

БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ

Лилия Иванова Бочева

**КЛИМАТИЧНИ ВАРИАЦИИ И ОЦЕНКА НА
ОПАСНИ МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ЯВЛЕНИЯ ПО
КОНВЕКТИВНИ БУРИ НАД БЪЛГАРИЯ
(1961-2010)**

АВТОРЕФЕРАТ

на дисертация

За присъждане на образователната и научна степен

„доктор”

В област на висше образование 4. Природни науки, математика и информатика, професионално направление 4.1. Физически науки (Метеорология)

Научен ръководител
Доц. д-р Петьо Симеонов

София, 2014 г.

Дисертацията е с обем 132 страници. Състои се от увод, три глави, заключение, 4 приложения и списък на цитираната литература, включващ 186 заглавия, от които 40 на кирилица и 146 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и предложен за защита на разширен научен семинар на департамент „Метеорология” на НИМХ-БАН, проведен на 16.07.2014г.

Докторантката работи като главен асистент в департамент „Метеорология” на НИМХ-БАН, София.

Състав на научното жури:

проф. д-р Христо Георгиев, НИМХ - БАН
доц. д-р Петьо Симеонов, НИМХ - БАН
проф. дн Костадин Ганев, НИГГГ - БАН
доц. д-р Румяна Мицева, Физически Факултет на СУ
доц. д-р Гергана Герова, Физически Факултет на СУ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 06.11.2014 г. от 14:00 часа в заседателната зала на Учебния център на НИМХ, гр.София.

СЪДЪРЖАНИЕ

I. Обща характеристика на дисертационното изследване

Актуалност на изследването.....	4
Цел и задачи.....	5
Методи на изследване	6
Обект, предмет и обем.....	7
Апробация на дисертацията.....	8

II. Кратко изложение на дисертационния труд

Глава 2. Пространствено-временни колебания и тенденции в разпределението на ОМЯ от конвективен произход	8
<i>Грьмотевични бури</i>	10
<i>Валежи от град</i>	14
<i>Потенциално опасни валежи</i>	19
Глава 3. Климатичен анализ на торнада (смерчове) в България (1956- 2010г.)	26
<i>Пространствено-временни характеристики на торнадата в България през изследвания период</i>	28
<i>Метеорологични условия при възникване на торнада през периода 2001-2010 г.</i>	32
<i>Сравнителен анализ на особени случаи – „зимно” и „лятно” торнадо</i>	35
Глава 4. Комплексен анализ на опасни конвективни бури	35
<i>Екстремни валежи в България (1951-2010 г.)</i>	35
<i>Анализ на обстановки, водещи до екстремни валежи в Източна България</i>	38
<i>Анализ на мощни конвективни бури над България през периода 1991-2010 г.</i>	39
Заклучение	41
Приноси	44
Списък на публикации, свързани с дисертационния труд	45
Литература.....	46
Благодарности	50

I. Обща характеристика на дисертацията

Актуалност на изследването

Значимостта на проблема за изследване и мониторинг на опасни метеорологични явления (ОМЯ) от конвективен произход на територията на всяка отделна държава и в частност за България се определя от следните фактори:

- Конвективните бури играят основна роля за определяне на времето и климата, като преразпределят топлина, влага и атмосферни газове по вертикалата и хоризонталата в атмосферата. Основната част от валежите в тропиците и в умерените ширини през топлото полугодие се дължат на тях. Когато конвекцията на въздушните маси е изключително мощна, тя води до създаването на условия за развитието на опасни метеорологични явления, причиняващи щети на селското стопанство, инфраструктурата, имуществото и застрашаващи живота на хората. Макар определенията за ОМЯ да варират от място на място, то в повечето случаи се имат предвид интензивни и обилни валежи, гръмотевични бури, градушки, често съпроводени с пориви на силен до бурен вятър; понякога водещи и до опасни явления като шквал, деречо или торнадо (смерч). Всички те са свързани с развитието на мощни конвективни бури (МКБ), чийто интензитет и честота рязко нарастват след началото на 90^{те} години на 20 век (Brazdil, 2002; Groisman et al., 2005; Alexander et al., 2006; Brooks & Dotzek, 2007; Kunkel et al., 2013 и др.) Редки по време и място, тези метеорологични явления са трудни за изследване без специализирани полеви експериментални проекти и специализирана измервателна апаратура.
- Според експертите към Световната метеорологична организация (СМО) 90% от природните бедствия се дължат на метеорологичното време, климата и водата (WMO Brochure No. 993, 2006). Според резултатите, публикувани в 4^{ия} международен доклад на комисията към СМО Intergovernmental Panel of Climate Change (IPCC, 2007) и специалния доклад по проблемите на адаптиране към природните бедствия (IPCC, 2012), в много райони на света през последните десетилетия рязко нараства честотата на ОМЯ.
- През последните години се увеличава честотата на екстремните метеорологични и климатични явления в България (Климатични промени, 2010). Особено след средата на 90^{те} години на 20 век, серия от бедствени ситуации, свързани главно с развитието на МКБ, предизвикват сериозни материални щети и човешки жертви, в редица райони на България. Само през първата половина на настоящата 2014 година ОМЯ от конвективен произход са причина

за огромни щети върху селскостопанска продукция, инфраструктура, жилищни и обществени сгради, като са довели до смъртта и на над 20 души в различни области на страната.

- Доклад от 2013 г., изготвен от съвместен координиран одит на 8 европейски държави: "Адаптация към климатичните промени - готови ли са правителствата?", сочи че България попада в един от районите със засилени тенденции към затопляне, както и увеличаване на честотата на екстремните метеорологични и климатични явления като засушавания и случаи с проливни валежи, гръмотевични бури и градушки. Съвместният одит показва, че правителствата не са достатъчно подготвени за очакваните последиствия от промените в климата и не предприемат адекватни действия за справяне с неизбежните негативни ефекти от тях. В тази връзка е необходимо изграждането на адекватни програми за превенция на населението от подобни ОМЯ, съобразени с реалностите на изменящия се климат.
- Необходимост от изграждане на единна система за ранно предупреждение за очаквани ОМЯ.

Тези обективни обстоятелства водят до необходимостта за изследване на вариациите и тенденциите в разпределението и интензивността на ОМЯ от конвективен произход в България, особено през последните няколко десетилетия. Значението на подобни климатични оценки се засилва и от факта, че последните анализи на гръмотевични бури и градови процеси, правени за територията на цялата страна, са публикувани между 1955 и 1989 година. В същото време до този момент в България не са публикувани и цялостни климатични изследвания и верификация на регистрираните случаи на торнадо.

Цел и задачи

Основна цел на дисертацията е да се представят измененията в разпределението и честотата на такива ОМЯ, като: гръмотевични бури (ГБ), градушки, потенциално опасни валежи и торнадо (смерч), регистрирани на територията на страната през последните 50 години, като се обърне особено внимание на периода след 1991 г. В подкрепа на целта са разгледани, анализирани и систематизирани наши и чужди изследвания в тази област. Те са сравнени с получените в хода на изследването резултати.

За изпълнението на така поставената цел се решават няколко специфични задачи:

- Създаване на електронни базови таблици за някои от изследваните ОМЯ, за които съществуващата към момента информация е налична само на книжен носител.
- Проверка, контрол, обобщение и систематизиране на редиците от данни за разглежданите ОМЯ.
- Развитие на методи, подходи и критерии за оценка на честотата и интензивността както на отделните видове ОМЯ, така и на комбинациите от тях.
- Сравнителен статистически анализ на времевите и пространствените вариации за всяка група от изследваните ОМЯ.
- Разширяване на познанието относно условията за генезис и развитие на ОМЯ от конвективен произход за различните райони на България.
- Верификация, обобщаване и систематизиране на информацията от всички достъпни източници за изследваните явления.

Методи на изследване

При разработката на поставената тема е приложен комплексен подход към анализа на ОМЯ. Изследвани са както пространствено-временните изменения на различните опасни явления, така и честотните им характеристики, като те са анализирани и групирани по избрани показатели. Широко е застъпен сравнителният анализ.

В метеорологичната база данни (МБД) са създадени базови таблици и са разработени Transact-SQL програмни заявки и процедури за оценка и сравнение на изследваните метеорологични елементи: ГБ, валежи от град и потенциално опасни и екстремни 24-часови валежи. Експертният контрол е направен на базата на стандартни процедури за месечни и годишни изводи и чрез сравнение със станции-аналози. При статистическата оценка за значимост на получените резултати е използвано разпределението на Поасон, χ^2 разпределение и “box-plot” диаграми (StatSoft Inc. 2004), както и критерия на Ман-Кендъл (Package Kendall, 2008). Използван е графичен и табличен вид за представяне на основните резултати. Чрез подходящи карти са онагледени пространствените вариации на ГБ за 2 сравними периода, както и годишната честота на торнадата за всяка област в България.

За пресмятане на термодинамични характеристики и индекси на неустойчивост е използван надграденият през 2013 г. емпиричен неадиабатен модел за облачна конвекция (Simeonov and Syrakov, 1988). Извършен е и обобщен синоптичен анализ на обстановки, свързани с развитието на ОМЯ.

Обект, предмет и обем на дисертацията

Основен **обект на изследването** са ОМЯ, свързани с развитието на МКБ (ГБ, градушки, потенциално опасени валежи, комбинацията от тях; торнада) за различните райони на страната.

Предмет на изследването е сравнителен климатичен анализ на пространствено-временните характеристики, статистическа оценка, както и класификация и обобщение на условията за възникване на някои ОМЯ, свързани с развитието на конвективни бури над България през последните 50 години. Техните вариации през периода на изследване са сравнени с резултатите на наши и чужди автори, като е обърнато особено внимание на измененията в характеристиките на явленията, настъпили през последните 20 години.

Дисертационният труд е с **обем** от 132 страници. Състои се от увод, 3 глави, заключение, 4 приложения, публикации, свързани с дисертацията и списък на цитираната литература. В основната част на дисертацията са включени 51 фигури и 18 таблици.

Глава 2 се състои от 4 подглави, като в първата са представени методите на изследване, а останалите 3 разглеждат пространствено-временните колебания и тенденции в разпределението на дните с ГБ, градушки и потенциално опасни валежи за периода 1961-2010 г., като е направен сравнителен анализ на получените резултати с тези от предишни изследвания. В началото на всяка от тези подглави е направен кратък литературен обзор на наши и чужди изследвания, касаещи всяко отделно изследвано ОМЯ.

Климатичен анализ на доказани случаи на торнада в България е представен в **Глава 3**, като първо са обобщени условията за образуване, глобално разпространение, честота и интензивност на това ОМЯ, а след това са систематизирани известните към момента изследвания на случаите на торнадо в България. Всички случаи на торнадо в България за периода 1956-2010 г. са класифицирани по местоположение, мощност, честота, време на възникване, като за случаите след 2001 г. са обобщени и оценени синоптични и термодинамични характеристики на регистрираните смерчове и е направен подробен сравнителен анализ на „зимно” и „лятно” торнадо.

Глава 4 е посветена на комплексен анализ на опасни конвективни бури, като в първата част на тази глава подробно са разгледани екстремните валежи ($\geq 100 \text{ mm/24h}$) в Източна България, като е направена статистическа оценка на настъпилите след 1991 г. изменения в месечния ход на тези валежи, обобщени са синоптичните обстановки, водещи до такива валежи и са разгледани 4-те най-екстремни валежни епизода, наблюдавани в Източна България, в близост до Черно море. Тези обстановки обобщават и едни от най-големите 24-часови валежни суми,

измерени през цялата история на метеорологични наблюдения на територията на страната.

Във втората част на тази глава са разгледани МКБ, регистрирани през периода 1991-2010 г., като е направена класификация по мощност на конвективните бури и са показани пространствено-временните им характеристики, като са обобщени и представени с примери най-честите синоптични ситуации, водещи до подобни мощни щормове.

Основните резултати са представени в **Заклучението**.

Апробация на дисертацията

Част от резултатите са изложени в 9 публикации и са представени на 9 конференции – 7 международни и 2 български. Три от публикациите са в списания, като 2 са списание с импакт фактор. Останалите 6 са в сборници от конференции. Забелязани са 23 цитата на 3 от публикациите по темата – 7 на български и 16 на чужди автори.

II. Кратко изложение на дисертационния труд

В увода са разгледани целите и задачите на дисертационния труд. Обоснована е необходимостта и актуалността от изследването на климатичните вариации и оценки на разгледаните ОМЯ, свързани с развитието на конвективни бури над България.

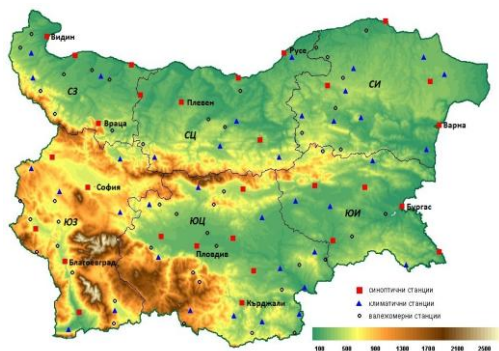
Глава 2. Пространствено-временни колебания и тенденции в разпределението на ОМЯ от конвективен произход.

Извършена е селекцията на случаите с конвективни бури с ОМЯ - обилни валежи, гръмотевични бури и градушки за периода 1961-2010 г. - като са използвани данни от 106 метеорологични станции (64 синоптични и климатични и 42 валежомерни) с надморска височина до 1000 m (фиг. 1). При избора на станциите в изследването от съществено значение е качеството и непрекъснатостта на редицата от данни. Създадени са специални електронни таблици в МБД за дните с гръмотевична дейност и валеж от град за разглежданите синоптични и климатични станции, тъй като за атмосферните явления първичната информация за периода 1961-1991 г. е налична само на книжен носител. След подробен анализ на данните за целия 50 годишен период, част от климатичните станции отпадат от изследването поради системно нередовно и непълно водене на наблюденията за атмосферните явления. Периодите с некоректен запис на наблюденията за ОМЯ в част от тези станции варират между 15 и 22 години. Затова в по-нататъшните анализи на характеристиките на гръмотевичните бури и градовите валежи са използвани само 42 климатични и синоптични станции с хомогенни визуални наблюдения,

разположени в равнинните части на страната с надморска височина до 800 m.

По административни показатели, територията на страната е разделена на 6 района: Северозападна (СЗ), Централна Северна (ЦС), Североизточна (СИ), Югоизточна (ЮИ), Централна Южна (ЦЮ) и Югозападна (ЮЗ) България (виж фиг.1). Избран е този подход, за да може да бъде използван еднакъв метод за сравнение и оценка на пространствено-временните вариации на дните с различни ОМЯ, чиито проявления на територията на страната не могат да бъдат представени чрез класическото климатично райониране на България. Подобно райониране на страната се използва от различни държавни институции при оценки на въздействието върху околната среда в случай на климатични аномалии, атмосферно замърсяване и др. (Бъчварова С. и др., 2008; Велева, 2012).

