



Софийски университет „Св. Климент Охридски“  
Физически факултет  
Катедра „Метеорология и геофизика“

---

Анастасия Спасова Стойчева

**Мъглата в София през периода 1992 – 2014 година**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
на  
**ДИСЕРТАЦИЯ**

за получаване на образователна и научна степен  
„ДОКТОР“

Специалност „Метеорология“, шифър 01.04.11  
(„Науки за земята, шифър 4.4“)

**НАУЧЕН РЪКОВОДИТЕЛ:**

**доц. д-р Стилиян Евтимов**

Рецензенти:

София  
2015

Дисертацията се състои от Увод, 5 глави, Заключение и 1 приложение. Съдържа текст, написан на 130 страници с 28 фигури и 2 таблици, а цитираната литература съдържа 181 заглавия.

Материалите по защитата са налични в канцеларията на СУ „Св. Климент Охридски“, Физически факултет, София 1164, бул. „Джеймс Баучър“ № 5.

# Съдържание

	стр.
<b>Обща характеристика на дисертационния труд .....</b>	<b>1</b>
<b>Глава I. Обзор на литературата .....</b>	<b>3</b>
<b>Глава II. Диагностика на мъглите в София за периода 1992 – 2012 година .....</b>	<b>3</b>
II.1. Увод .....	3
II.2. Данните и тяхната предварителна обработка .....	3
II.3. Времеви характеристики на мъглите .....	3
II.4. Класификация на мъглите .....	5
II.5. Термодинамична диагностика на мъглите .....	6
II.6. Заключение .....	8
<b>Глава III. Мъглата в София 03-10/01/2014: анализ чрез псевдопотенциалната температура .....</b>	<b>8</b>
III.1. Увод .....	8
III.2. Данните и тяхната предварителна обработка .....	9
III.2.1. Данните .....	9
III.2.2. Предварителна обработка .....	9
III.3. Анализ на приземните и аерологичните данни .....	9
III.3.1. Предварителен анализ на приземните данни .....	9
III.3.2. Статистически анализ на приземните данни .....	10
III.3.3. Анализ на аерологичните данни .....	12
III.4. Синоптичен анализ .....	14
III.4.1. Подготовка на епизода .....	14
III.4.2. Фазата 03 06 – 05 09/01 GMT .....	14
III.4.3. Прекъсването 05 12 – 07 00/01 GMT .....	15
III.4.4. Фазата 07 03 – 10 12/01 GMT .....	16
III.5. Дискусия и заключение .....	17
<b>Глава IV. Мъглите в София и индексът на устойчивост Черни връх – София .....</b>	<b>18</b>
IV.1. Увод .....	18
IV.2. Данните и тяхната предварителна обработка .....	18
IV.3. Предварителен анализ .....	18
IV.4. Тестови процедури .....	19
IV.5. Един типичен пример .....	20
IV.6. Заключение .....	22
<b>Глава V. Изследване динамиката на мъгла с ГНСС тропосферни продукти .....</b>	<b>22</b>
V.1. Увод .....	22
V.2. Методология .....	23
V.2.1. ГНСС тропосферни продукти .....	23

V.2.2. Приземни наблюдения .....	23
V.3. Резултати .....	23
V.3.1. Синоптична обстановка I: 21-23 февруари 2012 г. ....	24
V.3.2. Синоптична обстановка II: 10-13 ноември 2012 г. ....	27
V.3.3. Синоптична обстановка III: 25-30 ноември 2012 г. ....	29
V.4. Дискусия и заключение .....	32
<b>Заключение .....</b>	<b>32</b>
<b>Основни приноси на дисертацията .....</b>	<b>34</b>
<b>Публикации на автора, свързани с дисертацията .....</b>	<b>35</b>
Литература .....	35

# Обща характеристика на дисертационния труд

**Актуалност и мотивировка на темата.** Значителното развитие на числените модели през последните десетилетия засега не води до съществен напредък в прогнозирането на мъглите. Причините за това са от една страна, недостатъчно ефективно параметризиране на специфичните процеси в граничния слой, водещи до формирането, развитието и разсейването на мъглата и от друга страна, трудностите в изследването на мъглата в мащаби по-големи от нейните собствени, доколкото тя е резултат от съвместното действие на редица общи и локални фактори. В тази светлина, възстановявайки прекъснатите повече от тридесет години метеорологични изследвания върху мъглите в София, темата на дисертационната работа е мотивирана актуално.

**Цел и структура на дисертационния труд.** Настоящата дисертационна работа възстановява прекъснатите повече от тридесет години метеорологични изследвания върху мъглите в София. Нейните цели са както следва: (i) диагностика на мъглите в София през последните двадесет години, (ii) анализ на условията за особено продължителни мъгли в София, (iii) използване на синоптичните наблюдения от станция Черни връх за прецизиране на прогнозите за мъгла в София, (iv) прилагане на метода ГНСС метеорология за изследване на вътрешната динамика на мъглите и (v) актуализиран преглед на метеорологичните изследвания върху мъглите.

