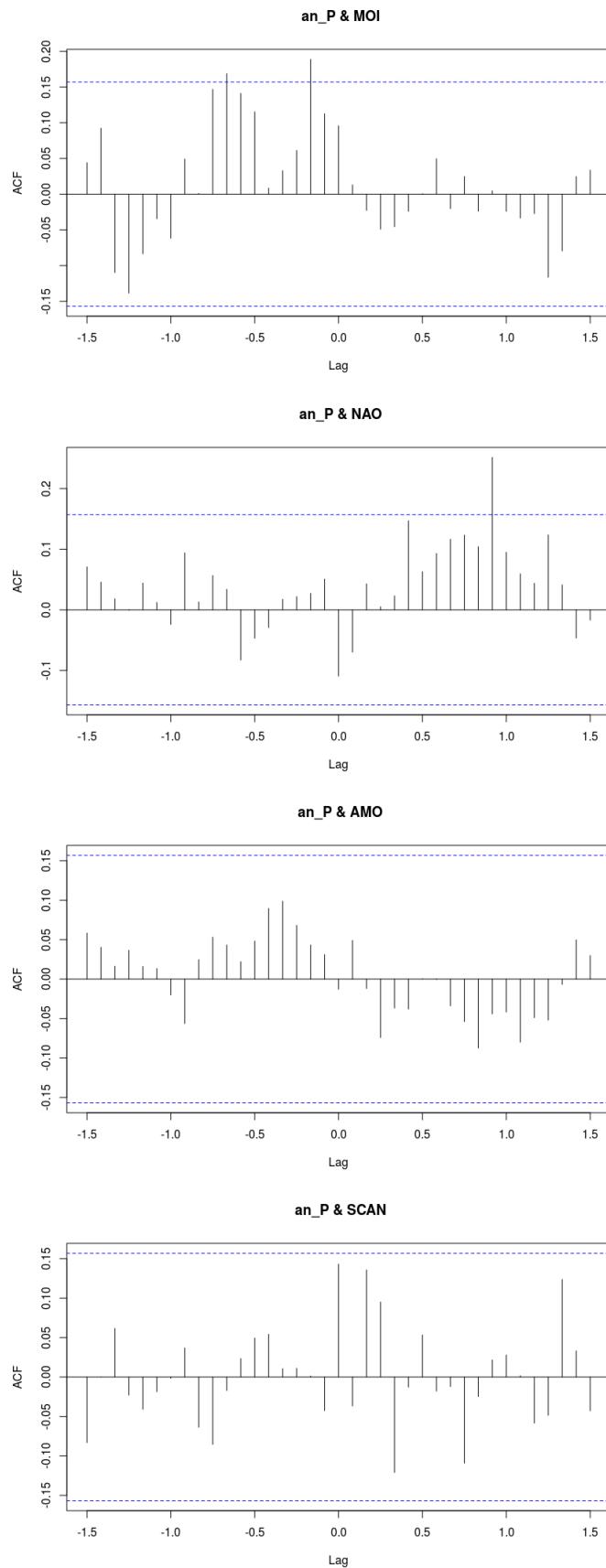
На фиг. 4.9 и 4.10 са показани кроскорелациите на средномесечните стойности на температурата в София и нейната аномалия с индексите на климатична променливост: MOI, NAO, AMO и SCAN за различни закъснения на редиците една спрямо друга. За корелограмите, илюстриращи свързаността на температурата в София с 4-те индекса се наблюдава ясно изразен сезонен ход, затова наблюдаваните надвишения на кроскорелационния коефициент над критичните стойности не бива да се интерпретират като наличие на свързаност на редиците. За да се установи евентуална свързаност между тях е необходимо да се отстрани годишния ход, тоест да се използва редицата на температурните аномалии (фиг. 4.10). При NAO нямаме статистическа връзка. При MOI за закъснение от 17 месеца се наблюдава стойност на кроскорелационния коефициент -0,18, която леко надвишава критичната му стойност. За индекса AMO и температурата се наблюдава стойност на кроскорелационния коефициент от -0,17 при закъснение от 10 месеца. Както за MOI, така и за AMO обаче се наблюдава остатъчен нефилтриран годишен ход в съответните корелограми илюстриращи връзката с температурните аномалии в София. Следователно наблюдаваните леки надвишения на критичните стойности не са реален ефект, а се дължат на нефилтрирания напълно годишен ход. При индекса SCAN се наблюдава надкритична стойност на корелационния коефициент от +0,2 при избързване на индекса спрямо температурната аномалия с 1 година. Този резултат също вероятно се дължи на остатъчна периодичност, а не на реална свързаност между редиците. В обобщение можем да кажем, че и за 4-те изследвани индекса няма убедителни доказателства, че има свързаност между тях и температурните аномалии в София.