Сравнен е хода на различните елементи и явления за 2 периода: 1961-1990 г. (базисен за определяне на климатични норми според СМО) и 1991-2010 г. за цялата страна по месеци и декади. Сравнени са годишните и месечни изменения на потенциално опасните валежи за всяка област, както и на средния брой дни с валеж за двата периода. Същото сравнение по райони и периоди е направено и за дните с гръмотевични бури и градушки. За всяко ОМЯ за цялата страна и за всеки от 6^{те} района е оценена значимостта на тренда на изменение на явлението, като за целта е приложен критерия на Ман-Кендел (Package Kendall, 2008). При статистическата оценка за значимост на получените разлики за двата основни периода е използвано разпределението на Поасон и χ^2 разпределение. За статистическите оценки е използван специализиран програмен продукт StatSoft, Inc. (2004).



Фиг.1. Синоптични (квадрати), климатични (триъгълници) и валежомерни (кръгчета) станции използвани в изследването.

С помощта на специално разработени Transact-SQL програмни процедури е направена оценка на приноса на категорията валеж към годишната сума на валежа за всяка станция и година. Определени са 5 категории според падналото количество в 1 станция за 24 часа: А - слаб 0.1-4.9 mm; В - умерен 5.0-14.9 mm; С1 - умерен до силен 15.0-29.9 mm; С2 - силен 30.0-59.9 mm – потенциално опасен за наводнения и D – пороеен ≥ 60.0 mm – водещ до наводнения, като е използвана методиката, представена в Alpert et al. (2000). Резултатите са показани обобщено за отделните райони. Границите на избраните количествени критерии за потенциално опасни валежи от групи С2 и D с цел сравнимост са съобразени с тези, използвани в Ръководство за шифриране на оперативна метеорологична информация (Фучеджиев и др., 1981). Сходни гранични стойности са използвани и в рамките на международния проект към СМО MEDEX (MEDiterranean EXperiment on “Cyclones that produce high impact weather in the Mediterranean” - <http://medex.aemet.uib.es/>), както и в публикации от Alpert et al. (2000), Houssos&Bartzokas (2006), Tsonevsky&Spiridonov (2010) и др.

Направено е обобщение на случаите за всяко ОМЯ по масовост за цялата страна, като отново са сравнени резултатите за двата основни периода: 1961-1990 г. и 1991-2010 г. За критерий за масово събитие е възприет представения в Simeonov & Georgiev (2003) подход, а именно да имаме регистрирани гръмотевични бури, градушки или поройни валежи в поне 4 и повече области на страната, или да са засегнати над 15% от територията на България.

Гръмотевични бури

Гръмотевичните бури са едно от най-честите опасни природни явления. Мощността на заряда на ГБ носи важна информация за интензивността на атмосферната конвекция. Въпреки относително голямата честота на ГБ в България и силното им въздействие върху икономиката и обществото, има много малко разработки, касаещи разпределението и измененията на гръмотевичната дейност за цялата територия на страната. Практически единственото пълно климатично изследване върху режима на ГБ, пътищата им на придвижване и синоптичните условия за появата им е от средата на миналия век (Станева, 1955). Пространствено-временните характеристики на мъглиеносната дейност в равнинната и полупланинска част на страната през топлото полугодие за периода 1956-1985 г. са представени в Симеонов и др. (1989). Останалите изследвания касаят отделни райони от страната (Илиев, 1979; Симеонов, 1984) или различни аспекти от интензивността на процесите, разделяне на конвективни валежи от останалите, определяне на прагове на индекси на неустойчивост за дни с

гръмотевична дейност и др. (Simeonov and Georgiev, 2003; Dimitrova et al., 2011; Markova&Mitzeva, 2013).

През разгледания 50-годишен период не се наблюдава значимо изменение в годишния брой на дните с гръмотевична дейност в България. Средно за непланинската част на страната се наблюдава незначителен отрицателен тренд, т.е. статистически незначимо намаление на броя на регистрираните в метеорологичните станции дни с ГБ. Подобна тенденция при сходни климатични изследвания се наблюдава и за териториите на някои средноевропейски страни като Австрия (Svabik, 2011), Германия (Kunz et al., 2009) и Полша (Bielec-Bakowska, 2003), както и за средните части на САЩ (Changnon&Changnon Jr., 2001).

Анализите за периода 1961-2010 г. сочат, че средногодишно в 1 станция се наблюдават около 30 дни с гръмотевична дейност, което съвпада с резултатите получени от Bielec-Bakowska (2003) за най-южните райони на Полша и от Симеонов и др. (1989) за равнинните и полупланински райони на България по данни за периода 1956 – 1985 г. Потвърждават се изводите на Станева (1955 г.) за добре изразена териториалност в проявата на ГБ. Най-много дни с ГБ се наблюдават в западната планинска част на страната (средно над 35 дни за ЮЗ район – виж фиг.2). На второ място се нареждат западната част на Дунавската равнина, Горнотракийската низина и Родопите (средно в 1 станция над 31 дни за СЗ и ЮЦ район – фиг. 2). Най-ниска е гръмотевичната активност в СИ България – около 23 дни средно за станция. В общи линии и през двата периода (1961-1990 г. и 1991-2010 г.) се запазва териториалното разпределение на ГБ, описано от Станева (1955 г.), като на фиг. 2 а и фиг.2б се проследяват и известни изменения в отделни райони – слабо намаление в СЗ България и нарастване в СИ и, отчасти, в ЮЦ райони.

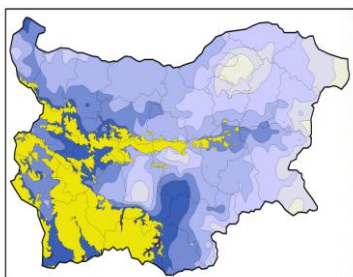
С помощта на метода на Ман-Кендъл е направена оценка за наличието на линеен тренд в годишното разпределение на средния брой дни с ГБ за всеки от 6^{те} района за целия период 1961-2010 г. Резултатите са представени в табл.1. Почти за всички райони не може да се говори за съществуването на монотонно нарастващ или намаляващ тренд в разпределението на дните с ГБ. Нещо повече, в болшинството райони автокорелационните графики, получени при статистическата обработка на данните, показват че в разпределението на дните с ГБ през изследвания период няма линейна зависимост. Само в СИ район е отчетен статистически значим положителен линеен тренд при ниво на значимост 5%, а в ЮЦ район – при ниво на значимост 10%.

Направеното сравнение между базисния период на изследване 1961-1990 г. и новия 1991-2010 г. показва, че почти за всички райони се получава нарастване на средния брой дни с ГБ регистрирани в 1 станция, но за по-голямата част от страната то е статистически незначимо (Табл.

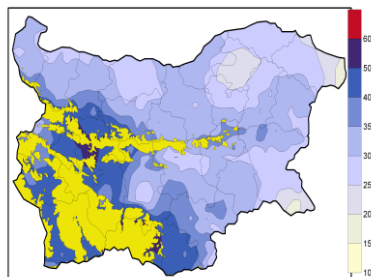
2). Статистически значимо увеличение (с 15% - Табл. 2) на броя на дните с гръмотевични бури понастоящем е регистрирано само в СИ България и отчасти в ЮЦ България (с 10% на границата на статистическата значимост).

Таблица 1. Статистическа оценка за наличието на монотонен тренд в годишното разпределение на средния брой дни с ГБ за всеки район през периода 1961-2010 г.

Район	Средно бр. дни	Минимум бр. дни	Максимум бр. дни	Tau	2-sided p value	Наличие на статистически значим линеен тренд
СЗ	32	18	53	-0.183	0.063	Не
СЦ	28	18	40	0.116	0.238	Не
СИ	24	17	37	0.213	0.031	Да
ЮИ	30	19	44	-0.040	0.688	Не
ЮЦ	32	21	49	0.176	0.073	Да
ЮЗ	36	24	53	0.002	0.987	Не



а) 1961-1990 г.



б) 1991-2010 г.

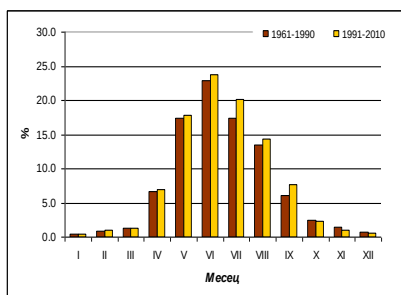
Фиг.2. Годишно разпределение на средния брой дни с ГБ за всеки от сравняваните периоди: а) 1961-1990 г.; б) 1991-2010 г.

Анализът на месечното разпределение на дните с ГБ във всички станции и райони показва, че около 75% от тези щормове се случват в периода май-август (фиг. 3а), което е съизмеримо с резултатите получени в Станева (1955 г.). Средният брой дни с гръмотевична дейност през първия период 1961-1990 г. е почти еднакъв за май и юли - около 5.3 дни, което отново съответства напълно на резултатите на Станева (1955г.). През втория период (1991-2010 г.) обаче, броят дни с ГБ нараства по-бързо през юли (с около 16%), отколкото през май, като това се дължи основно на увеличената им честота през втората половина на лятото (периода юли-септември). През септември това нарастване е най-значимо. През зимните месеци честотата на ГБ е незначителна. Независимо от това, понастоящем е на лице нетипично нарастване на броя дни с гръмотевична дейност най-вече през зимните месеци – декември и януари (фиг. 3б). Подобно статистически значимо нарастване на броя дни с ГБ

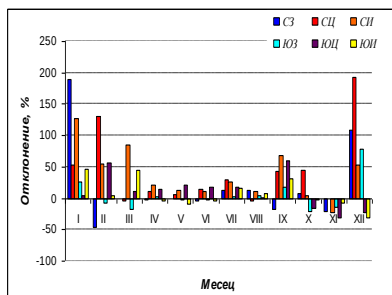
през зимата в наши дни е констатирано и за територията на Полша (Bielec-Bakowska, 2003). Освен това броят дни с ГБ расте значително по-бързо в северната половина на България.

Таблица 2. Статистическа оценка на средния годишен брой дни с ГБ в 1 станция за всеки район чрез използване на разпределение на Поасон за сравнение на извадките (1) за 1961-1990 и (2) за 1991-2010 г.

№ на извадка	1	1	1	2	2	2	1, 2	tail	($\mu_2 - \mu_1$)/ μ_1
Дни с гръм.	средно	min	max	средно	min	max	χ^2	probability	%
бури	μ_1			μ_2				p	
СЗ	32.7	16.2	53.2	31.4	23.5	40.7	0.67	0.414	-0.04
СЦ	27.5	17.7	39.8	28.8	17.8	38.8	0.83	0.363	0.05
СИ	22.3	18.2	29.5	25.6	16.8	37.0	5.58	0.018	0.15
ЮИ	29.7	18.6	42.8	30.4	18.6	44.2	0.18	0.675	0.02
ЮЦ	30.6	20.8	48.8	33.6	27.9	43.9	3.27	0.070	0.10
ЮЗ	35.5	23.8	53.3	35.8	25.1	47.1	0.04	0.851	0.01



а)



б)

Фиг. 3. Месечен ход на честотата (в %) на денонощията с ГБ: а) за всеки от периодите: 1961-1990 г. и 1991-2010 г.; б) отклонение на средния брой дни през периода 1991-2010 г. спрямо 1961-1990 г.

За да се проследят вариациите и възможните различия в месечното разпределение на дните с ГБ, са разгледани пет 10-годишни периода за всеки район. За първите 3 декади годишният ход в разпределението на гръмотевичната дейност следва описаната по-горе схема – с максимум през юни, следван от май и юли с приблизително еднаква честота. Тази тенденция в годишното разпределение на средния брой дни с ГБ за повечето части на страната се запазва и през декадите след 1991 г., като тук обаче се наблюдава до 20% разлика в честотите между май и юли. Определено, през последния период 2001-2010 г., за всички райони, средният брой дни с гръмотевична дейност през юли е по-голям от този през май, като за станциите от Източна България и Черноморското

крайбрежие през последната декада дори максимумът в годишната честота на ГБ се измества през месец юли. Наблюдаваното изменение в многогодишното месечно разпределение на средния брой дни с гръмотевични бури е сравнимо с това на екстремните валежи за същите райони и периоди. Това е потвърждение на факта, че през последните години МКБ, свързани с по-мощни ГБ и проливни валежи, се наблюдават все по-често в Източна България и особено през втората половина на топлото полугодие.

Направен е анализ на разпределението на дните с масови ГБ за цялата територия на страната по описаните по-горе критерии. Като се вземе предвид, че над 85% от дните с ГБ за всички райони на България са регистрирани през топлото полугодие (април-септември) и редките случаи на ГБ през останалите месеци, са ограничени в отделни станции или райони, то подробно е анализирано разпределението на масовите ОМЯ от този тип само през топлото полугодие. Сравнени са средните стойности на дните с масови ГБ за всяка десетдневка на месеците от април до септември за двата основни периода: 1961-1990 г. и 1991-2010 г. Може да се обобщи, че през последните 20 години вътрешно-месечното разпределение на дните с масови ГБ показва нарастване на честотата им през втората половина на топлото полугодие, като в отделни десетдневки това нарастване достига 20-32% .

Валежи от град

Изследваните пространствено-временни разпределения и честотата на валежите от град се характеризират с голяма изменчивост, дължаща се както на особеностите при формиране на тези валежи, така и на ограничената информация в метеорологичните бази данни за тях. Конвенционалната мрежа от метеорологични станции не е подходяща за измерване на подобни твърде локални по време и място явления, тъй като много често градушките падат в районите извън станциите и остават нерегистрирани. Затова в много от изследванията се използват данни и от други източници като застрахователни компании, полигони за борба с градушките, медии и данни от очевидци (Webb et al., 2009; Svabik, 2011; Mohr&Kunz, 2013) и от локални специализирани мрежи за измерване, характеризиращи се с голяма гъстота на измерванията и разположени в най-засегнатите от градушките райони в съответните страни (Giajotti et al., 2003; Dessens et al., 2007; Sioutas et al., 2009; Berthet et al., 2011). Подобни мрежи за регистрация на валежи от град се използват в САЩ, Франция, Германия, Австрия , Гърция и др. Все пак дългопериодичните климатични изследвания на пространствено-временните характеристики на валежите от град в различните страни се базират основно на данните

от наблюденията в метеорологичните станции. (Berthet et al., 2011; Svabik, 2011; Mezher et al., 2012).