Дисертационната работа включва увод, пет глави, заключение, едно приложение, публикации, свързани с дисертацията и списък на цитираната литература. Структурирането на Глава II, Глава III и Глава IV е еднотипно: увод, описание на данните и предварителна обработка, анализ по същество и резултати, дискусия и заключение. Глава II провежда статистическа диагностика на мъглите в метеорологична станция София, Младост за периода 1992-2012. Глава III анализира мъглата в София от 03-10/01/2014 чрез псевдопотенциалната температура. Глава IV изучава мъглата в София чрез предложението от нас индекс на устойчивост Черни връх-София (CSSI). Глава V изследва динамиката на мъгла чрез ГНСС тропосферни продукти и е структурирана по-различно, а именно: увод, методология, описание на данните, анализиране на три избрани синоптични обстановки, дискусия и заключение.

**Метод на изследванията.** В дисертацията се използват редица статистически техники и методи на синоптичната метеорология. Използваните статистическите техники са от повече или по-малко стандартни дескриптивни статистики и тестване на хипотези до модерни методи за анализ и моделиране на нестационарни времеви редици. Синоптичните методи включват детайлни приземни и височинни анализи на обстановките и тяхната еволюция, в по-големи или регионални мащаби и срокове. Двата типа методи се използват съвместно за верифициране на по-общите резултати и изводи.

**Обща характеристика на научните приноси.** Диагностицират се мъглите в София, като се анализират междугодишните изменения, сезонният и денонощният им ход, както и тяхната продължителност. Разкриват се условията и синоптичната обстановка, в тяхната динамика, за възникването и поддържането на трайна мъгла в София чрез използването на обобщена термодинамична характеристика на въздушната маса, а именно псевдопотенциалната температура. Установява се индекс за устойчивост на въздушната маса в слоя Черни връх-София, който да се използва за разграничаване на мъглите от случаите без мъгла. За първи път се прилага метода ГНСС метеорология в изследване динамиката на мъгла.

**Практическо значение.** Диагностицирането на мъглите в София за периода от последните двадесет години е важно в контекста на евентуалните глобалните климатични промени. Анализът на условията за особено продължителни мъгли в София е от значение за транспортния трафик и общественото здраве. Привличането на допълнителна синоптична информация с цел прецизиране и подобряване на оперативната прогноза на мъглите в София е от несъмнен интерес. В не по-малка степен това се отнася и за новата информация, предоставяна от

съвременната ГНСС метеорологията. Един изчерпателен обзор на класическите и съвременните изследвания върху мъглите е полезен за обучение и повишаване на квалификацията на метеорологичните кадри.

# ГЛАВА I. Обзор на литературата

В тази глава е направен преглед на изследванията, свързани с мъглата, започващи още в края на XIX век от Scott (1894, 1896) и достигайки до наши дни. Проследени са в историческа последователност опитите на учените да опишат и подредят типовете мъгли. Описана е първата общоприета класификация (Willet, 1928), която изиграва важна роля в развитието на проблемите, свързани с генезиса на мъглите, получава световно разпространение и влиза във всички учебници. Особено внимание е обърнато на проучванията на мъглите в края на XX и началото на XXI век. Направен е и литературен обзор на работите, посветени на явлението в България. Установява се около 35 годишен период на затихване на интереса към мъглата в нашата страна, започващ към края на 70-те години на миналия век, който продължава до към 2005-2010 година.

## ГЛАВА II. Диагностика на мъглите в София за периода 1992 – 2012 година

### II.1. УВОД

В настоящата глава се анализират мъглите в София през периода 1992-2012 година. Анализът се базира на данните от приземните метеорологични наблюдения в основните и междинните срокове от синоптична станция София, Младост. При използвания статистически подход се анализират междугодишните изменения, сезонният и денонощен ход на мъглите и тяхната продължителност. Регистрациите на мъгла в София се класифицират по четири фактора, свързани с хоризонталната и вертикалната видимост, текущото състояние на мъглата и скоростта на вятъра. Разглеждат се и разпределенията на температурата на въздуха, влажността и атмосферното налягане при наличието на мъгла.

Обикновено, в климатичните изследвания на мъглите, се използва броят на дните с регистрирана мъгла (Muraca et al., 2001; Peace et al., 1969), и на тази основа се оценяват евентуалните сезонни различия (Tardif, 2007, Hardwick, 1973). Като основна статистическа единица в нашето изследване се използва не денонощието, а отделният три часов период на дискретизация на синоптичните наблюдения.