Водната пара също не показва свързаност с никои от 4-те използвани индекса (фиг. 4.12). Единствено за НАО индекса при закъснение от 5 месеца и избързване от 7 месеца, се наблюдават надкритични стойности от съответно -0,2 и -0,23. Малкото надвишение на наблюдаваните стойности спрямо критичните, както и наблюдаването на нискочестотен тренд в корелаграмата обаче поставя под съмнение дали този резултат може да се интерпретира като наличие на слаба свързаност на НАО с водната пара в София или като липса на такава връзка. Наблюдаваните на фиг. 4.11 надвишения на критичните нива на кроскорелационния коефициент за различни стойности на закъснението се дължат на неотстранения годишен ход, а не на физически механизъм.

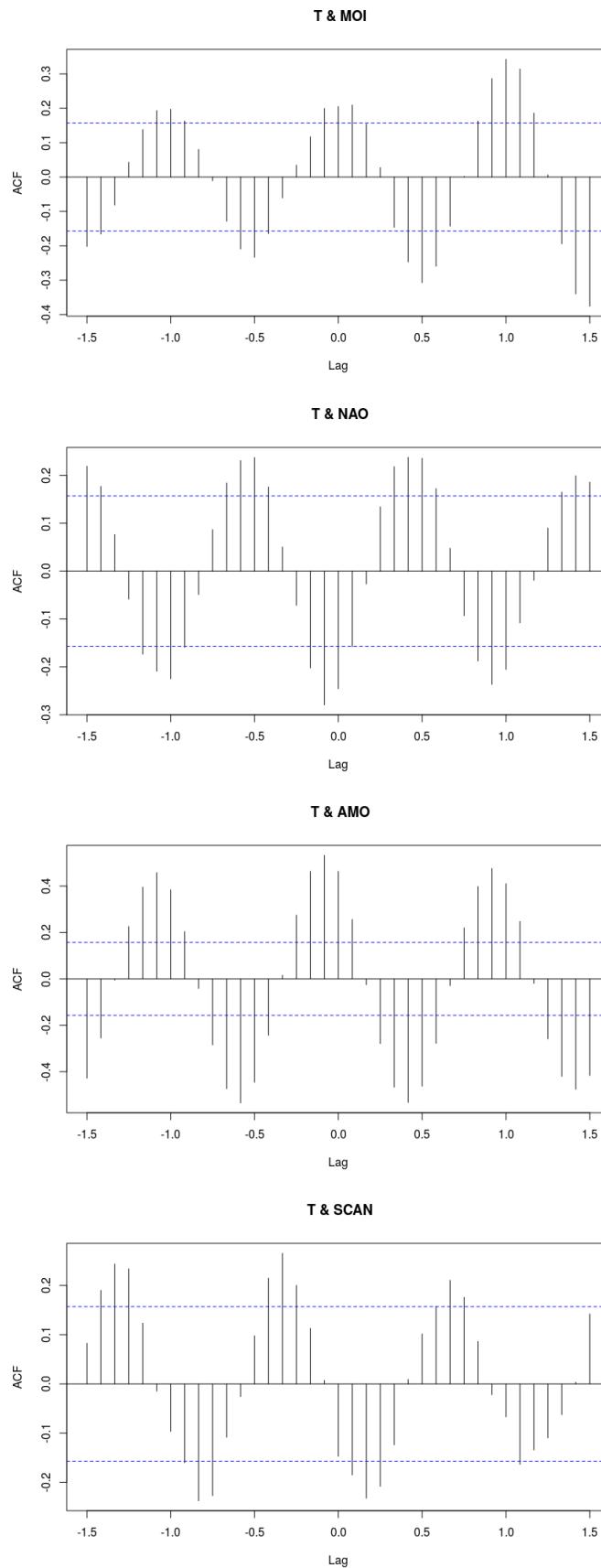
На фиг. 4.13, 4.14 и 4.15 са илюстрирани кроскорелациите на индексите на климатична изменчивост с месечните стойностите на аномалията на нивото на водата в почвата от AIUB, CNES и CSR. И на трите фигури се вижда ясно отчетлив периодичен процес, дължащ се на годишен ход. Това затруднява процеса на анализа, и наблюдаваните надвишения на стойностите на кроскорелационния коефициент над критичните не се дължат на физическа причина, а именно на годишния ход. Поради тази причина не могат да се интерпретират като наличие на свързаност между редиците. В заключение можем да обобщим, че няма силна статистическа зависимост между избранныте индекси и елементите на хидрологичния цикъл и температура. Получените резултати за слаби корелации за някои от редиците са с ниска статистическа достоверност, поради малката дължина на редиците. Много е вероятно дори и в тези случаи да липсва свързаност между изследваните параметри. Дължината на редицата (2003 - 2015 г.) не е достатъчно голяма, за да ограничи статистическата неопределеност на резултатите.