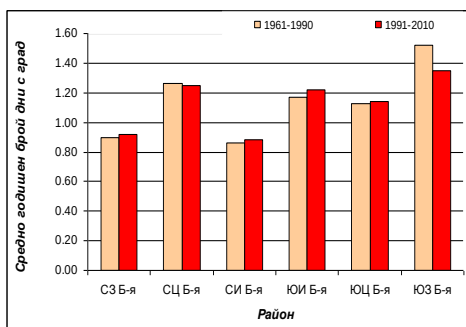
Началото на климатичните изследвания върху характеристиките на градовите процеси в България е поставено още през първата половина на 20 век (Райнов, 1925; Киров, 1934; Киряков, 1945). Тези разработки касаят основно честотата на дните с градушки и се характеризират с къси редици от данни, както и с рядка мрежа от станции. В средата на 20 век изследванията върху валежите от град се базират основно върху застрахователни данни (Недялков, 1960; Станчев, 1964). В последващите изследвания е приложен по-комплексен подход, при който освен данни от конвенционалните метеорологични наблюдения, се използват и данни от застрахователните източници и от допълнителните наблюдения в полигоните за борба с градушките (Илиев, 1979; Симеонов и др., 1990; Simeonov&Syakov, 1988). Най-пълно са представени климатичните характеристики на градовите явления, методите за прогнозата им, радиолокационните методи за индикация на градовите облаци, както и физическия ефект от въздействията и икономическата ефективност от провеждането на противоградова защита у нас в монографията на Симеонов и др. (1990). За съжаление след 1990 г., особено след децентрализирането на селското стопанство в страната и създаването на множество частни застрахователни компании, щетите от градушките не се обследват, а се оценяват в съвкупност с други ОМЯ по данни за неизпълнение на очакваните добиви. Понастоящем практически е невъзможно провеждането на комплексни изследвания, тъй като данните за развитието на градовите процеси и последиците от тях са разпръснати в различни институции – застрахователните компании, Агенцията за борба с градушките към Министерство на земеделието, НИМХ и др. Достъпът до тази информация е силно ограничен и на практика понастоящем се провеждат изследвания само за отделни екстремни случаи от взаимен интерес.

Анализите за периода 1961-2010 г. сочат, че средногодишно в 1 станция се наблюдават между 1 и 2 дни с градушка, което съвпада с резултатите получени от Sioutas et al. (2009) за Северна Гърция. За неплаинските части на страната максималния брой дни с валежи от град в отделна година варира от 2-3 в станциите от Източна България до 6-10 на отделни места в Западна и СЦ България. Подобно на случаите с ГБ и при валежите от град се наблюдава добре изразена териториалност.

През периода на изследване 1961-2010 г. като цяло за равнинната част на страната се наблюдава значително намаление на броя на регистрираните в метеорологичните станции дни с градушки. Тази тенденция се запазва в различна степен за всеки от изследваните 6 района на страната. За всички райони не може да се говори за съществуването на

монотонно нарастващ или намаляващ тренд в разпределението на дните с градушки през 50-годишния период на изследване. Независимо от това, като цяло е налице тенденция към намаление на броя регистрирани в метеорологичните станции ОМЯ от този тип. При сходни климатични изследвания подобен, но значим, отрицателен тренд в годишния брой дни с валежи от град е получен и за териториите както на някои страни от Централна и главно Югоизточна Европа като Австрия (Svabik, 2011), Чехия (Chroma et al., 2005), Гърция (Sioutas et al., 2009), Сърбия (Gavrilov et al., 2011), така и за САЩ (Changnon&Changnon, 2000), Китай (Xie et. al, 2008) и някои райони на Аржентина (Mezher et al., 2012). Според изследванията на Xie et. al (2008), причина за това е нарастването на височината на нулевата изотерма (нивото на замръзване на водните капки), в контекста на глобалното затопляне. От друга страна, за страните от Западна и Северна Европа, климатичните изследвания показват значително нарастване на броя на по-мощните градови процеси, особено след 1990 г., докато като цяло не се наблюдават съществени изменения в годишната честота на дните с валежи от град (Webb et al., 2009; Kunz et al., 2009; Berthet et al., 2011).

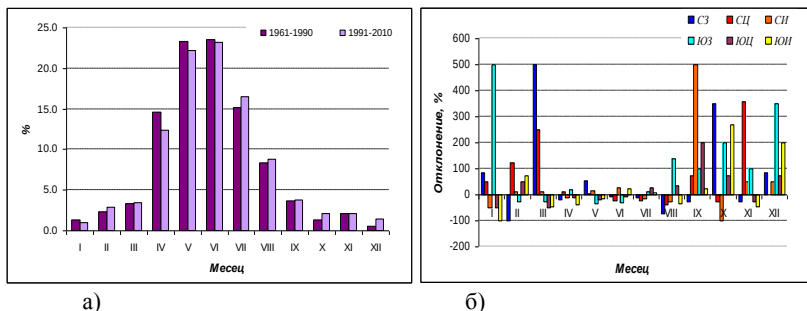
Най-много дни с градушки са регистрирани в югозападната планинска част на страната (средногодишно 1.35 дни за ЮЗ район – виж фиг. 4). На второ място се нареждат централните и североизточни части на Дунавската равнина, Горнотракийската низина и Родопите (средно в 1 станция около 1.2 дни за СЦ и ЮЦ район – фиг. 4). Най-малко валежи от град са регистрирани по крайбрежието на Черно море, най-вече в СИ България и в станциите от СЗ България – около 0.85 дни средно за станция. Тези резултати съответстват на териториалните разпределения на дните с градушки, получени от Станчев (1964) и Симеонов (Климатът на Б-я, 1991, част 4.8, стр. 286-296).



Фиг. 4. Среден брой дни с валежи от град в 1 станция за всеки от 6^{те} района за периодите 1961-1990 г. и 1991-2010 г.

Направеното сравнение между базисния период на изследване 1961-1990 г. и новия 1991-2010 г. показва, че почти за всички райони на страната няма значимо изменение на средния брой дни с градушки регистрирани в I станция.

Анализът на месечното разпределение на дните с градушки за равнинната част на България показва, че около 75% от тях се случват в периода април-юли (фиг. 5), което съвпада с изводите на Станчев (1964) и Симеонов и др. (1990). На фиг. 5а е представен годишният ход на броя дни с валежи от град като процентно отношение към общия брой дни във всеки месец за двата периода 1961-1990 г. и 1991-2010 г. Най-голяма е честотата през май и юни, като с незначителна разлика в средните стойности между тези два месеца, средно за страната през юни се наблюдава максимумът на явлението. Подобно месечно разпределение на максималния брой дни с валежи от град е отчетено и за териториите на Северна Гърция (Sioutas et al., 2009), Хърватия (Pocakal et al., 2009) и Чехия (Chroma et al., 2005), докато за страните от Западна и Северна Европа максималната честота на градушките е месец по-късно през юли (Webb et al., 2009; Berthet et al., 2011).



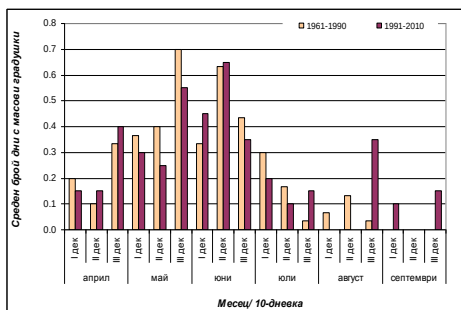
Фиг. 5. Месечен ход на честотата (в %) на денонощието с валежи от град: а) за всеки от периодите: 1961-1990 г. и 1991-2010 г.; б) отклонение на средния брой дни през периода 1991-2010 г. спрямо 1961-1990 г.

Подобно на месечните вариации на дните с ГБ, през последните 20 години на изследвания период при валежите с град също се наблюдава нетипично нарастване на броя дни през студеното полугодие (фиг. 5б). Тук увеличението е отново най-съществено в районите от Северна България, но основно през преходните месеци октомври, ноември и март, когато и температурно-влажностните условия, подпомагащи развитието на мощни конвективни облаци, са по-вероятни. От друга страна през периода след 1991 г. се наблюдава и нарастване на средния брой дни с

градушки и в ЮЗ България през месеците от август до януари, докато през останалата част от годината те намаляват.

Тук отново се проследяват вариациите на градушките и възможните различия в разпределението им през всяка декада на изследвания 50-годишен период. Определено през последния период 2001-2010 г. за станциите от всички райони на Северна България максимумът в годишната честота на изследваното ОМЯ се измества през месец май. Това съвпада с наблюдаваните тенденции през последните години за равнинните части на Полша и Германия за отместване на максимума на валежите от град по-рано през пролетта към месеците април и май (Suwala&Bednorz, 2013), когато над района преминават бързо подвижни СФ, свързани с област на ниско налягане на север-северозапад.

Анализирано е разпределението на дните с масови валежи от град за цялата територия на страната. Като се вземе предвид, че около 85% от дните с градушки за всички райони на България са регистрирани през топлото полугодие (април-септември), то тук, подобно на разглеждането за дните с ГБ, подробно е анализирано разпределението на масовите ОМЯ от този тип само през топлото полугодие. Сравнени са средните стойности на дните с масови градови валежи за всяка десетдневка на месеците от април до септември за двата основни периода: 1961-1990 г. и 1991-2010 г. (фиг. 6). Получава се значително различие във вътрешно-месечното разпределение на масовите градушки през двата изследвани периода (фиг. 6). За периода 1961-1990 г. 71% от градовите процеси са регистрирани между втората декада на май и третата декада на юли, което съвпада напълно с получените резултати на Симеонов и др. (1990).



Фиг. 6. Вътрешно-месечно разпределение на средния брой дни с валежи от град в 4 и повече области на страната за периодите 1961-1990 г. и 1991-2010 г.

През последния 20-годишен период обаче, за същите месеци този процент спада до 63%, като максимумът на активността на изследваното ОМЯ се измества от 3^{та} десетдневка на май към 2^{та} десетдневка на юни.

Наблюдава се нарастване на броя на масовите градушки в края на топлото полугодие, като през периода 1991-2010 г. те се случват все по-често през 3^{та} десетдневка на август. През втория период за първи път са регистрирани и масови градушки през сравнително хладния септември.

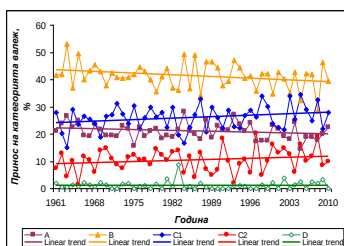
Потенциално опасни валежи

Редица изследвания сочат за повсеместно нарастване на интензивността и честотата на потенциално опасните валежи в средните ширини на Северното полукуълбо - най-вече северно от 35° с.ш. (Groisman et al., 2005; Alexander et al., 2006; Min et al., 2011). За повечето райони по света увеличението в честота на екстремните валежи през последните години е свързано и с нарастване на годишните суми на валежите като цяло (Groisman et al., 1999; Alexander et al., 2006). За Европа тази тенденция е запазена в страните от Северна и от части в Средна Европа. По-интересно е положението в страните от Южна и Източна Европа, където като цяло тренда на годишните валежни суми е отрицателен (Groisman et al., 1999; Brunnetti et al., 2001; Alexandrov et al., 2004; Lupikasza, 2010). На фона на намаляващите валежи и очертаващата се тенденция към засушаване в тези райони, в редица Средиземноморски страни и на Балканите е установено парадоксално нарастване на честотата и интензивността на екстремните валежи (Alpert et al., 2000; Brunetti et al., 2001; Croitoru et al., 2013).

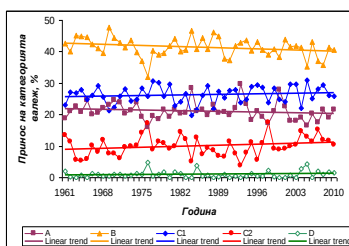
От началото на 21-век, в България, както и в много други страни от Централна и Източна Европа, са регистрирани значителен брой дни с масови екстремни валежи, довели до големи икономически загуби и човешки жертви, особено през 2005, 2007 и 2010 г. Тези събития пораждат засилен интерес към анализа и подобряването на методите на прогноза на това ОМЯ.

В настоящото изследване са представени пространствено-временните разпределения и вариации на дните с потенциално опасни и проливни валежи от групи C2 и D за периода 1961-2010 г. Избрани са тези групи валежи, тъй като, за равнинната част на България, подобни денонощни валежни количества представляват поне ½ от месечната норма на валежите. Изследването на възможните промени в честотата и вътрегодишното разпределение на тези групи валежи, както и на приноса им към годишното валежно количество, са от изключително значение, особено като се има предвид установената тенденция към намаление на годишните валежи за по-голямата част от територията на страната (Alexandrov et al., 2004). Нарастването на броя на валежите от групи C2 и D дори в отделни станции на фона на очертаващата се тенденция към засушаване в страната, би довело до увеличение на риска от възникване на локални наводнения, нарастване на почвената ерозия и активизиране

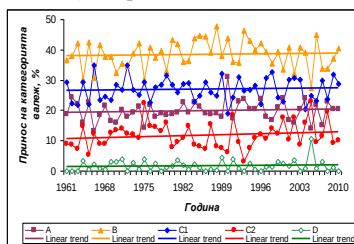
на свлачища. Анализи показват, че над 65% от екстремните валежи са предизвикани от МКБ (Schumacher&Johnson, 2006). Изследвания за територията на страната също сочат, че по-големите като количества валежи, измерени особено през топлото полугодие, са от конвективен произход (Tsonevski et al., 2010).



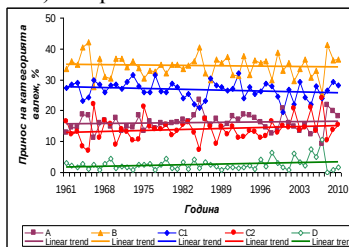
а) СЗ район



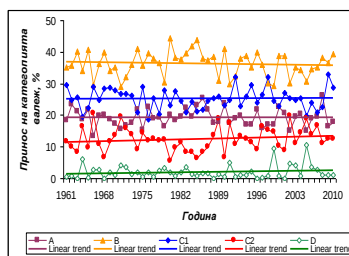
г) ЮЗ район



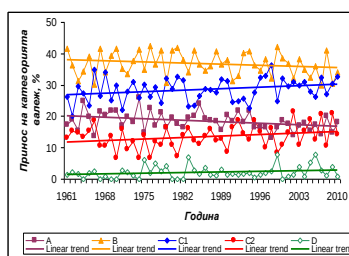
б) СЦ район



д) ЮЦ район



в) СИ район



е) ЮИ район

Фиг.7. Принос на различните валежни категории А, В, С1, С2, Д към сумарния годишен валеж за различните райони на България

Направено е сравнение между базисния период на изследване 1961-1990 г. и новия 1991-2010 г. за всеки от 6-те района, като са сравнени средните годишни суми на валежите и годишният брой на дните с валеж (фиг.7а). Не се получават значими изменения на пресметнатите валежни количества. В същото време почти във всички райони, с изключение на

СИ България (фиг. 7б), е на лице тенденция към намаляване на броя на дните с регистрирани валежи. Намалението в повечето случаи е статистически незначимо. Следователно може да се заключи, че за почти всички райони броят на дните с валеж намалява по-бързо от годишното валежно количество, т.е. трябва да се очаква нарастване на броя на дните с по-големи валежни суми.