### II.2. ДАННИТЕ И ТЯХНАТА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА

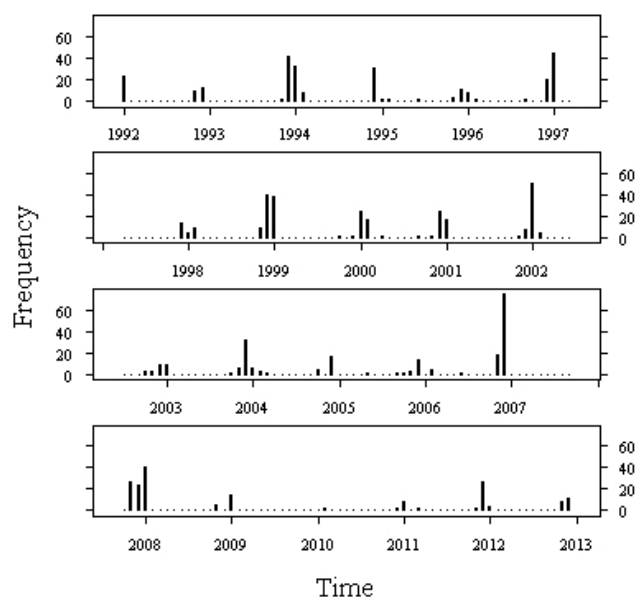
Изходната информация за анализа е от синоптична станция София, Младост (42°41'N, 23°19'E; 595 m) за периода 1992-01-01 – 2012-12-31. От всяко тричасово измерване изваждаме следните 12 променливи: година, месец, ден и час, температура, точка на оросяване, относителна влажност, атмосферно налягане, скорост и посока на вятъра и кодираната група за явленията, характеризиращи времето в момента на наблюденията.

Идентифицирането на случаите с мъгла се провежда по кодираната група за явленията, характеризиращи времето в момента на наблюденията и хоризонталната видимост. Определяме синоптичните срокове с видимост до 1000 m, включително. Допълнителната редукция се прави по двуцифрените кодове, съответстващи на случаите на мъгла.

### II.3. ВРЕМЕВИ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА МЪГЛИТЕ

През периода 01/1992-12/2012 в станция София отчитаме 916 регистрации на мъгла. От Фигура II.1, представяща времеви ред от месечните честоти на тези регистрации, се вижда че броят на мъглите се променя значително с годините: от 97 регистрирани случаи през 2006 той намалява до едва 4 през 2010. Докато през първите две трети от разглеждания период се забелязва известна периодичност, а именно, максимумите на броя мъгли са средно през 2 години, то след 01/2008 имаме едно, като цяло общо, с изключение на 12/2011, намаляване на случаите с мъгла. В тази връзка ще отбележим, че преобладаващата част от изследванията върху многогодишните честоти на появата на мъгла констатират тенденцията за намаляване на честотата (Hanesiak and Wang, 2005; Forthun et al., 2006; LaDochy, 2005). Наблюдават се, разбира се, и райони на повишаваща се честота (Witiw and Baars, 2003) и това обикновено се свързва с увеличено замърсяване на въздуха. У нас, отбелязаното намаляване на броя на мъглите през последните

години, би могло да се свърже с общото намаляване на интензивността на източниците на кондензационни ядра в София. Ние обаче споделяме виждането, че междугодишните вариации в честотата на мъглите в София се определят, преди всичко от преобладаващия характер на синоптичните процеси през съответната година. Така например, годините 2006 и 2010, би трябвало, да са при приблизително еднаква, евентуално по-ниска, интензивност на източниците на кондензационни ядра. Въпреки това, 2006 е годината с най-много, а 2010 – с най-малко случаи на регистрирана мъгла за последните две десетилетия. Това обстоятелство обаче, получава своето обяснение, ако се отчете разликата в синоптичните условия. Зимата на 2006 е една от най-топлите, динамиката на синоптичните процеси е слаба и това, естествено, благоприятства образуването на мъгла. През зимата 2010-2011 над България преминават около 20, добре изразени, центрове на ниско атмосферно налягане, динамиката на атмосферните процеси е голяма и поради това формирането и задържането на мъгла е силно ограничено.

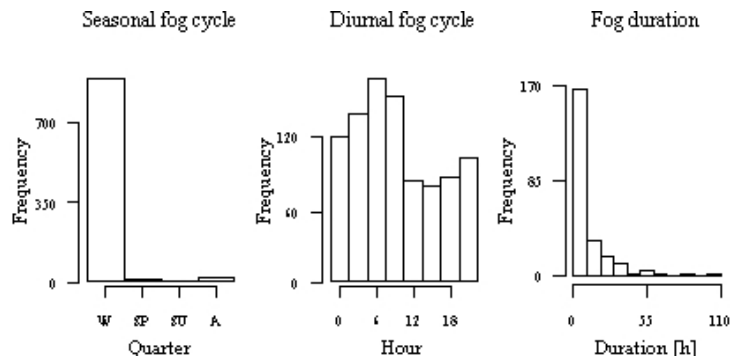


**Фиг. II.1.** Времеви ред от месечните честоти на три часовите регистрации на мъгла в синоптичната станция София, Младост през периода 1992-01 - 2012-12