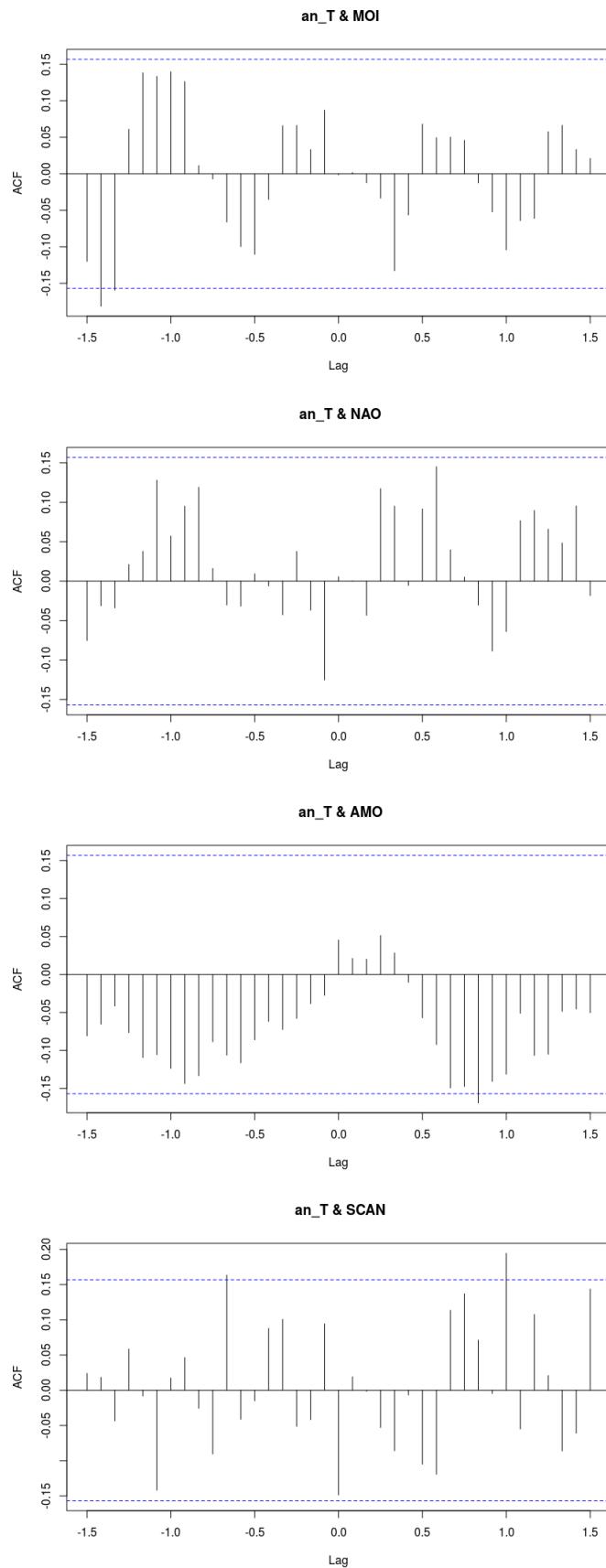
Фигура 4.7: Кроскорелация на редиците от средномесечни стойности на валежите с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