Поради неравномерното разпределение на валежите по територията на страната, с цел по-пълно изследване и по-добра сравнимост на получените резултати за увеличение на екстремните валежи, е пресметнат приносът на различните групи валежи в проценти към годишното валежно количество за всяка станция и резултатите са обобщени за всеки от 6^{те} района (виж фиг.7). През изследвания 50-годишен период се наблюдава намаление на приноса на слабите и умерени валежи от категории А и В във всички изследвани райони. Умерените до силни валежи от категория С1 нарастват незначително почти в цялата страна с между 1 и 6 %, с изключение на ЮЦ България, където приносът на тази група валежи дори намалява с около 3% през последните декади. За сметка на това, във всички райони се наблюдава значително нарастване на приноса на потенциално опасните за наводнения валежи от категория С2 – нарастването е средно между 9 и 22%. Подобни положителни тенденции са получени и за поройните валежи от група D, но само за централните и източни части на страната (фиг.7 б,д,в,е), където нарастването е значително – от 25 до 47% през последните години.

От друга страна, в ЮЗ България няма съществено изменение в приноса на тази категория екстремни валежи към измерените там годишни суми на валежите през целия период на изследване. В СЗ България дори е регистриран негативен тренд на валежите от тази група – понастоящем намалението на приноса на категория D е с около 10% .

С помощта на метода на Ман-Кендъл е направена оценка за наличието на линеен тренд в годишното разпределение на приноса на опасните валежи от групи С2 и D за всеки от 6^{те} района за целия период 1961-2010 г. (Табл. 3). Тъй като денонощни валежи ≥ 60 mm, измерени в отделна станция и район, са много редки явления и варират силно през отделните години, то за нито един от районите не е получено статистически значимо доказателство за съществуване на монотонно нарастващ или намаляващ тренд за валежите от категория D. За всички райони от Северна България не е налице монотонно нарастващ тренд през 50-годишния период на изследване. В южната половина на страната в два от районите е отчетен статистически значим положителен линеен тренд – това са ЮИ и ЮЗ район.

Таблица 3. Статистическа оценка за наличието на монотонен тренд в годишното разпределение на потенциално опасните валежи (група С2) за всеки район през периода 1961-2010 г.

Район	Средно	Минимум	Максимум	Tau	2-sided	Наличие на статистически
	%	%	%		p value	значим линеен тренд
СЗ	10.4	1.3	20.4	0.093	0.349	не
СЦ	11.7	3.1	23.0	0.086	0.028	не
СИ	12.5	5.7	20.7	0.108	0.273	не
ЮИ	13.5	6.6	21.5	0.171	0.083	да
ЮЦ	13.9	7.0	24.1	0.111	0.262	не
ЮЗ	10.0	3.7	17.6	0.163	0.097	да

Таблица 4. Статистическа оценка на приноса на потенциално опасните валежи от група С2 (30.0-59.9mm/24h) към годишната сума на валежа за всеки район чрез използване на разпределение на Поасон за сравнение на извадките (1) за 1961-1990 и (2) за 1991-2010 г.

№ на извадка	1	1	1	2	2	2	1, 2	tail	$(\mu_2 - \mu_1)/\mu_1$
Принос в % на валежи от гр.С2	средно	min	max	средно	min	max		probability	
	μ_1			μ_2			χ^2	p	%
СЗ	9.7	1.3	14.9	11.5	1.9	20.4	3.590	0.058	0.18
СЦ	11.2	5.3	22.4	12.6	3.1	23.0	1.928	0.165	0.12
СИ	11.7	5.7	20.7	13.6	8.8	19.8	3.684	0.055	0.17
ЮИ	12.4	6.6	18.8	15.1	8.5	21.5	6.698	0.010	0.22
ЮЦ	13.5	7.0	22.2	14.6	10.3	24.1	1.122	0.290	0.08
ЮЗ	9.6	5.1	17.2	10.6	3.7	17.6	1.082	0.298	0.10

Таблица 5. Статистическа оценка на приноса на потенциално опасните валежи от група D ($\geq 60\text{mm}/24\text{h}$) към годишната сума на валежа за всеки район чрез използване на разпределение на Поасон за сравнение на извадките (1) за 1961-1990 и (2) за 1991-2010 г.

№ на извадка	1	1	1	2	2	2	1, 2	tail	$(\mu_2 - \mu_1)/\mu_1$
Принос в % на валежи от гр.Д	средно	min	max	средно	min	max		probability	
	μ_1			μ_2			χ^2	p	%
СЗ	1.2	0.0	8.7	1.1	0.0	3.9	0.147	0.702	-0.10
СЦ	1.5	0.0	4.4	1.9	0.0	10.6	1.006	0.316	0.25
СИ	1.7	0.0	6.2	2.6	0.0	10.7	3.776	0.052	0.47
ЮИ	2.0	0.0	6.9	2.5	0.0	7.8	1.509	0.219	0.27
ЮЦ	2.2	0.9	4.6	3.2	0.0	10.7	4.072	0.044	0.43
ЮЗ	1.0	0.0	4.7	1.0	0.0	4.3	0.010	0.922	0.03

Направено е и сравнение между базисния период на изследване 1961-1990 г. и новия 1991-2010 г. отново за приноса към годишната сума на

валежа на екстремните валежи от категории С2 и D. Резултатите от статистическите оценки са представени съответно в табл. 4 и табл. 5. Статистически значимо нарастване на валежите от категория С2 (виж табл.4) през периода 1991-2010 е отчетено в ЮИ България (с 20%), следвана от СЗ и СИ България (с около 18% във всеки от районите). В останалата част от страната регистрираното нарастване е статистически незначимо. При поройните валежи от група D (табл.5) статистически значими разлики през втория период на изследване спрямо базисния 1961-1990 г. се получават в ЮЦ и СИ България (положително изменение с над 40% и в двата района). В останалите райони не се наблюдават статистически значими изменения през двата периода на изследване. Направените оценки показват, че само в СИ район е регистрирано статистически значимо нарастване на приноса на валежите и от двете екстремни категории С2 и D. Като цяло, потенциално опасните валежи нарастват най-много в районите от Източна България, следвани от тези в централната част на страната. Тези резултати са изключително важни, особено на фона на констатираното намаление на годишните суми на валежите в България от север на юг и от запад на изток (Денев и Александров, 2013). В този контекст би трябвало да се очаква нарастване в честотата на бедствените ситуации (наводнения, свлачища и др.) най-вече в източните райони на България, вследствие увеличение на случаите с потенциално опасни валежи.

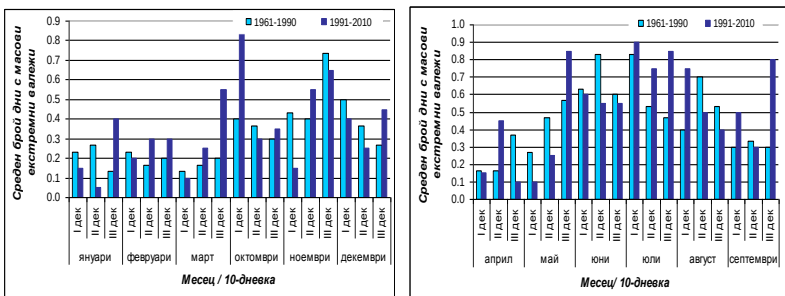
Валежите в България са неравномерно разпределени не само по територията на страната, но и през отделните месеци на годината. Най-големи са различията в Рило-Родопската област (ЮЗ и части от ЮЦ България), където голямото разнообразие на релефа е съчетано с бързия климатичен преход към по-типичен средиземноморски климат (Колева – Климатът на Б-я, 1991, част 4.3, стр. 225-237). Годишният ход на валежите е тясно свързан и с особеностите на атмосферната циркулация над България. Месечното разпределение на средния брой дни с валежи $\geq 60\text{mm}$ (група D), сравнено за периодите 1961-1990 г. и 1991-2010 г. за различните райони на България. Валежите от тази група в над 85% от случаите са свързани с развитието на мощна конвекция (Tsonevski et al., 2010). Наблюдава се съществено изменение в годишното разпределение на валежите от категория D през двата периода на изследване. Докато през първия период 1961-1990 г. месечният ход на опасните валежи в отделните станции съвпада с месечения ход на сумарните валежи за различните части на страната, то през втория период са регистрирани значителни изменения. В СЗ и СЦ България максималният брой дни с поройни валежи през последните 20 години се измества от м.юни към м.юли, като увеличението през юли е с около 100%. Нараства честотата на тези валежи през втората половина на топлото полугодие, като

увеличението през август и септември в СЗ район е с около 50%, докато в СЦ район броят на дните с валежи от категория D нарастват над 3 пъти през септември и октомври. Понастоящем подобно положително изменение в хода на проливните валежи през периода юли-септември е на лице и в СИ България – нарастване между 20 и 100% през отделните месеци. От друга старана почти във всички райони от Северна България средният брой на дните с опасни валежи намалява значително през месеците ноември, декември, март и април.

В районите от Южна България също се наблюдава значително „отместване” на максимума на броя дни с опасни валежи към месеците от втората половина на топлото полугодие от юли до октомври през втория период на изследване 1991-2010 г. В ЮЗ България най-значимо е увеличението през октомври с около 80%, а за ЮЦ и ЮИ България през септември с около 175%. Във всички райони от южна България през периода ноември-април е на лице тенденция към намаление на екстремните валежи. Изключение прави м.ноември в ЮЦ район, през който е максимумът в честотата на дните с валежи от група D – поради силното средиземноморско влияние.

Изследванията на Livada et al. (2008), Nikolova&Boroneant (2011), Croitoru et al., (2013) потвърждават описаните по-горе изменения в годишния ход на опасните валежи, като показват, че за южните части на Европа и за страните от Балканския полуостров, случаите на опасни валежи зачестяват през сравнително сухите месеци от втората половина на топлото полугодие от юли до октомври. Подобно увеличение на честотата на дните с екстремни валежи за Югоизточните части на САЩ и части от Средна и Южна Европа най-вече през есенните месеци септември-октомври е установено и при изследванията на Alexander et al. (2006).

Анализирано е разпределението на дните с масови потенциално опасни валежи (≥ 30 mm/24h) за цялата територия на страната. При оценката на масовите случаи на екстремни валежи са разгледани съвместно валежите от категории С2 и D, тъй като валежите над 60 mm/24h са твърде редки и локални явления и използваният брой станции в изследването не е достатъчен за регистрацията на всички подобни случаи. Освен това подобни ОМЯ са свързани обикновено с развитието на мезомасабни МКБ, засягат голяма част от територията на България и водят до интензивни валежи, които дори и при количества под 30 mm/24h биха могли да причинят щети.



а) студено полугодие

б) топло полугодие

Фиг.8. Вътрешно-месечно разпределение на средния брой дни с валежи ≥ 30 mm/24h в 4 и повече области на страната за периодите 1961-1990 г. и 1991-2010 г.

Подробно е анализирано разпределението на масовите ОМЯ от този тип през студеното и топлото полугодие. Сравнени са средните стойности на дните с масови екстремни валежи за всяка десетдневка на месеците за двата основни периода: 1961-1990 г. и 1991-2010 г. (фиг. 8). Наблюдава се значително различие във вътрешно-месечното разпределение на масовите екстремни валежи през двата изследвани периода, както през студеното, така и през топлото полугодие.

Глава 3. Климатичен анализ на торнада (смерчове) в България (1956-2010 г.)

В тази глава е направен кратък обзор на на явленияето торнадо (смерч): определение, образуване, класификация, глобално разпространение и честота. Торнадо (смерч) е силен атмосферен вихър, който образува въртящ се стълб от въздух, свързващ повърхността на земята с купесто-дъждовен (Cb) или в редки случаи – с купест облак (Cu). Независимо, че в метеорологията се определя като дребномащабен вихър с ширина от няколко десетки метра максимум до 2 km и време на живот от няколко минути до няколко часа, този тип вихър причинява значителни материални щети и човешки жертви.

В България дълго време не само широката общественост, но и научните среди смятат, че торнадото е екзотично природно явление, нетипично за страната и е почти невъзможно да бъде наблюдавано у нас. На практика съобщения за торнадо (смерч) се появяват в българската преса още в началото на 20 век, а първите публикации в специализирани научни списания датират от 40^{те} години на миналия век.

Комплексен научен анализ за проявата на тези явления в България е представен в сравнително малко публикации като напр.: Simeonov and Georgiev (2001, 2003); Латинов (2006); Simeonov et al. (2011), като в

повечето от тях подробно са анализирани само отделни случаи. Единствено в монографията на Латинов е направен опит за обобщено представяне на типовете синоптични обстановки, свързани с развитието на торнадо (смерч) на територията на страната, но само на базата на най-известните от литературата случаи, без да се търсят научни доказателства дали действително става дума за такова явление.

Настоящото изследване цели основно създаването на специализирана база данни за всички известни случаи на торнадо (смерч) в България през периода 1956-2010 г. Данните са взети както от метеорологичните архиви и научни публикации, така и от медиите, разкази на очевидци, данни от архивите на Национална служба „Гражданска защита“, полеви обследвания и данни за щетите от местната администрация. За потвърждение и доказване на случаите са използвани синоптични данни от метеорологичната база данни (МБД) на НИМХ, радарна информация, данни от аерологичните наблюдения в НИМХ, спътникови данни от EUMETSAT и синоптични карти от реанализите на NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Данните от аерологичния сондаж са анализирани по метода представен в Simeonov and Georgiev (2001), като резултатите от анализите показват основни характеристики на вертикалните слоеве на атмосферата в околността на смерча. Радарната и спътникова информация е използвана за определяне на характеристиките на конвективните бури и особеностите на торнадата, регистрирани след средата на 90-те години на 20 век. По наличната информация е направена и класификация на торнадата според скалата на Фуджита (Fujita 1981). Изследвани са синоптични обстановки и е направена обобщена класификация на типичните синоптични структури, свързани с развитието на смерчове в страната. За тази цел са използвани както карти от синоптичния архив на НИМХ, така и данни от NCAR/NCEP Reanalysis data, разпространени от NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado чрез техния уеб-сайт (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>). Направено е подробно изследване и сравнение на характеристиките на зимно и лятно торнадо.