За да демонстрираме сезонния характер на мъглите, използваме не месечна, а сезонна статистика. За целта разделяме годината на 4 сезона. Условната зима (W) включва месеците ноември – февруари, пролетта (SP): март – май, лятото (SU): юни – август и есента (A): септември и октомври. Получените резултати са илюстрирани на лявата диаграма на Фиг. II.2. По хоризонталната ос са сезоните, а по вертикалата е броят на три часовите регистрации на мъгла през съответния сезон. Почти всички случаи с мъгла попадат в условната зима. Това са 890 или 97.2 % от всички регистрации. Следва условната есен с 1.7 %. През пролетта и лятото мъгли практически няма. Случаите са само 6 през пролетта и 4 през лятото за целия 21 годишен период. Този сезонен ход на мъглите е очакван с оглед на климата в София.

Централната диаграма на Фиг. II.2 представя денонощния ход на случаите на мъгла в София през периода ноември-февруари. По хоризонталната ос са часовете на синоптичните срокове по Гринуич, а по вертикалната ос – броят на регистрациите на мъгла в съответния срок. През условната зима три часовите регистрации на мъгла са с ясно изразен денонощен ход. Максимумът от 161 или 18 % от регистрациите е в 06 GMT, а минимумът от 79 или 9 % в 15 GMT, след което случаите на мъгла започват монотонно да се увеличават. Трябва да се отбележи, че регистрациите в периода 12-15 GMT са главно от три часови интервали от продължителните, задържани се няколко дни мъгли, съпътствани с трудно разрушими зимни





**Фиг. П.2.** Сезонен ход, зимен денонощен ход и хистограма на продължителността на мъглите в синоптичната станция София, Младост

инверсии.

В настоящата работа продължителността на една мъгла се дефинира като максималния брой последователни във времето синоптични срокове с регистрирана мъгла. В часове, това е броят на регистрациите по 3. Дясната хистограма на Фиг. П.2 дава разпределението на продължителността на мъглите. Общо 916-те регистрации формират 238 мъгли с времетраене според приетата дефиниция от 3 h до 105 h. В интервала до 10 h епизодите са най-много – 167, рязко намаляват до 32 в интервала 10-20 h, след това до 17 и 11 в интервалите съответно 20-30 h и 30-40 h, за да се стабилизират по-нататък до единични бройки. Най-продължителната мъгла обхваща периода 06 06-10 12/12/2006 GMT или общо 105 h. Следва мъглата от 11 00/01/2002 GMT до 14 15/01/2002 GMT с продължителност 90 h.

#### П.4. КЛАСИФИКАЦИЯ НА МЪГЛИТЕ

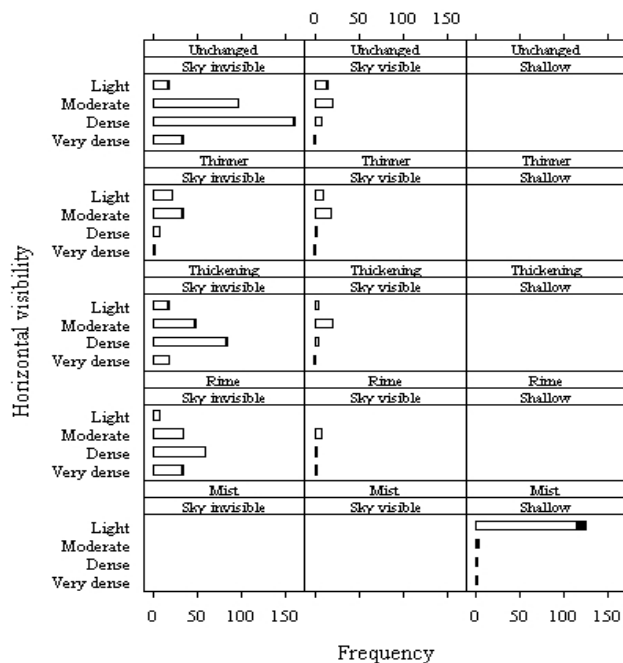
Класифицирането на случаите на мъгла е направено по 4 фактора. Първият фактор, Хоризонтална видимост, е с 4 категории: видимост до 50 m - много гъста мъгла (Very dense), 50-200 m – гъста (Dense), 200-500 m – умерена (Moderate) и видимост в интервала 500-1000 m – слаба мъгла (Light). Вторият фактор, Вертикална видимост, е с 3 нива: плитка мъгла (Shallow) – кодовете 10, 11 и 12 от Раздел П.2, съответстващи на мъгла в слоя до височина не повече от 2 m, небето се вижда (Sky visible) – кодовете 42, 44, 46 и 48 и небето не се вижда (Sky invisible) – кодове 43, 45, 47 и 49. Третият фактор Фаза на мъглата е от 5 категории. Първите 3 определят стадия на развитието на мъглата. Те са съответно отслабваща мъгла (Thinner) – кодове 42 и 43, мъгла без промяна (Unchanged) – кодове 44 и 45 и мъглата започва или се усилва (Thickening) – кодове 46 и 47. Другите две нива са мъгла с отлагане на скреж (Rime) – кодове 48 и 49 и една обобщена категория Mist от кодовете 10, 11 и 12. Трябва да се отбележи, че случаите с код 05 и 41 не се срещат в данните, а с код 40 имаме само 2 наблюдения и те, като очевидни изключения, не са включени в статистиката. Последната факторна променлива Вятър е свързана със скоростта на вятъра. При мъглите в София регистрираният вятър е до  $3 \text{ m s}^{-1}$ . Категоризираме скоростта на вятъра в 2 нива – безветрие и слаб вятър при скорости  $1-3 \text{ m s}^{-1}$ .