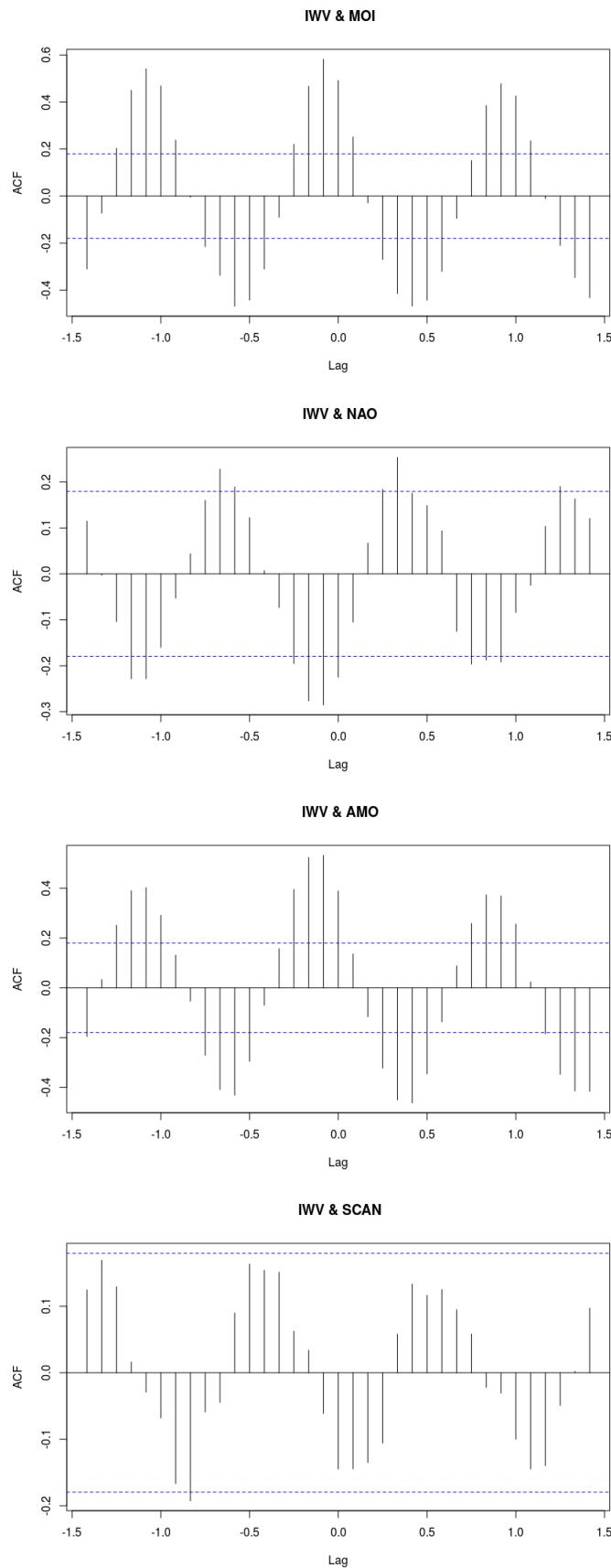
Фигура 4.8: Кроскорелация на аномалиите на валежите с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



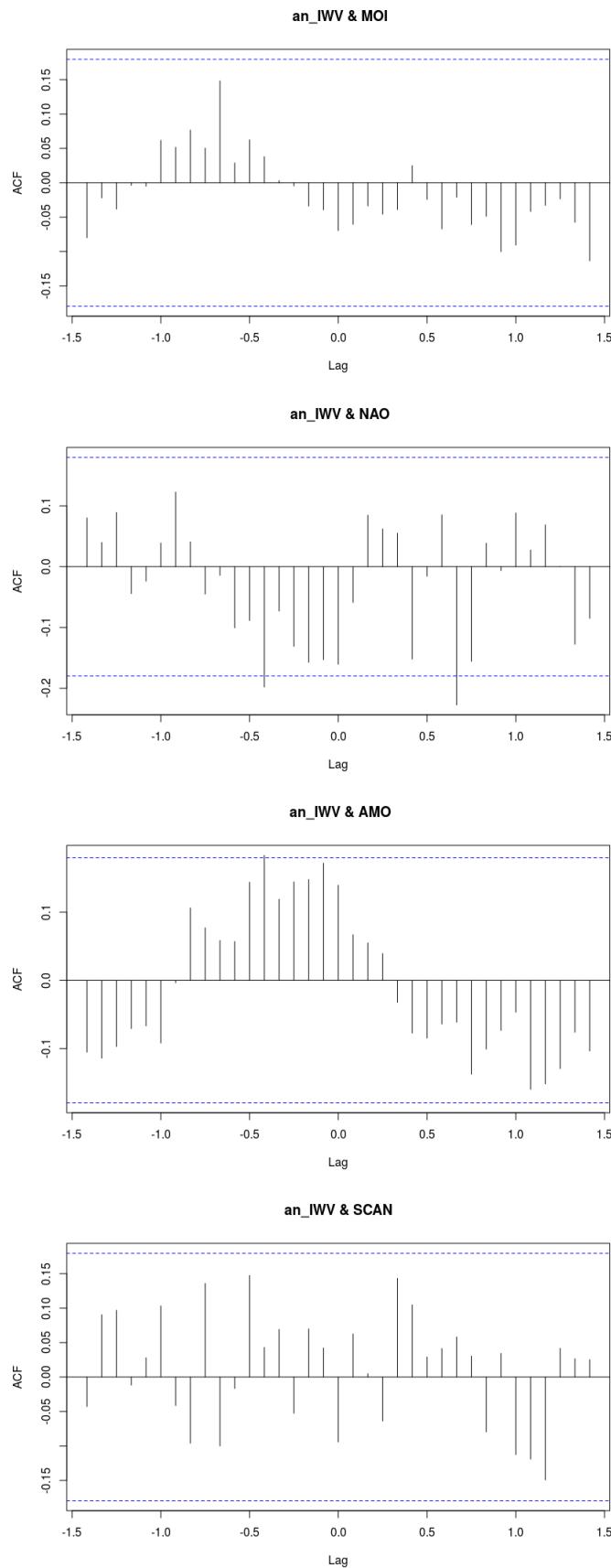
Фигура 4.9: Кроскорелация на редиците от срдномесечни стойности на температурата с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