За случаите след 2001 г. са изчислени някои термодинамични характеристики и редица индекси на неустойчивост на атмосферата. За пресмятането им са използвани всички налични за периода данни от аерологичните сондажи в София, Солун, Белград и Букурещ. В зависимост от синоптичните условия и местоположението на торнадото, за изчисленията е взиман предвид най-близкият по време и място аерологичен сондаж (в радиус до 300 km - прието и за Гърция от Sioutas (2011)). За пресмятанятията е използван надграденият през 2013 г. емпиричен неадиабатен модел за облачна конвекция (Simeonov and Sytakov, 1988), като за начални условия се взимат метеорологични данни

(атмосферно налягане, температура на въздуха, точка на оросяване, относителна влажност, дефицит на влажността, скорост и посока на приземния вятър) от най-близката синоптична станция. В някои от случаите са използвани и данни от <http://www.esrl.noaa.gov/psd/> (NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado). Изчислени са някои статистически характеристики на получените индекси на неустойчивост, като е използван програмен продукт StatSoft, Inc. (2004).

Пространствено-временни характеристики на торнадата в България през изследвания период

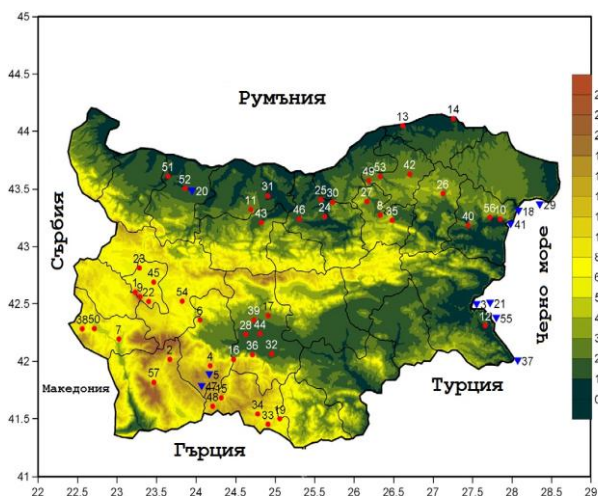
За 55-годишния период на изследване са потвърдени стари и анализирани нови 57 торнада и водни смерчове (waterspouts), които са се случили в 51 дни. Разпределението им върху територията на страната е показано на фиг. 9. Номерата на картата отговарят на хронологично поредния номер на торнадото, някои подробности за което са представени в Таблица 3.2 в основния текст на дисертацията. Ако се изчисли честотата P на появата на торнадо в страната като брой на явленията върху единица площ от $10^4 \text{ km}^2 \text{ year}^{-1}$ (виж Sioutas, 2011), то за 55-годишния период на изследване за територията на цялата страна се получава, че $P_{55}=0.09/10^4 \text{ km}^2$, което е съизмеримо с честотата, получена за Черноморското крайбрежие на Русия и района на Кавказ (Снитковский, 1987). Тъй като над 63% от документираните случаи на торнада са регистрирани през периода 2001 –2010 г., то логично е да се сметне, че в предишния 45-годишен период данните са непълни и много случаи с явлението са пропуснати. Само за последната декада имаме средно годишно по 3.6 торнада за страната (при стандартно отклонение 1.8), което прави $P_{10}=0.32/10^4 \text{ km}^2$, т.е. за последните 10 години, годишната честота на торнадата за цялата територия на страната е еднаква с изчислената при същите условия за територията на Австрия ($P=0.3/10^4 \text{ km}^2$ – Holzer, 2000) и около 4 пъти по-малка от тази в съседна Гърция ($P=1.1/10^4 \text{ km}^2$ – Sioutas, 2011).

От картата (фиг. 9) се вижда, че торнадата у нас възникват главно в Северна Централна, Североизточна, Южна Централна и Югозападна България. Известните случаи на водни смерчове по черноморското крайбрежие възникват с еднаква честота, както по Южното, така и по Северното Черноморие. За целия период на изследване в 9 области в България, представляващи около 30% от територията на страната, не е регистрирано нито едно торнадо. На фиг. 10 е представена годишната честотата на торнадата върху единица площ за всяка област, изчислена за периода 2001-2010 г. През последното десетилетие торнада и водни смерчове са регистрирани в 17 области в България, т.е. в около 40% от територията на страната не са наблюдавани такива явления. Най-голяма е

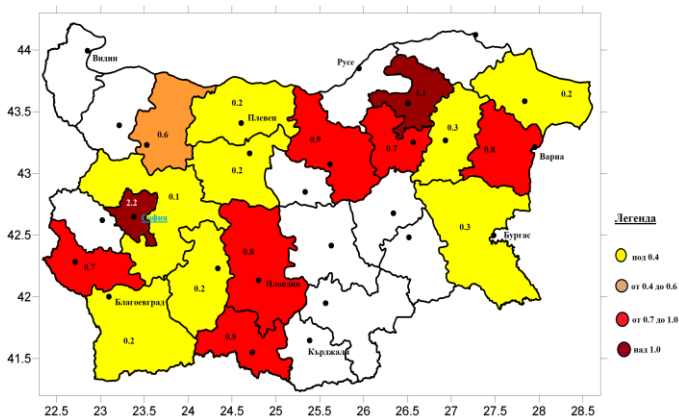
регистрираната годишна честота в областите София – град ($2.2/10^4 \text{km}^2$) и Разград ($1.1/10^4 \text{km}^2$). Трябва да се отбележи, че през изследвания 10-годишен период годишната честота на торнадата за областите Добрич и Бургас всъщност представя годишната честота на водните смерчове в крайбрежните им райони, тъй като между 2001 и 2010 г. там няма регистрирано торнадо на сушата.

Регистрираните през периода на изследване 47 случая на торнадо над сушата са класифицирани по мощност според скалата на Фуджита. Водните смерчове не са включени в тази класификация, тъй като при тях имаме данни единствено за наличието на връзка между облака и водната повърхност и отчасти за скоростта на вятъра, но няма данни за нанесени щети. Болшинството от случаите на торнадо в България (68%) могат да бъдат определени като слаби (F1 или по-малко). Този процент е съизмерим с изследванията в Германия и Австрия, където регистрираните слаби торнада са между 55 и 62 % (Bissolli et al, 2007; Holzer, 2000). Всички случаи, определени като F0, са регистрирани след 1993 г., като 90% от тях са през последното десетилетие. Това се дължи на факта, че исторически през годините са регистрирани само случаите, довели до значителни разрушения и големи материални щети, т.е. тези с мощност над F1. Най-мощните случаи на торнада в България са категоризирани по данни за нанесените щети като F2-F3 (3 на брой) и всички те са регистрирани преди 1990 г. В 13% от случаите, мощността е определена като клас F1-F2, тъй като данните за нанесените щети са характерни за по-горната категория, а данните за скоростта на вятъра - за по-ниската категория в скалата на Фуджита. До сега от всички известни случаи, няма торнадо с мощност над F3.

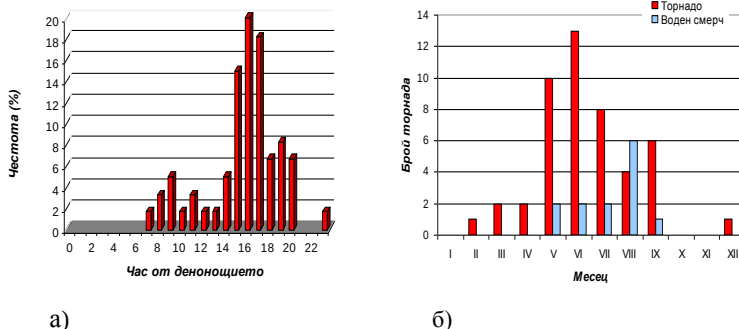
Изследвано е и денонощното разпределение на торнадата и водните смерчове в България (фиг.11а). Около 80% от всички случаи са регистрирани в следобедните часове, главно между 14:00 и 18:00 часа местно време, което съвпада с отчетените денонощни максимуми и в други страни от Европа (Dessens and Snow, 1989; Rauhala et al., 2012). Има само един известен случай на торнадо, което е регистрирано около полунощ (№36 на фиг.9). Всички останали случаи са забелязани в часовете между 07:00 и 20:00. Тези факти могат да се обяснят, както с дневния ход на конвективната облачност, чиито пик е в следобедните часове, така и с липсата на очевидци и видимост за явлението през тъмната част от денонощието. Що се отнася до смерчовете над водна повърхност, то половината вихри над акваторията на Черно море са регистрирани в сутрешните часове на деня между 9:30 и 12:00 часа. което също може да се обясни с относително по-високата температура на морската вода в часовете преди и около обед, благоприятстващо развитието на конвекция над водната повърхност.



Фиг. 9. Местоположение на 47 торнада (точки) и 10 водни смерча (триъгълници), наблюдавани в България през периода 1956-2010.



Фиг. 10. Средна годишна честота на торнадата за всяка област в България за периода 2001-2010 г.



а) б)
Фиг. 11. Денонощно а) и месечно б) разпределение на изследваните и доказани случаи на торнадо в България за периода 1956-2010 г.

Месечното разпределение на торнадата и водните смерчове е показано на фиг.11б. През топлото полугодие (април-септември) са регистрирани 93% от всички 60 случая. Най-много са торнадата през юни (28%), което е по-рано в сезона от установените максимуми в други страни от централна и източна Европа. Според климатологията на торнадата в Германия (Bissolli et al, 2007), Австрия (Holzer, 2000) и Гърция (Sioutas, 2011), те са най-чести през м. юли. В някои южноевропейски страни най-голям брой торнада са регистрирани дори още по-късно, през втората половина на топлото полугодие. За Италия този максимум е през август (Giaiotti et al., 2007), а за Испания – през септември (Gaya, 2011).

В България най-голям е броят на водните смерчове през месец август (46% от всички), когато температурата на морската вода обикновено е най-висока. Това отново е един месец по-рано от регистрирания в Гърция максимум (Sioutas, 2011), но съвпада с отчетения максимум на водни смерчове в Хърватия (Renko et al., 2013).

В настоящото изследване са представени и 4 торнада, случили се през студеното полугодие. Три от тях са регистрирани в Южна България - №34 от м. февруари, №32 от март и № 57 от м. декември (фиг. 9) и едно в Североизточна България - №42 от м. март. Всички тези случаи са от последните 10 години, след 2003 г. Това може да е следствие както от наблюдаваното повишение на зимните температури (ефекта на т.нар. глобално затопляне), така и от бурното развитие на електрониката и комуникациите, причина за по-често документиране на торнада през последните години. И четирите случая на „зимно” торнадо са свързани с развитието на нетипични за сезона синоптични обстановки, при които под влияние на бързо подвижен и мощен студен фронт, студена и влажна въздушна маса (ВМ) измества топлата и суха ВМ при земята.

Метеорологични условия при възникване на торнада през периода 2001-2010 г.

Както беше казано и по-горе, над 60% от документираните и доказани случаи на торнадо в България за 55-годишния период на изследване са регистрирани през последните 10 години (2001-2010 г.). През този период разполагаме и с най-пълна аерологична, синоптична, радарна и спътникова информация, с чиято помощ по-надолу детайлно са представени синоптичните и термодинамични условия за възникването и развитието на торнада в България.

Синоптични условия

Може да се обобщи, че съществува типична синоптична обстановка, включваща около 90% от случаите, най-често с мощна фронтална зона от югозапад във височина, свързана със струйно течение, която минава през страната (Латинов, 2006; Simeonov et. al, 2011). Подобно на представеното в Aran et al. (2009), тази обстановка обикновено е свързана с дълбока долина или Средиземноморски циклон, разположен на запад от Балканите. Студеният фронт, свързан с долината, обикновено е меридионално разположен и преминава бавно (стационарира) над Балканския полуостров, като е свързан с мощно струйно течение и фронтална зона във височина. Термичният градиент по протежението му нараства и е максимално голям над страната. Термичната конвекция също има дял при развитието на смерчове в България – 80% от тях са регистрирани в часовете след пладне, когато условията за нея са най-добри. Планинският и хълмист релеф на Балканския полуостров и в частност на България, спомагат развитието на мощни конвективни облаци над страната, които благодарение на водещия поток в средната тропосфера (слоя 700-500 hPa) се преместват над планинските препятствия.

Термодинамични условия

Изчислени са и някои термодинамични характеристики на атмосферата, както и набор от индекси на неустойчивост за всички случаи на торнада над сушата (31 на брой), регистрирани през периода 2001-2010 г. Това изследване е направено с цел да се представят термодинамичните особености на атмосферата при регистрираните случаи на торнадо в България, подобно на изследванията направени от Brooks et al. (2003), Sioutas (2011) и др. Основната трудност при изчислението на индексите е малкото на брой аерологични сондажи в района, което съчетано с малкия мащаб и краткия живот на изследваното явление, налага изключването на някои индекси като енергията на неустойчивост (CAPE) например, за която се получават доста различни

стойности в диапазон от 0 до 3900 J/kg. Нулевите стойности са най-вече при смерчовете, които са наблюдавани в часовете преди пладне, т.е. предшестват обедния сондаж. Тъй като торнадата са свързани с развитието на МКБ, по които в повечето случаи има и проливни валежи и/или силни градушки, то след изваляването на облака или по време валежа, енергията на неустойчивост рязко намалява. В тази връзка в настоящото изследване са изчислени 4 индекса на неустойчивост – KI, TTi, LI и SWEAT – описващи потенциала за развитие на мощна конвекция, на базата на измервания на вертикалните профили на температурата, влагата и вятъра в ниската и средна тропосфера. Когато атмосферната устойчивост намалява, тези индекси нарастват по абсолютна стойност и достигат определени критични прагове (показани са в Приложение 3 към дисертационния труд).