Фигура П.3 представя класификацията на три часовите синоптични наблюдения на мъгла по описаните по-горе 4 факторни променливи. Редовете на матрицата от клетките са 5-те категории на променливата Фаза на мъглата, а колоните са трите нива на фактора Вертикална видимост. По хоризонталната ос на всяка от клетките е честотата на случаите с мъгла, а по вертикалата са четирите категории на факторната променлива Хоризонтална видимост. Дължината на хоризонталните стълбове на натрупващите се диаграми дава съответната честота, като белият цвят означава безветрие, а черният - слаб вятър.

С най-голям абсолютен брой – 329, са регистрациите на гъста мъгла. Те, на практика почти всичките, попадат в клетките от първия стълб на Фиг. П.3 и както трябваше да се очаква, небето не се вижда. Преобладаващата част от гъстите мъгли са без видима промяна, а почти половината от всички са започнали или се усилват. Докато гъстите мъгли с отлагане на скреж са относително малко, то броят на тези в стадии на разсейване е незначителен.

На второ място с 278 регистрации са случаите на умерена мъгла. При по-голямата част от тях небето не се вижда, но за разлика от гъстите мъгли, сега в почти половината от случаите, то

се вижда. За разлика от гъстите, разпределението на умерените мъгли по категориите на фактора Фаза на мъглата е сравнително по-равномерно. Отново най-голям е броят на регистрациите без промяна, следват случаите на започнала или усилваща се мъгла и доста по-малко, но почти поравно, са регистрациите на разсейване и отлагане на скреж.



**Фиг. П.3.** Класификация на честотите на три часови регистрации на мъгла в синоптична станция София, Младост по факторите Горизонтална видимост, Вертикална видимост, Фаза на мъглата и Вятър

Абсолютният брой на случаите на слаба мъгла е 216. От Фиг. П.3 се вижда, че почти половината от регистрациите попадат в категорията плитка мъгла, като в случая основен е приносът на димките с хоризонтална видимост 1000 m. В преобладаващата част от втората половина на слабите мъгли небето не се вижда, а броят на случаите, в които то се вижда е незначителен. Що се отнася до фактора Фаза на мъглата, димките попадат в обобщената категория Mist. Другата половина от слабите мъгли, основно и почти поравно, се разпределят по категориите без промяна, започнала или усилваща се или разсейваща се мъгла. Относителният брой на случаите с отлагане на скреж е незначителен.

С най-малък абсолютен брой – 91 са регистрациите на много гъста мъгла. Естествено, почти във всичките тези случаи небето не се вижда. Най-много и с почти равен брой са много гъстите мъгли без промяна или с отлагане на скреж. Доста по-малко са наскоро възникналите или усилващите се, а гъстите мъгли във фазата на разсейване са пренебрежимо малко.