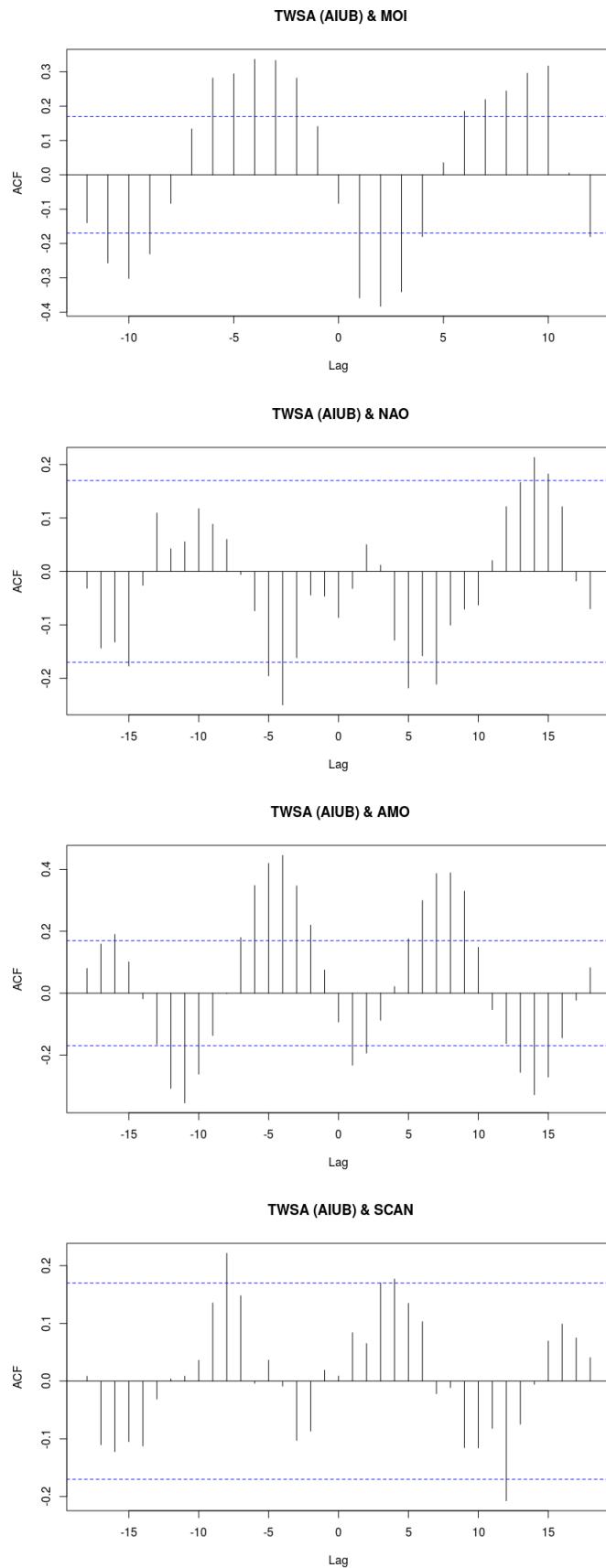
Фигура 4.10: Кроскорелация на аномалиите на температурата с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN.