Получените средни стойности за всички случаи на торнадо през периода 2001-2010 г. от KI=30.6, TTi=51.7, LI=-5.4 са над граничните стойности за развитие на МКБ (табл.6). Получените стойности за TTi са съизмерими с резултатите за този индекс в случаите на торнада в САЩ (David, 1976). Средните стойности на LI и TTi са по-високи от получените стойности за териториите на Североиточна Индия и Бангладеш (Bhattacharya et al., 2013). Средната стойност за SWEAT индекса от 240.7 дори е по-висока от получената за същия период стойност за торнадата в Гърция (Sioutas, 2011), но и при нашите пресмятания не са получени стойности над критичния праг от 400, типични за случаите на торнада в САЩ през летните месеци. Все пак, получената в изследването средна стойност на SWEAT индекса, е съизмерима с тази, пресметната за един от месеците с най-голяма честота на торнадата в САЩ – м. май ($SWEAT_{\text{may}}=253$ – David, 1976). Останалите параметри, представени в табл. 6 също са съизмерими с тези, изчислени за територията на южната ни съседка.

Таблица 6. Индекси на неустойчивост на атмосферата за случаите на торнадо в България (2001-2010 г.)

<i>Индекс</i>	<i>Средно</i>	<i>Минимум</i>	<i>Максимум</i>	<i>Стандартно отклонение</i>
<i>KI, °C</i>	30.6	13.9	43.7	7.8
<i>TTi, °C</i>	51.7	42.5	61.0	4.3
<i>LI, °C</i>	-5.4	-13.7	2.5	3.3
<i>SWEAT</i>	240.7	107.8	399.9	89.1

В табл. 7 са представени някои термодинамични характеристики на атмосферата за случаите на торнада над сушата през изследвания период. Получените стойности за всички параметри са над граничните за

развитие на МКБ и до голяма степен съвпадат с изчислените прагове за развитие на мощни градови процеси през топлото полугодие в България (Боев и Маринов, 1984; Симеонов и др., 1990). Данните за температурните разлики между температурната и адиабатната крива на ниво 500 hPa (ΔT_{500}) и максималната температурна разлика между 2-те криви (DT_m) са показател за наличието на благоприятни условия за възникването на термична конвекция. Голямата термична неустойчивост обуславя мощни възходящи потоци в конвективните облаци – максималната вертикална скорост w_{max} е в интервала 12.0-24.5 m/s, а разликата в скоростта на вятъра между нива 300-700 hPa (Δv) показва, че за над 85% от случаите профилът на скоростта се характеризира с максимум в горната част на облака. Височините на нулевата изотерма H_0 , дори за торнадата през студеното полугодие, са в рамките на представените в Симеонов и др. (1990) типични стойности за развитие на градови процеси през лятото. Що се отнася до височината на горната граница на конвекция, то всички изчислени стойности попадат в интервалите, определени от Боев и Маринов (1984) за развитие на градоносни облаци през топлото полугодие, а средната стойност дори е по-висока от изчислената в Симеонов и др. (1990).

Таблица 7. Термодинамични характеристики на атмосферата по данни от аерологични сондажи за случаите на торнадо в България (2001-2010).

<i>Параметър</i>	<i>Мерна единица</i>	<i>Средно</i>	<i>Минимум</i>	<i>Максимум</i>	<i>Стандартно отклонение</i>
ΔT_{500}	°C	7.8	2.8	10.7	2.2
DT_m	°C	10.0	6.0	16.6	2.8
S_{DT754}	°C	21.1	10.5	31.2	5.7
w_{max}	m/s	17.1	12.0	24.5	3.5
Δv	m/s	13.0	-3.0	45.0	12.3
H_0	m	4454	2278	5899	917
$ГГК$	m	11637	8484	13254	1305

Индексите в табл. 7 са както следва:

ΔT_{500} - температурна разлика между температурната и адиабатната крива на ниво 500 hPa;

DT_m – максимална температурна разлика между същите криви;

S_{DT754} – сума на температурните разлики на нива 700-, 500- и 400 hPa;

w_{max} – максимална скорост на вятъра във възходящия поток;

Δv – разликата в скоростта на вятъра между нива 300-700 hPa;

H_0 – височина на нулевата изотерма;

$ГГК$ – горна граница на конвекция.

Сравнителен анализ на особени случаи – «зимно» и «лятно» торнадо

В настоящото изследване е направено подобно сравнение за торнада, развиващи се над равнинна повърхност: две типично „летни” в Северозападна България и едно „зимно” в Централна Южна България, за които има пълна аерологична, радарна, спътникова и синоптична информация, както и данни за щетите по места. Термодинамичните характеристики при двата случая са твърде сходни. Характерно за тези случаи е голямата промяна в профила на влажността между по-ниските и по-високите слоеве на атмосферата. Докато между 0.5-4 km относителната влажност на въздуха е висока, то слой над него между 4 и 7 km е значително по-сух. Наличието на слой от влажен въздух в ниската тропосфера и слой с много сух въздух над него създава подходящи условия за развитието на мощна конвективна буря МКБ (Georgiev, 2003).

Глава 4. Комплексен анализ на опасни конвективни бури

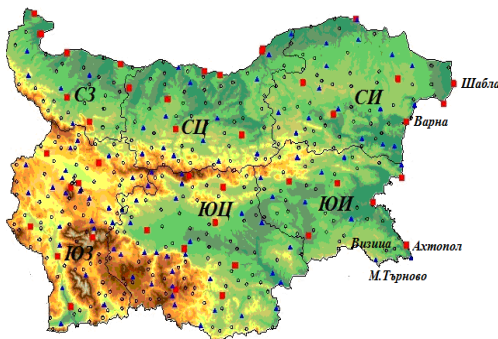
Екстремни валежи в България (1951-2010 г.)

В тази част от дисертацията са използвани данни от МБД на НИМХ за периода 1951-2010 г. за датата, количеството, вида и времетраенето на всички екстремни и особено опасни валежи, регистрирани в поне една метеорологична станция в България, като са взети предвид измерванията във всички видове станции: синоптични, климатични и валежомерни (фиг. 12). Периодът е избран от съображения за сравнимост на резултатите, тъй като в България в началото на 50^{те} години на 20 век се откриват много нови метеорологични станции като броят им постоянно расте и е максимален през 80^{те} години, а понастоящем гъстотата на мрежата е почти еднаква с тази от средата на 50^{те} години на миналия век – виж фиг.13. Като екстремни са определени измерени денонощни валежни количества равни или по-големи от 100 mm. Подобна денонощна сума на валежа може да бъде определена като екстремна, защото надхвърля изчислените стойности за 95^{тия} процентил на разпределението на максималния денонощен годишен валеж почти за всички станции от територията на страната през периода 1951-2010г.

Сравнен и статистически оценен е годишният и месечен ход на дните с опасни валежи за 2 периода: 1951-1990г. и 1991-2010г. за цялата страна и за Източна България в частност, защото както е представено в Глава 2, най-значимо е увеличението на потенциално опасните валежи през последните 20 години в източните части страната.

Изследвани са синоптични обстановки и са показани типични синоптични структури, водещи до екстремни валежи в Източна България. За тази цел са използвани както карти от синоптичния архив и данни от месечния бюлетин на НИМХ, така и данни от NCAR/NCEP Reanalysis

data, разпространени от NOAA/ESRL Physical Sciences Division, Boulder Colorado чрез техния уеб-сайт (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/> - виж Kalnay and Coauthors, 1996). При анализа на отделни синоптични обстановки са използвани и изображения от спътниците на EUMETSAT.



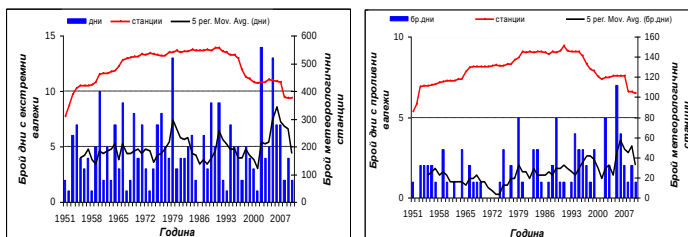
Фиг.12. Синоптични (квадрати), климатични (триъгълници) и валежмерни (кръгчета) станции използвани в изследването.

Подробно са представени 4 изключително екстремни валежни епизода, наблюдавани в Източна България, в близост до Черно море. При тези извънредни ситуации, измерените денонощни валежни количества надхвърлят около 5 пъти месечните норми на валежите в съответната станция.

Като цяло за страната средногодишният брой дни с опасни валежи за периода 1991-2010 г. е 5.1 дни, което сравнено с 3.6 дни, получени за периода 1951-1990 г. (2 пъти по-дълъг), представлява увеличение с около 65%. Независимо от голямата разлика в средните стойности за двата периода, статистическата оценка показва, че не са налице значими изменения в разпределенията на дните с екстремни валежи през разглежданите периоди. В същото време, само за станциите от СИ и ЮИ България се регистрира двойно по-голямо нарастване на средния многогодишен брой дни с валежи $\geq 100\text{mm}/24\text{ h}$ - статистически значимо нарастване с над 130% за станциите от Източна България и крайбрежието на Черно море.

Наблюдават се съществени разлики в месечното разпределение на опасните валежи през двата периода (фиг. 14). Докато през 1951-1990 г. най-много дни с екстремни валежи са регистрирани през месеците юни, септември и декември, то през последните 20 години тези валежи са по-чести през месеците от май до октомври и особено през юли, когато средния брой дни нараства с около 200%.

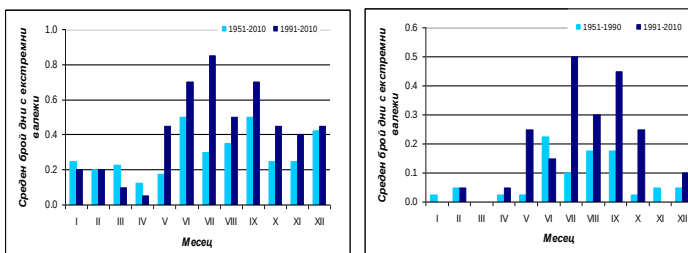
За районите от Източна България се наблюдава нарастване на дните с екстремни валежи през всички месеци от май до ноември през периода 1991-2010 г. Най-значим е ръстът през май и октомври, следвани от юли и септември. През последния 20-годишен период има и изместване в честотата на опасните валежи – максимумът се измества през м.юли, като за сравнение през периода 1951-1990 г. този максимум е през м.юни. Това изместване съвпада с установеното по-рано отместване на максимума на дните с ГБ в източните райони от м.юни към м.юли.



а) за цяла България

б) за СИ и ЮИ България

Фиг. 13. Годишен брой на дните с валежи $\geq 100 \text{ mm/24 h}$, сравнени с броя на метеорологичните станции за периода 1951-2010 г.



а) за цяла България

б) за СИ и ЮИ България

Фиг. 14. Месечно разпределение на средния брой дни с валеж $\geq 100 \text{ mm/24h}$.

Анализ на обстановките, водещи до екстремни валежи в Източна България

През периода 1951-2010 г. са изследвани и класифицирани 69 синоптични обстановки, свързани със 79 дни с екстремни валежи. Те са свързани предимно с преместването на Средиземноморски циклон над или южно от Балканския полуостров (43%) или с преминаването на студен фронт над страната (28%) и нестабилни ВМ (20%).

В дисертацията подробно, с примерни карти и спътникови снимки, са представени синоптични обстановки, водещи до екстремни валежи в

Източна България. Екстремните валежи в Източна България са измерени главно в края на лятото и през първата половина на есента – над 80% от всички разглеждани случаи са регистрирани между юли и октомври. Разгледани са някои от най-екстремните валежни обстановки за целия 60-годишен период на изследване. При всички тях измерените сумарни валежни количества по време на процесите са над 200 mm за по-малко от 24 часа. Такива валежи са изключително редки за територията на България. За периода 1951-2010 г. са регистрирани общо само 19 такива случаи, като 11 от тях са в Източна България и то предимно в близост до крайбрежието на Черно море. В табл. 8 са представени данни за 4 от тези случаи (по един през всеки от месеците от юли до октомври). При първия от тези особени случаи е регистриран и най-големият 24-часов валеж, измерен в отделна метеорологична станция в цялата история на метеорологичните наблюдения на територията на страната. Това е случаят от 21.08.1951 г., когато във валежомерна станция Слънчев ден (Варна – Дружба) е измерен денонощен валеж от 342mm (mm). В таблицата е представен и реално най-големият 24-часов валеж, измерен в България. Той е отчетен в синоптична станция Ахтопол по процес от 06-07.10.1994 г., когато за по-малко от 24 часа в района на гр. Ахтопол пада сумарен валеж над 400mm (mm). Причината това да не е най-големият регистриран денонощен валеж, записан в МБД на НИМХ, е в методологията на измерване на количеството валеж, възприета в метеорологичната практика у нас. Според нея във всички климатични и валежомерни станции валежа се измерва 1 път в денонощието в 7:30 часа местно време, а в синоптичните станции – на всеки 6 часа (4 измервания за 24 часа), но денонощната сума на валежа се изчислява отново при сутрешното наблюдение в 8:00 часа местно време. По този начин в гр.Ахтопол, където през октомври 1994 г. е регистриран непрекъснат, проливен почти през цялото време валеж, който започва в 02:30 часа на 06.10.1994 г. и спира в 02:00 часа на 07.10.1994 г., в метеорологичните дневници той е записан в рамките на 2 последователни дни.

Таблица 8. Характеристики на изследваните екстремни валежни случаи

<i>Дата</i>	<i>Станция</i>	<i>Мах измерен валеж, mm/24h</i>	<i>Продължителност на валежа, часове</i>	<i>Общо валежно количество, mm/24h</i>	<i>Средна интензивност, mm/min</i>
21.08.1951	Слънчев ден (Варна)	342	21h и 10 min	342	0.27
21.09.1983	Визица	246	16h и 50 min	246	0.24
06.10.1994	Ахтопол 1	212	23h и 30 min	376	0.27
07.10.1994	Ахтопол 2	263	23h и 30 min	463	0.33
03.07.2006	М.Търново	300	18h	300	0.28

В табл.8. е представена обобщена информация за разгледаните екстремни валежни обстановки. Вземайки предвид определението за интензивен валеж от Климатичния справочник: Интензивни дъждове в НР България (Ключукова и др., 1986), в последната колона на табл.8, на база записите от дневниците на метеорологичните станции, е изчислена средна интензивност на валежа за всеки процес. Получените стойности за всички случаи са над границата от 0.18 mm/min, следователно може да се твърди, че всички екстремни случаи са свързани с интензивни дъждове.

Анализ на МКБ над България през периода 1991-2010 г.