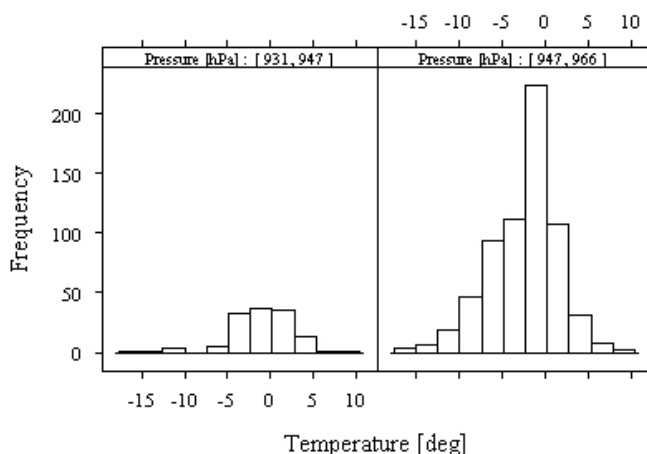
На Фиг. П.3 двете категории на фактора Вятър са маркирани с бяло (безветрие) и черно (слаб вятър) запълване на стълбовете на натрупващите се диаграми. Както се вижда, броят на регистрациите на мъгла със слаб вятър е незначителен. Случаите на безветрие са 891 и само 23 или около 2 % представляват тези със слаб вятър. Разпределението по фактора Горизонтална видимост е както следва: 7 %, главно за сметка на димките, при слаба мъгла; 2 % при много гъста и по около 1 % при умерена и гъста мъгла. Може да се каже, че като цяло мъглите в София са при безветрие.

## П.5. ТЕРМОДИНАМИЧНА ДИАГНОСТИКА НА МЪГЛИТЕ

При диагностициране на разпределенията на температурата, относителната влажност и налягането в сроковете с регистрация на мъгла в София резултатите са следните: интервалът, в

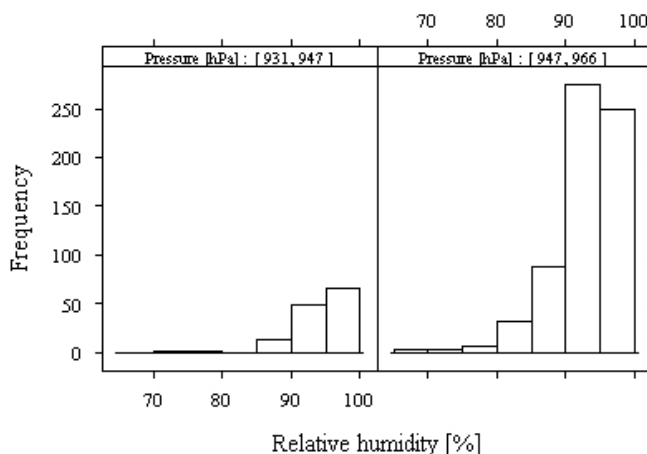
който се променя измерената температура през зимния период е от  $-16.6^{\circ}\text{C}$  до  $9.4^{\circ}\text{C}$ , на относителната влажност – от 65 % до 100 % и на налягането – от 931 hPa до 966 hPa.

Фигура II.4 представя хистограмите на разпределението на мъглите в зависимост от тяхната температура. По хоризонталната ос на клетките е температурата в  $^{\circ}\text{C}$ , по вертикалната ос – честотата. Провеждаме диагностиката, разделяйки мъглите в два интервала на налягането, разделени от средната стойност 947 hPa на този метеорологичен елемент за станция София.



**Фиг. II.4.** Разпределение на температурата в зимните мъгли в синоптичната станция София, Младост за двата интервала на налягането 931 – 947 hPa (лява диаграма) и 947 – 966 hPa (дясна диаграма)

Броят на регистрациите на мъгла са асиметрично разпределени между 2-та интервала на налягането. При ниското налягане са само 17 % от случаите и очевидно зимните мъгли в София са при по-високо атмосферно налягане. От фигурата се вижда, че независимо от налягането основният брой на регистрациите на зимните мъгли е в интервала от  $-5^{\circ}\text{C}$  до  $5^{\circ}\text{C}$ , като максимумът от над 200 случая е в интервала  $-2.5^{\circ}\text{C}$ - $0.0^{\circ}\text{C}$ .



**Фиг. II.5.** Разпределение на относителната влажност на въздуха в зимните мъгли в синоптична станция София, Младост за двата интервала на налягането 931 – 947 hPa (лява диаграма) и 947 – 966 hPa (дясна диаграма)

Фигура II.5. представя хистограмите на разпределението на мъглите по тяхната относителна влажност. По хоризонталната ос е относителната влажност, дадена в проценти. Преобладаващият брой на наблюдения с мъгла е при висока относителна влажност – над 90 %. Прави впечатление обаче, че докато при по-ниското налягане максимумът на честотата е в интервала 95-100 %, то при по-високото налягане максимумът е в интервала 90-95 %.

## **II.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Резултатите от проведен анализ показват, че докато през първите две трети от периода 01/1992-12/2012 месечните честоти на регистрациите на мъгла са с приблизителна цикличност около две години, то след 01/2008 тенденцията е на намаляване на случаите с мъгла. В тази връзка ние аргументираме виждането, че междугодишните вариации на честотата на мъглите в София се определят преди всичко от преобладаващия характер на синоптичните процеси през съответната година. Мъглите в София са с ясно изразен сезонен ход. Над 97 % от всички регистрирани случаи на мъгла попадат в периода ноември-февруари. Мъглите през този период са също така и с добре изразен денонощен ход. Максимумът от 18 % регистрации е в 06 GMT, а минимумът от 9 % - в 15 GMT. Що се отнася до продължителността на мъглите, то тя варира от 3 h до 105 h, като епизодите са най-много в интервала до 10 h, след което техният брой рязко намалява.