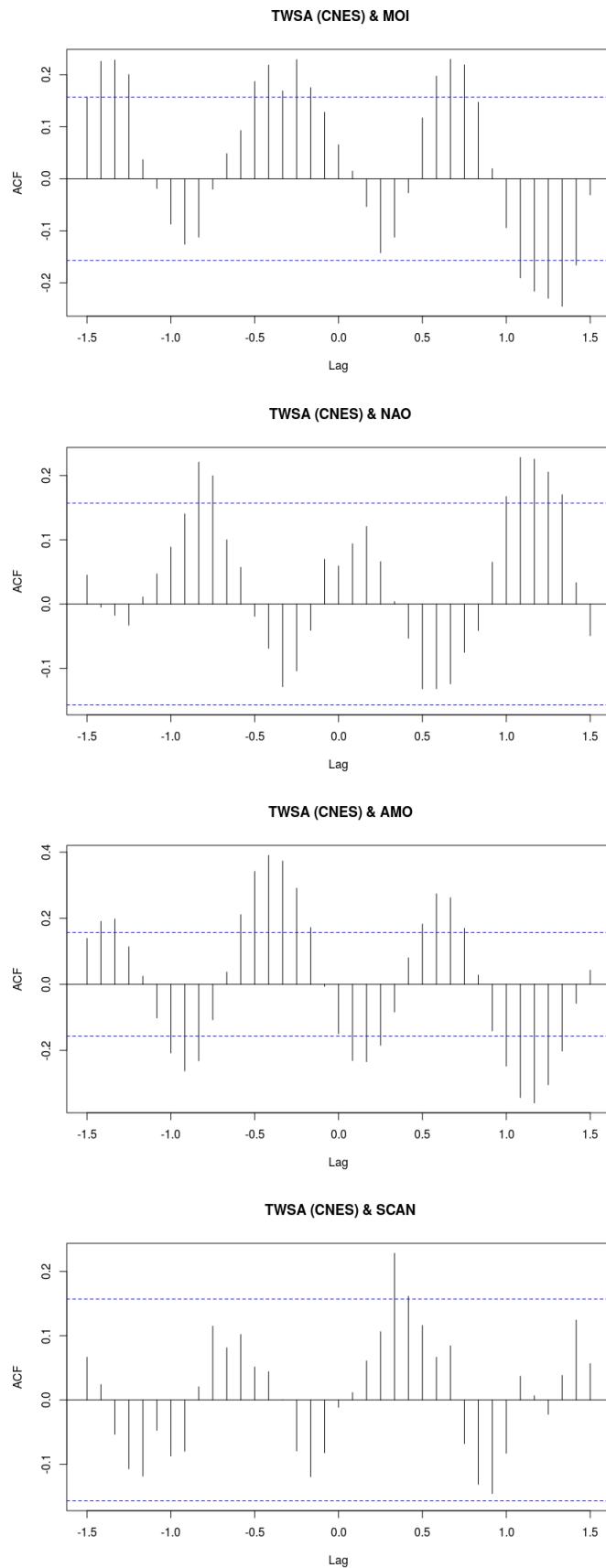
Фигура 4.11: Кроскорелация на редиците от срдномесечни стойности на водната пара с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



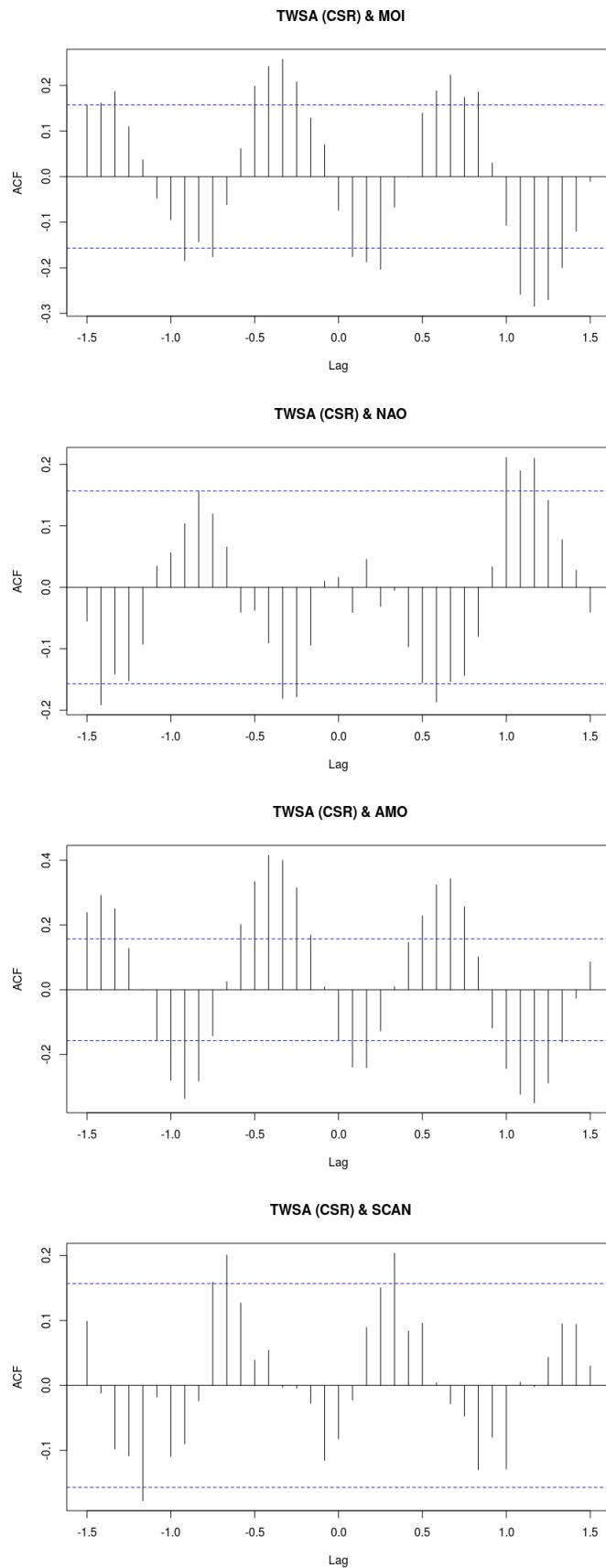
Фигура 4.12: Кроскорелация на аномалиите на водната пара с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