Установените в Глава 2 тенденции за увеличение на броя на регистрираните ОМЯ от конвективен произход през периода 1991-2010 г. водят до идеята за по-детайлно и комплексно изследване на МКБ през посочения период. За целта тук се използва информация за конвективните явления и потенциално опасните валежи от 128 синоптични и климатични станции на територията на страната независимо от надморската им височина (виж фиг. 12). Използвани са данни от МБД и месечния метеорологичен бюлетин на НИМХ за 20-годишен период (1991-2010 г.) за случаите с МКБ, свързани с обилни валежи, гръмотевични бури (градушки) и пориви на силен вятър (със скорост ≥ 14 m/s), регистрирани в поне една метеорологична станция. Дните с конвективни щормове са разделени на 4 основни групи, всяка със 2 подгрупи според измерената денонощна сума на валежа в поне една метеорологична станция за всеки месец от годината, като са използвани следните критерии:

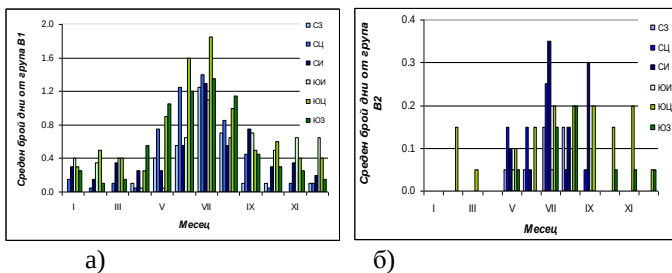
- **Група А:** А1 - дни с валеж 30.0-59.9 l/m²;
А2 - дни с валеж ≥ 60 l/m²;
- **Група В:** В1 - дни с валеж 30.0-59.9 l/m² и ГБ, регистрирани в поне една станция;
В2 - дни с валеж ≥ 60 l/m² и ГБ, регистрирани в поне една станция;
- **Група С:** С1 - дни с валеж 30.0-59.9 l/m² и вятър (със скорост ≥ 14 m/s), регистрирани в поне една станция;
С2 - дни с валеж ≥ 60 l/m² и вятър (със скорост ≥ 14 m/s), регистрирани в поне една станция;
- **Група Д:** Д1 - дни с валеж 30.0-59.9 l/m², ГБ и вятър (със скорост ≥ 14 m/s), регистрирани в поне една станция;
Д2 - дни с валеж ≥ 60 l/m², ГБ и вятър (със скорост ≥ 14 m/s), регистрирани в поне една станция.

Сравнен е хода на МКБ за 2 периода: 1991-2000 г. и 2001-2010 г. за цялата страна по месеци, както за отделните щормове, така и за масовите

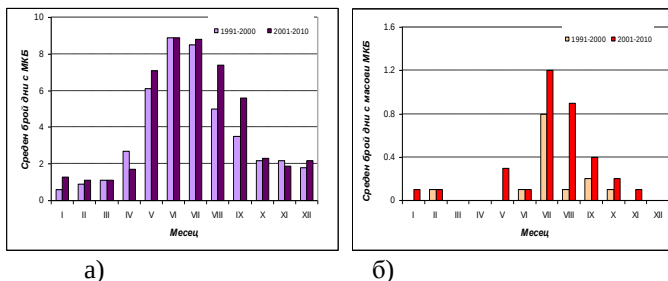
случаи на конвективни бури. За масовите случаи на МКБ са изследвани синоптични обстановки и са показани типични синоптични структури, свързани с развитието им над страната, в раличните сезони за всеки от шестте разглеждани района на България. За тази цел е приложен същия подход, описан в случая за екстремните валежи (виж стр. 34).

Комплексният анализ на МКБ и свързаните с тях ОМЯ през периода 1991-2010 г., показва, че повечето случаи на опасни валежи (над 60%) са придружени и от ГБ и/или силни ветрове и често водят до бедствени ситуации в засегнатите райони. Сезонното разпределение както на единичните случаи, така и на масовите МКБ, сочи, че за северната половина от страната дните с опасни валежи и ГБ са регистрирани главно през топлото полугодие, докато за районите от Южна България над 30% от тези случаи са през студеното полугодие (фиг.15). Изключение прави отново СИ район, където около 23% от ветровите бури с опасни валежи са регистрирани през студеното полугодие, главно през октомври, декември и януари. Опасните валежи придружени от ГБ и силни ветрове (групи D1 и D2) очаквано са сравнително редки явления за повечето райони. Все пак за районите от Източна и ЮЦ България те представляват над 10% от изследваните случаи на МКБ. В ЮИ и ЮЦ район болшинството от случаите са регистрирани през периода август-ноември.

През последните 10 години, след 2001 г., се отчита значително нарастване на случаите на МКБ, засегнали поне 4 области на страната, особено през месеците от август до октомври (фиг.16). Обобщено са представени и типичните за всеки сезон синоптични обстановки, водещи до такива бури, като е обърнато особено внимание на последствията от тези ОМЯ. Цялата налична информация за разглежданите случаи на масови МКБ е обобщена в таблица, която лесно би могла да бъде интегрирана със съществуващите към момента таблици от МБД на НИМХ.



Фиг. 15. Месечно разпределение на дните от група В за различните райони в България: а) група В1 ; б) група В2.



а) б)
Фиг. 16. Месечно разпределение на дните с МКБ в България за всеки от периодите 1991-2000 и 2001-2010 г.: а) всички МКБ; б) масови МКБ

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В дисертацията са обобщени и анализирани данните за такива ОМЯ, като: гръмотевични бури, градушки, потенциално опасни валежи и торнадо (смерч), регистрирани на територията на страната през последните 50 години.

С цел обезпечаване качеството на резултатите за пространствено-временните вариации на изследваните явления е извършена проверка, контрол и систематизиране на наличната метеорологична информация. Всички случаи на ГБ и валежи от град за включените в изследването метеорологични станции са проверени и въведени в електронни таблици в МБД на НИМХ за периода 1961-1991 г. В хода на изследването е проверена цялата налична информация за случаите на екстремен валеж ($\geq 100 \text{ mm}/24\text{h}$) за периода 1951-2010 г., като откритите несъответствия са коригирани в МБД на НИМХ.

В резултат на сравнителен статистически анализ на редиците от данни за изследваните ОМЯ за периода 1961-2010 г. е установено, че няма статистически значим намаляващ или нарастващ тренд в многогодишното разпределение на валежите от град за цялата територия на страната, докато в случаите на ГБ и потенциално опасни валежи в поне в поне 2 от районите е на лице статистически значим положителен линеен тренд. За случаите с ГБ това са СИ и ЮЦ райони, а за случаите с потенциално опасни валежи - ЮИ и ЮЗ райони.

При сравненията на средния брой дни с разгледаните ОМЯ, съответно за базисния период на изследване 1961-1990 г. и новия период 1991-2010 г. е установено, че за цялата територия на страната статистически значимо различие между разпределенията на регистрираните валежи от град. От друга страна отново в случая с ГБ и потенциално опасни и екстремни валежи има статистически значимо нарастване на дните с тези явления през периода 1991-2010 г. главно за районите от Източна България.

През последните 20 години на изследвания период се наблюдава съществено изменение в месечното разпределение на дните с всички изследвани ОМЯ – както на единичните, така и на масовите явления. За много от районите максимумът на месечното разпределение на дните с ГБ, градушки и потенциално опасни и екстремни валежи се измества към месеците от втората половина на топлото полугодие (от юли до септември). Тогава за първи път са регистрирани и масови градушки през сравнително хладния септември. Установено е и нетипично нарастване на броя на дните с ГБ и валежи от град през студеното полугодие, което е по-съществено за районите от Северна България. През 10-годишния период след 2001 г. за районите от Източна България максимумът в разпределението както на дните с екстремни валежи, така и на дните с ГБ се измества от м.юни към м.юли. За източните райони екстремните валежи са измерени основно в края на лятото и през първата половина на есента.

Сезонното разпределение както на единичните случаи, така и на масовите МКБ, показва, че за северната половина от страната те са главно през топлото полугодие, докато за районите от Южна България над 30% от тези случаи са през студеното полугодие. Изключение прави отново СИ район, където около 23% от МКБ са регистрирани през студеното полугодие, главно през октомври, декември и януари. След 2001 г., се отчита значително нарастване на случаите на МКБ, засегнали поне 4 области на страната, особено през месеците от август до октомври. Получените резултати могат да послужат за подобряване на практиките за действие при ОМЯ в отделните райони на страната, особено като се има предвид, че в над 96% от масовите МКБ има данни за щети.

Обобщеният анализ на временно-пространствените характеристики на торнадата (смерчове) в страната показва, че те най-често се случват в ЮЗ, СИ и районите от Централна България. Получените средни честоти на единица площ на явлението са съизмерими със стойностите за съседни и близки на България региони от Европа. Изчислените термодинамични характеристики на торнадата в България за периода 2001-2010 г. са сравнени с резултатите от аналогични изследвания за Европа, Азия и САЩ. Получените статистически характеристики са сравними с резултатите за торнада в съседна Гърция. Подобно на повечето страни в Европа повечето торнада са сравнително слаби (F0–F1 по скалата Фуджита). Всички случаи, определени като F0, са се случили след 1993 г., като 90% от тях са през последното десетилетие. Следователно и за нашата страна се потвърждава тенденцията за увеличаване на броя на слабите торнада, която през последните 20 години е типична за регионалните бази данни, както на Европа, така и на САЩ. През последните 10 години са регистрирани и 4 случая на торнадо през

студеното полугодие. Това може да е следствие както от наблюдаваното повишение на зимните температури (ефекта на т.нар. глобално затопляне), така и от бурното развитие на електрониката и комуникациите, причина за по-често документиране на торнада понастоящем.

Предложените критерии за класификация и оценка на валежите и МКБ могат да послужат за подобряване на прогнозата на тези явления и за основа на бъдещи климатични изследвания.

Създадените в хода на изследването таблици с обобщена информация от всички налични източници за случаите с торнадо и масови МКБ, са първа стъпка към създаването на специализирана база данни за ОМЯ. Информацията от подобна база би била полезна и приложима най-вече за по-доброто обслужване на Министерства, Агенции, държавни организации, частни фирми и потребители с обобщена климатична информация. Тя ще улесни значително и разработването на научни проекти и изследвания в областта на климатологията, както и ще подпомогне изпълнението на задълженията на НИМХ към СМО.

ПРИНОСИ

- Получени са пространствено-временни характеристики на случаите с гръмотевична дейност, градушки и потенциално опасни валежи за равнинната и полупланинска част на България за периода 1961-2010 г., като са оценени вариациите в хода на тези явления.
- Установени са изменения в хода на изследваните опасни метеорологични явления в различните райони на страната, настъпили през последните 20 години – най-значими за СИ България.
- Направено е първото цялостно изследване на доказаните случаи на торнадо за период от над 50 години (1956-2010), включващо пространствено-временните им характеристики, класификация по мощност, зони на възникване и др. Изчислени са честотите на възникване на смерчове за територията на всяка административна област в България за периода 2001-2010 г. Направен и първият за страната обобщен сравнителен синоптичен и термодинамичен анализ на регистрираните през 10-годишния период торнада.
- Създадени са критерии за оценка, типизация и класификация на потенциално опасните валежи и групите мощни конвективни бури.
- Създадени са обобщени специализирани таблици за случаите с торнадо и масови мощни конвективни бури, които могат да послужат за основа за създаването на специализирана база данни за опасни явления на времето.

Публикации на автора, свързани с дисертационния труд

7.1. Публикации в научно списание

7.1.1. **Bocheva L.**, T. Marinova, P. Simeonov, I. Gospodinov, 2009. Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961-2005). Atmos.Research, Volume 93, Issues 1-3, 490-497.

7.1.2. Simeonov P., **Bocheva L.**, Gospodinov I., 2013. On space-time distribution of tornado events in Bulgaria (1956-2010) with brief analyses of two cases. Atmos.Research, Volume 123, 61-70.

7.1.3. **Bocheva L.**, Simeonov P., Marinova T., 2013. Variations of thunderstorm activity in non-mountainous regions of Bulgaria (1961 – 2010). BJMH, vol.18, No 1-2, 38-47.

В списание с импакт фактор – публикации 7.1.1. и 7.1.2.

7.2. Публикуван доклад пред международно мероприятие в чужбина и у нас.

7.2.1. **Bocheva L.**, P. Simeonov, T. Marinova, 2006. On Frequency Distribution and Intensity of Severe Convective Storms over Bulgaria. Proceedings of BALWOIS 2006, Republic of Macedonia, Ohrid, 23 – 26 May 2006, (ISBN 9989-9594-1-2, CD version).

7.2.2. **Bocheva L.**, I. Gospodinov, P. Simeonov, T. Marinova, 2008. Climatological Analysis of the Synoptic Situations Causing Torrential Precipitation Events in Bulgaria During the Period 1961 – 2007. Proc. Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe – Intern. Conf., 19-21 May 2008, Sofia (CD version).

7.2.3. **Bocheva L.**, P. Simeonov, I. Gospodinov, T. Marinova, 2008. Torrential Precipitation Events in Bulgaria: A Comparative Analysis for East Bulgaria. BALWOIS 2008, 27-31 May 2008, Ohrid, Republic Macedonia(CD version), 7p.

7.2.4. **Bocheva L.**, P. Simeonov, I. Gospodinov, 2010. On The Risk Assessment Of Severe Convective Storms And Some Weather Hazards Over Bulgaria (1991 – 2008) - Meteorological Approach. BALWOIS 2010, 25 -29 May 2010, Ohrid, Republic Macedonia (CD version), 8p.

7.2.5. **Bocheva L.**, 2012. Seasonal variation of heavy precipitation events and distribution of stormy days in Bulgaria (1991 – 2010), BALWOIS, 28 May – 02 June 2012, Ohrid, Republic of Macedonia (ISBN 978-608-4510-10-9).