При крос-табулацията на регистрациите на мъгла по четирите факторни променливи се очертават следните особености: с най-голям абсолютен брой са случаите на гъста мъгла, при която небето не се вижда и мъглата е без промяна или в по-малка степен започнала или усилваща се; следва умерената мъгла, но при нея случаите, в които небето се вижда, се увеличават до почти половината; разпределението по категориите на фактора Фаза на мъглата е сравнително по-равномерно в сравнение с гъстите мъгли. Почти половината от регистрациите на слаба мъгла се дължат на димките с видимост от 1000 m. В останалата половина, случаите в които небето се вижда или имаме отлагане на скреж е незначителен и те почти поравно се разпределят по категориите без промяна, започнала или усилваща се или разсейваща се мъгла. Най-малко са регистрациите на много гъста мъгла, при която естествено почти винаги небето не се вижда. Най-много, с почти равен брой, са много гъстите мъгли без промяна или с отлагане на скреж. Що се отнася до вятъра, то броят на регистрациите на мъгла и слаб вятър е незначителен.

Анализът на разпределенията на температурата, относителната влажност и налягането в момента на регистрацията на мъглите в София през зимния период ноември – февруари показва, че преобладаващият брой мъгли са при сравнително по-високо налягане, температури от  $-5.0^{\circ}\text{C}$  до  $5.0^{\circ}\text{C}$ , относителната влажност 95-100 % при по-ниското и 90-95 % при по-високото атмосферно налягане. Типичният профил на една регистрация на мъгла в София е: гъста или умерена мъгла през декември – януари, при която небето не се вижда. Температурата на въздуха е от  $-5.0^{\circ}\text{C}$  до  $5.0^{\circ}\text{C}$ , относителната влажност е 90-95 % и атмосферно налягане е в интервала 945-965 hPa. Типичната мъгла не се променя или е в стадия на започнала или усилваща се мъгла.

## **ГЛАВА III. Мъглата в София 03-10/01/2014: анализ чрез псевдопотенциалната температура**

### **III.1. УВОД**

В настоящата глава се изследва продължителната мъгла в София през периода 03-10/01/2014. Целта е, да се разкрият условията и синоптичната обстановка, в тяхната динамика, за възникването и поддържането на тази трайна мъгла. Нашият анализ се базира на данните от приземните метеорологични наблюдения в основните и междинните синоптични срокове и аерологичните сондажи в станция София, Младост. Използват се също и редица приземни и височинни карти за синоптичната обстановка над Европа и Балканския полуостров. Методите на изследване са статистическо моделиране на времеви редици и синоптичен анализ. Използваме псевдопотенциалната температура (Белинский, 1948), известна в литературата още като equivalent potential temperature (Holton, 1973), като критерий за статична устойчивост на атмосферата и при влажен въздух с наситена водна пара (Белинский, 1948; Holton, 1973). Освен това, тази интегрална характеристика ни помага от една страна при приземния анализ, а от друга я използваме като индикатор за евентуална смяна на въздушните маси.

## **III.2. ДАНИТЕ И ТЯХНАТА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА**

Обработката на данните включва категоризация на интензивността на мъглата и изчисляване на псевдопотенциалната температура в основните и междинните синоптични срокове за приземните наблюдения и височините до 2500 m за аерологичните сондажи.

### **III.2.1. Данните**

От приземните данни за станция София, Младост използваме времевите редици за температурата, относителната влажност, налягането, редуцираното за морско ниво налягане, скоростта на вятъра, хоризонталната видимост и кодираната група за явленията, характеризиращи времето в момента на наблюдението. От аерологичните сондажи извличаме времевите редици за височината на измерването, налягането, температурата и относителната влажност. Приземните карти от синоптичния архив на НИМХ – БАН са за баричното поле на приведеното към морско ниво налягане над Европа с нанесените фронтални системи, а височинните – за абсолютната барична топография на нива 850 hPa и 500 hPa и картите на относителна барична топография 500-1000 hPa.

### **III.2.2. Предварителна обработка**

Съгласно международния код за приземните синоптични наблюдения класифицираме по хоризонталната видимост интензивността на мъглата в четири категории. Те са както следва: хоризонтална видимост до 50 m – много гъста мъгла (Very dense fog), 50-200 m – гъста мъгла (Dense fog), 200-500 m – умерена мъгла (Moderate fog) и видимост в интервала 500-1000 m – слаба мъгла (Light fog). Фазата на развитие, вертикалната видимост и някои особености на мъглата се определят от кодираната група за явленията, характеризиращи времето в момента на наблюдението.