Фигура 4.13: Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от AIUB с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



Фигура 4.14: Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от CNES с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN



Фигура 4.15: Кроскорелация на аномалиите на количеството вода в почвата от CSR с индексите MOI, NAO, AMO и SCAN

## Глава 5

### Заключение

Началната енергия на наводненията се получава от поройни валежки или интензивно снеготопене, а по-нататък тя се определя от ландшафтните фактори (геологически строежи, наклони и разчлененост на релефа, хидрографска структура и почвено-растителна покривка) на речните басейни. Наводненията през 2014 г. са резултат от комбинация на интензивни валежки и снеготопене, но също и от ненавременни действия по превенция и преодоляване на риска от наводнения. Натрупаните с години нерегламентирани замърсявания, строежи, сеч и други фактори засилват многократно мащабите на бедствието. Важно е да се отбележи, че през 2014 г. зимният сезон започва с високи температури, които способстват за по-бързото снеготопене, което в някои райони води до резки покачвания на речните води и образуването на наводнения. Лятото е относително студено, което от своя страна е предпоставка за по-бавното изсъхване на почвата и нейното няколкомесечно пренасищане с вода. В тази дипломна работа са анализирани синоптични обстановки с наводнения през 2014 г. в България. Аномалиите на валежка, температурата, водната пара и нивото на вода в почвата са получени от наземни и спътниково данни.

Направеното изследване на аномалиите сравнено със средномесечните норми на метеорологичните елементи, показва мащабността на екстремните явления през 2014 г. Положителните аномалии на валежите започват от месец март 2014 г. и достигат своя максимум през септември - 197.3 mm при средномесечна норма от 64.18 mm, която е над 3 пъти по-голяма. Пролетно-летният сезон също е необичайно влажен и това води до мно-

гобройните наводнения през този период. Най-много синоптични обстановки довели до наводнения има през месец юни, следствие от високите аномалии през предходните 2 месеца - април и май. За температурите през 2014 г. може да се обобщи, че са под средните и годината е относително по-студена. Важно да се отбележи, че месеците от средата на февруари до май са с положителна аномалия на температурата, което води до интензивно снеготопене. Анализа на данните на водната пара също показва положителни аномалии през месеците с наводнения, като техният максимум е отново през април и септември. В дипломната работа бяха обработени месечните аномалии на нивото на водата в почвата по данни на спътникова система ГРЕЙС от 3 центъра на изследване - AIUB, CNES и CSR. Аномалиите, които се получават от центровете за 2014 г. се различават, поради липсата на данни в някои от месеците. Националният институт за изследвания на космоса на Франция - CNES, дава положителна аномалия от 2.55 см за цялата година. Обобщено данните за нивото на вода в почвата за периода 2003 - 2015 г. показват високи нива през ранна пролет и късна зима, поради топенето на снеговете, и ниски нива през летните и есенните месеци, поради високите температури и голямото изпарение. Тези наблюдения са добра основа за изучаване на сезонния ход на водата в почвата в България. В дипломната работа е изследвана и връзката между аномалиите на температурата, валежа, водната пара и нивото на водата в почвата с 4 индекса за климатична изменчивост (NAO, MOI, AMO и SCAN). Не се установи статистическа значима връзка между индексите и аномалиите, което вероятно се дължи на малката дължина на редиците.