7.2.6. **Бочева Л.**, Симеонов П., 2013. Метеорологичен подход при оценката на мощни конвективни бури, водещи до опасни явления на времето в България (1991 – 2010) – ВТОРИ НАЦИОНАЛЕН КОНГРЕС ПО ФИЗИЧЕСКИ НАУКИ – 25 - 29. 09. 2013 г., София, ФзФ, СУ „Климент Охридски”, (<http://congress2013.bgphysics.eu/> - 07_43_Lilia_Bocheva.pdf - ISBN 978-954-580-333-8)

Литература (цитирана в автореферата)

1. Боев П., Маринов А., 1984. Термодинамични и временно-пространствени характеристики на мощни градови процеси над България. Хидрология и метеорология, XXXIII, 4, 10-17.
2. Бъчварова С., Джорева М., Христова Й., Сеньов А., 2008. Климатични аномалии и отражението им върху земеделското производство в България през 2007 година – Материали от работата на Националната комисия за независим мониторинг на въздействието на неблагоприятните климатични събития в земеделието. МЗП-НЦАН; НКНМ, София, 167 стр. (ISBN-978-954-8045-10-0)
3. Велева Б., 2012. Върху атмосферната радиоактивност в България през последните 50 години. Методи и връзки с метеорологичните процеси. – Дисертация за присъждане на образователната и научна степен “доктор”, 168 стр.
4. Илиев И., 1979. Режим на градобитността и съпровождащите явления в Пазарджишко-Пловдивското поле. Проблеми на географията, 2, 36-44.
5. Киров К., 1934. Стихийни атмосферни явления през 1928-1934. София.
6. Киряков К., 1945. Градушките в България. Земеделие, № 3-4.
7. Климатът на България, 1991. Под редакцията на Св. Станев, М. Кючукова, Ст. Лингова. Изд. БАН, Институт по метеорология и хидрология, София, 499 стр.
8. Кючукова М., Иванов П., Събева М., 1986. Климатичен справочник: Интензивни дъждове в НР България. ИХМ, изд. БАН, София, 272 стр.
9. Латинов Л., 2006. Синоптични условия за снежни бури, поледници, смерч и прашни бури в България. Изд. ЛИТО Балкан АД, София, 191 стр.
10. Недялков Н., 1960. Градобитността в България. Изд на БАН, София, 91 стр.
11. Снитковский А. И., 1987. Смерчи на територии СССР. Метеорология и гидрология, 9, 12-25.
12. Симеонов П., 1984. Върху режима на градовите явления в Горнотракийската низина. Хидрология и метеорология, 6, 9-17.
13. Симеонов П., Боев П., Петров Р., Сираков Д., Андреев В., 1990. Проблеми на борбата с градушките. Унив. Изд. „Климент Охридски”, София, 314стр.
14. Симеонов П., Тодоров В., Тошев И., 1989. Набиране, анализ и извеждане на пространствено-временни характеристики на мълиненостната дейност в НРБ за периода 1956-1985 г. Научно-технически отчет, № 82578039 НАЦИД, АИС, „Сирена”.
15. Станева Б., 1955. Режим на гръмотевичните бури в България. Трудове на хидрометеорологичната служба, т. IV, 471-497, Изд. Наука и изкуство, София.
16. Станчев, К., 1964. Върху честотата и териториалното разпределение на градушките в България. Хидрология и метеорология, №2, 15-23.
17. Фучеджиев Г., Стойчева Г., Бочева Е., 1981. Ръководство за шифриране на оперативна метеорологична информация. БАН, ГУ „Хидрология и метеорология”, София, 127 стр.
18. Alexander L. and Coauthors, 2006. Global observed changes in daily climatic extremes of temperature and precipitation. J. Geophys. Res., 111, D05101, doi:10.1029/2005JD006290.
19. Alexandrov V., Schneider M., Koleva E., Moisselin J-M., 2004. Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. Theor. Appl. Climat., 79, 133-149.
20. Alpert P., T. Ben-gai A. Bahard, Y. Benjamini, D. Yekutieli, M. Colacino, L. Diorado, C. Ramis, V. Homar, R. Romero, S. Michaelides, A. Manes, 2000. The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values. Geoph. Res. Letters, v. 29, X-1- X-4.

21. Aran M., Amaro J., Arus J., Bech J., Figuerola F., Gaya, M. and Vilaclara, E., 2009. Synoptic and mesoscale diagnosis of a tornado event in Castellcir, Catalonia, on 18th October 2006. *Atm.Res.* 93, 1-3, 147-160.
22. Berthet C., Dessens J., Sanchez J.L., 2011. Regional and yearly variations of hail frequency and intensity in France. *Atmos. Res.*, 100, 391-400.
23. Bhattacharya R., Bhattacharya A., Das R., 2013. Thermodynamics of the atmosphere in relation to tornado activity over NE India and Bangladesh. *International journal of electronics and communication technology*. Vol.4, Issue Spl – 1, 92-94, ISSN: 2230-7109.
24. Bielec-Bakowska Z., 2003. Long-term variation of thunderstorm occurrence in Poland in the 20-th century. *Atmos. Res.*, 67-68, 35-52.
25. Bissolli P., Grieser J., Dotzek N., Welsch M., 2007. Tornadoes in Germany 1950-2003 and their relation to particular weather conditions. *Glob. And Plan. Change*, vol.57, Iss. 1-2, 124-138.
26. Bocheva L., Gospodinov I., Simeonov P., Marinova T., 2009. On change in extreme daily precipitation characteristics in Bulgaria (1961 – 2007). 5th ECSS, 12 – 16 October 2009, Landshtut, Germany.
27. Brazdil R., 2002. Small-scale severe weather phenomena. In: IPCC Workshop Report on changes in Extreme Weather and Climate Events, Beijing, China, 27–29.
28. Brooks H. E., Lee J. W., Craven J. P., 2003. The spatial distribution of severe thunderstorms and tornado environments from global reanalysis data. *Atmos. Res.*, 67-68, 73-94.
29. Brooks H. E., Dotzek N., 2007. The spatial distribution of severe convective storms and an analysis of their secular changes. *Climate Extremes and Society*. H. F. Diaz and R. Murnane, Eds., Cambridge University Press, 35-53.
30. Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., 2001. Changes in total precipitation, rainy days and extreme events in Northeastern Italy. *Int. Jour. Climate*, 21, 861-871.
31. Changnon S., Changnon, D., 2001. Long-term fluctuations in thunderstorm activity in the United States. *Climatic Change* 50, 489-503.
32. Chroma K., Brazdil R., Tolasz R., 2005. Spatio-temporal variability of hailstorms for Moravia and Silesia in the summer half-year of the period 1961-2000. *Meteorologicki casopis*, 8, 65-74.
33. Croitoru A.-E., Chitoroiu B.-C., Todorova V., Torica V., 2013. Changes in precipitation extremes on the Black sea Western coast. *Global and Planetary Change*, 102, 10-19.
34. David CL., 1976. A study of upper-air parameters at the time of tornadoes. *Mont.Weath.Rev.*, 104, 546-551.
35. Dessens J., Berthet C., Sanchez J.L., 2007. A point hailfall classification based on hailpad measurements : The ANELFA scale. *Atmos. Res.*, 83, 132-139.
36. Dimitrova, T., Mitzeva, R., Savtchenko, A., 2009. Environmental conditions responsible for the type of precipitation in summer convective storms over Bulgaria. *Atmos. Res.*, 93 30-38.
37. Dimitrova Ts., Mitzeva R., Betz H., Zhelev H., Diebel S., 2011. Lightning behaviour during the lifetime of severe thunderstorms. Ext. abs. on 6th European Conference of Severe Storms (ECSS 2011), 03 - 07 October 2011, Palma de Mallorca, Spain (<http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/programme.html>).
38. Dessens J., J. T. Snow, 1989. Tornadoes in France. *Weath. and Forecasting*, 4, 233-251.
39. Fujita, T.T., 1981. Tornadoes and downbursts in the context of generalized planetary scales. *J. Atmos. Sci.*, 38, 1511-1534.
40. Gaya M., 2011. Tornadoes and severe storms in Spain. *Atmos. Res.*, 100, 334-343.
41. Gavrilov M., Lazic L., Milutinovic M., Gavrilov M., 2011. Influence of hail suppression on the hail trend in Vojvodina, Serbia. *Geographica Pannonica*, Vol. 15, Issue 2, 36-41.

42. Georgiev, C. G., 2003. Use of data from Meteosat water vapour channel and surface observations for studying pre-convective environment of a tornado-producing storm. *Atmos. Res.*, 67-68, 231-246.
43. Giaiotti D., Nordio S., Stel F., 2003. The climatology of hail in plain of Friuli Venezia Giulia. *Atmos. Res.*, 67-68, 247-259.
44. Giaiotti D., Giovannoni M, Pucillo A, Stel F., 2007. The climatology of tornadoes and waterspouts in Italy. *Atmos. Res.*, 83, 534-541.
45. Groisman, P., and Coauthors, 1999. Changes in the probability of heavy precipitation: Important indicators of climatic change. *Climate change*, 42, 243-283.
46. Groisman, P., Knight R., Easterling D., Karl T., Hegerl G., Razuvaev V., 2005. Trends in intense precipitation in the climate record. *J. Climate*, 18, 1326-1350.
47. Holzer A. M., 2000. Tornado Climatology of Austria. *Atmos. Res.* 56, 203-212.
48. Houssos E., Bartzokas A., 2006. Extreme precipitation events in NW Greece. *Advanced in Geosciences*, 7, 91-95.
49. IPCC, 2007. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Group I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change (Core Writing Team, Pachuari, R.K. and Reisinger, A. (eds.)). IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.
50. IPCC, 2012. *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 [Field, C.B., V. Barros, T.F. Stocker, D. Qin, D.J. Dokken, K.L. Ebi, M.D. Mastrandrea, K.J. Mach, G.-K. Plattner, S.K. Allen, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, and New York, NY, USA, 582 pp.
51. Kunkel K and Coauthors 2013. Monitoring and understanding trends in extreme storms – state of knowledge. *BAMS*, 499-514.
52. Kunz M., Sander J., Kottmeier Ch., 2009. Recent trends of thunderstorm and hailstorm frequency and their relation to atmospheric characteristics in southwest Germany. *Int. J. Climatol.*, 29, 2283-2297.
53. Lipikasza E., 2010. Spatial and temporal variability of extreme precipitation in Poland in the period 1951-2006. *Int Jour. Climat.*, 30, 991-1007.
54. Livada I., Charalambous G., Assimakopoulous M.N., 2008. Spatial and temporal study of precipitation characteristics over Greece. *Theor. Appl. Climatol.*, 93, 45-55.
55. Markova B., Mitzeva R., 2013. Thresholds of CAPE and Lifted Index at the development of summer thunderstorms over inland and along the coast in eastern Bulgaria, *Годишник на СУ "Св. Климент Охридски" Физически факултет*, т.106
56. Mezher R., Doyle M., Barros V., 2012. Climatology of hail in Argentina. *Atmos. Res.*, 114-115, 70-82.
57. Min, S. K., Zhang X., Zwiers F., Hegerl G.C., 2011. Human contribution to more-intense precipitation extremes. *Nature*, 470, 378-381.
58. Mohr S., Kunz M., 2013. Recent trends and variabilities of convective parameters relevant for hail events in Germany and Europe. *Atmos. Res.*, 123, 211-228.
59. Nikolova N., Boroneant C., 2011. Observed changes in precipitation in Danube river lower basin in the context of climate change. *Forum geographic. S.C.G.P.M.*, vol.10, Issue 1, 117-128.
60. Package Kendall from: R: A Language and Environment for Statistical Computing, R Development Core Team, R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria, 2008, {ISBN} 3-900051-07-0}, <http://www.R-project.org>.
61. Pocakaj D., Vecenaj Z., Stalec J., 2009. Hail characteristics of different regions in continental part of Croatia based on influence of orography. *Atmos. Res.*, 93, 516-525.

62. Rauhala J., Brooks H.E., Schultz D., 2012. Tornado climatology of Finland. *Mon.Wea.Rev.*, 140, 1446-1456.
63. Renko T., Kuzmic J., Strelec Mahovic N., 2013. Synoptic and mesoscale analysis of waterspouts in the Adriatic (2001 – 2011 preliminary climatology). Ext. abs. of 7th ECSS, 3-7 June 2013, Helsinki, Finland (www.essl.org).
64. Simeonov P., Syrakov D., 1988. On some characteristics determining the development of hail processes in Bulgaria. 10th Int.Cloud Phys. Conf., August, Bad Homburg, Deutscher Wetter direct, Offenbach of Main, Germany, vol. II, 576-578.
65. Simeonov P., Georgiev C.G., 2001. A case study of tornado-producing storm south of Rhodopes mountain in the East Mediterranean. *Atmos. Res.*, 57, 187-199.
66. Simeonov P., Georgiev C.G., 2003. Severe wind/hail storms over Bulgaria in 1999-2001 period: synoptic- and meso-scale factors for generation. *Atmos. Res.* 67-68, 629-643.
67. Simeonov P., Gospodinov I., L. Bocheva, R.Petrov, 2011. Analysis of severe convective storms, connected with several tornado events in Bulgaria (2006 – 2009). *BJMH*, vol.11, 1, 78-85.
68. Sioutas M., 2011. A tornado and waterspout climatology for Greece. *Atmos. Res.* 100, 344-356.
69. Sioutas M., Meaden T., Webb J., 2009. Hail frequency, distribution and intensity in Northern Greece. *Atmos. Res.* 93, 526-533.
70. StatSoft, Inc., 2004. STATISTICA (data analysis software system), version 6, (www.statsoft.com).
71. Suwala K., Bednorz E., 2013. Climatology of hail in Central Europe. *Quaestiones Geographicae*, 32 (3), 99-110.
72. Svabik O., 2011. Time series of severe storms in Austria, 1951-2010. Poster on 6th European Conference of Severe Storms (ECSS 2011), 03-07 October 2011, Palma de Mallorca, Spain. (<http://www.essl.org/ECSS/2011/programme/programme.html>).
73. Tsonevski I., Campins J., Genoves A., Jansa A., 2010. Atmospheric patterns for heavy precipitation in Bulgaria. *Rom. Jour. of Meteor.*, 1, 1-12.
74. Webb J., Elsom D., Meaden G., 2009. Severe hailstorms in Britain and Ireland, a climatological survey and hazard assessment. *Atmos Res.*, 93, 587-606.
75. WMO Brochure No. 993: Preventing and mitigating natural disasters, Geneva, 34 pp., 2006.
76. Xie B., Zhang Q., Wang Y., 2008. Trends in hail in China during 1960-2005. *Geophys. Res. Lett.* 35, L13801. <http://dx.doi.org/10.1029/2008GL034067>.

БЛАГОДАРНОСТИ

Изказвам моята специална благодарност на научния ми ръководител д-р Петьо Симеонов за ценните съвети и помощта му при подготовката на дисертационния ми труд.

Изказвам моята сърдечна благодарност на доц. д-р Таня Маринова за помощта при обработката на метеорологичната информация, както и за подкрепата ѝ във всеки един момент от работата ми.

Искам да благодаря и на доц. д-р Илиан Господинов за помощта му при анализа на синоптичните обстановки и визуализацията на резултатите.

Благодаря на доц. д-р Нейко Нейков за помощта му при статистическата обработка на данните.

Изказвам моята благодарност на проф. д-р Христо Георгиев за съветите и подкрепата, която ми оказва от постъпването ми в НИМХ досега.

Искам специално да благодаря на колегите и приятелите от Департамент „Метеорология” и секция „Климатология и МБД” за разбирането, помощта и подкрепата им. Благодаря и на всички приятели от НИМХ и специално на Цветелина Димитрова от ИАБГ, които отделиха време и ми помогнаха при редактирането на текста.