# Библиография

- Flash flood early warning system reference guide,  
[http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewwsrg/FF\\_EWS.pdf](http://www.meted.ucar.edu/communities/hazwarnsys/ffewwsrg/FF_EWS.pdf), a.
- Danube floodrisk map, <http://maps.biodiversity.ro/>, b.
- Global precipitation climatology project 1979 - 2010, version 2.2., [http://research.jisao.washington.edu/data\\\_sets/gpcp/](http://research.jisao.washington.edu/data\_sets/gpcp/), c.
- Mediterranean Oscillation index, <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/moi/>, d.
- North Atlantic Oscillation, <https://crudata.uea.ac.uk/cru/data/nao/>, e.
- Брой на наводненията в България 2010-2015 г., <http://www.nsi.bg/bg/content/2915/>, f.
- Climate prediction center - Scandinavia, <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/scand.shtml>, g.
- Serbia floods 2014, [http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-ed\\_emp/documents/publication/wcms\\\_397685.pdf](http://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/-ed_emp/documents/publication/wcms\_397685.pdf), h.
- Balkan flood 2014, <http://www.aon.com/czechrepublic/attachments/2014>, i.
- Encyclopedia of climate and weather, [https://books.google.bg/books?id=av7q4N8Ib6sC&printsec=frontcover&source=gbss\\_ge\\_summary](https://books.google.bg/books?id=av7q4N8Ib6sC&printsec=frontcover&source=gbss_ge_summary), j.
- Gravity recovery and Climate Experiment, <http://www.csr.utexas.edu/grace/overview.html>, k.

Danube floodrisk project 2011-2014., <http://www.danube-floodrisk.eu/2011/11/press-releases/>, l.

European Gravity Service for Improved Emergency Management, <http://plot.egsiem.eu>, m.

Several flood highlight climate change challenge for insurer and EU, <https://www.euractiv.com/section/climate-environment/news/severe-floods-highlight-climate-change-challenge-for-insurers-and-eu/>, n.

Extreme 2014 Balkan flooding linked to airstream slowdown, <https://summitcountyvoice.com/tag/balkans/>, o.

Record Balkan floods of 2014 linked to planetary wave resonance article, <http://advances.sciencemag.org/content/advances/2/4/e1501428.full.pdf>, p.

Report – flood losses in Europe to increase fivefold by 2050, <http://floodlist.com/europe/report-floods-europe-increase-fivefold-2050>, q.

South Europe floods 2014, [https://en.wikipedia.org/wiki/2014\\_Southeast\\_Europe\\_floods](https://en.wikipedia.org/wiki/2014_Southeast_Europe_floods), r.

Trend in river floods across Europe, <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/river-floods/river-floods-assessment-published-sep-2008>, s.

Стойчева, А., et al., Наводненията през 2014 г. и обуславящите ги условия, *НИМХ-БАН*, 20(5), 73–103, 2015.

Barnston, A. G., and R. E. Livezey, Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns, *Monthly weather review*, 115(6), 1083–1126, 1987.

НИМХ БАН, *Интензивни дъждове в НР България, PUBLISHER = НИМХ-БАН, YEAR=1986.*

Мардirosян, Г., *Природни бедствия и екологични катастрофи изучаване, превенция, защита.*, АИ Проф. Марин Дринов, YEAR=2009.

Мардirosян, Г., *От космоса срещу екологичните катастрофи*, АИ Проф.Марин Дринов, 1993.

Христова, Н., *Обща хидрология*, Тип Топ Прес, 2009.

Векилска, Б., *Обща климатология*, Университетско издание Св.Климент Охридски, 2012.

Guerova, G., T. Simeonov, and N. Yordanova, The Sofia University Atmospheric Data Archive (SUADA), *Atmospheric Measurement Techniques*, 7(8), 2683–2694, 2014.

Guerova, G., et al., Review of the state of the art and future prospects of the ground-based GNSS meteorology in europe, *Atmospheric Measurement Techniques*, 9(11), 5385, 2016.

Meyer, U., A. Jäggi, Y. Jean, and G. Beutler, AIUB-RL02: an improved time series of monthly gravity fields from GRACE data, *Geophysical Journal International*, p. ggw081, 2016.

Seneviratne, S., et al., *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation a special report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 2012.

Swenson, S., and J. Wahr, Post-processing removal of correlated errors in GRACE data, *Geophysical Research Letters*, 33(8), 2006.