Начинът, по който изчисляваме псевдопотенциалната температура е даден в Приложение А на дисертационния труд.

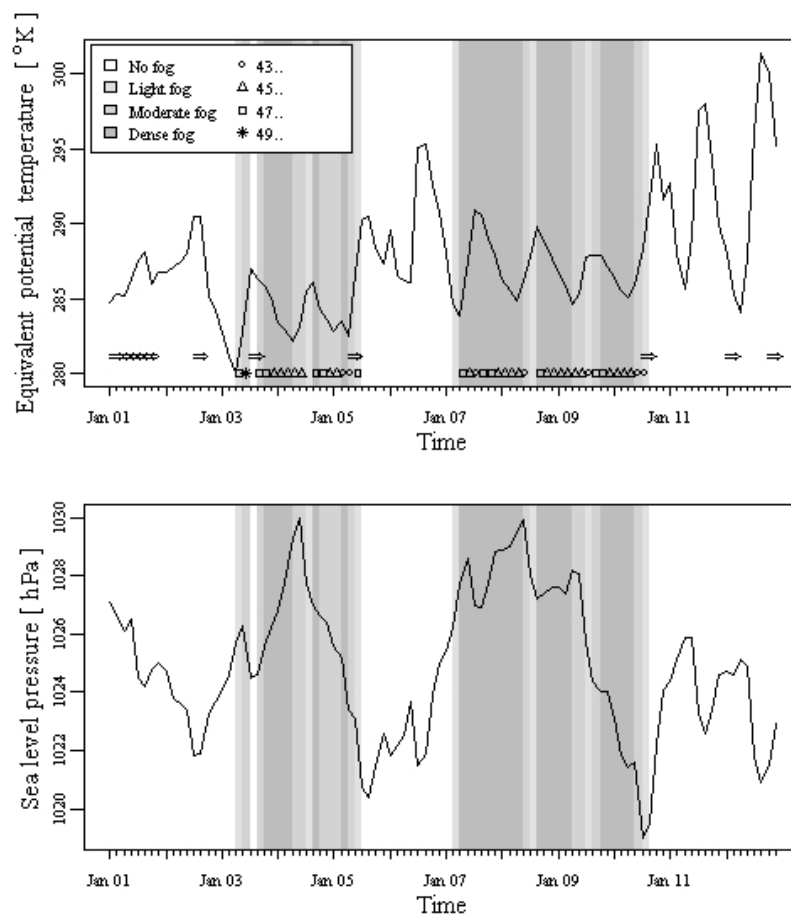
## **III.3. АНАЛИЗ НА ПРИЗЕМНИТЕ И АЕРОЛОГИЧНИТЕ ДАНИИ**

### **III.3.1. Предварителен анализ на приземните данни**

Фигура III.1 представя времевите редици за псевдопотенциалната температура и редуцираното към морско ниво налягане за периода 01 00-12 21/01/2014 GMT. На горния панел е температурата, а на долния - налягането. Интензивността на мъглата е кодирана по скалата на сивия цвят според легендата към фигурата. Останалите символи в легендата са за кодираната група за явленията, характеризиращи времето в момента на наблюдението. През разглеждания период се регистрират следните, свързани с мъглата кодове: 43.. – Отслабваща мъгла, небето не се вижда, 45.. – Мъгла без промяна, небето не се вижда, 47.. – Мъглата започва или се усилва, небето не се вижда и 49.. – Мъгла с отлагане на скреж, небето не се вижда. Най-светли сиви линии, без символ в основата са димките с хоризонтална видимост 1000 m. Хоризонталните стрелки индикират наличието на вятър.

Прегледът на Фиг. III.1 показва, че анализираната мъгла се състои от два епизода. Първият е от 03 06/01 GMT до 05 09/01 GMT с продължителност 54 часа, вторият – от 07 03/01 GMT до 10 12/01 GMT с продължителност 84 часа. Двата епизода се разделят от 39 часов период с подобрена видимост – от 05 12/01 GMT до 07 00/01 GMT. Това прекъсване се характеризира с димки и хоризонтална видимост от 2000 до 8000 m, с изключение на 06 15/01 GMT и 06 18/01 GMT, когато видимостта достига 10 000 m. Първият епизод се характеризира със сравнително по-ниско средно ниво на псевдопотенциалната температура и добре изразен локален максимум на налягането. Вторият епизод е с по-високо средно ниво на псевдопотенциалната температура и нов, по-продължителен локален максимум на налягането. Началото на периода на подобрението на видимостта съвпада с рязък скок в средното ниво на псевдопотенциалната температура и през този период налягането е в локален минимум. С подобен скок на нивото на псевдопотенциалната температура завършва и вторият епизод. Началото и краят на разглежданата обстановка се характеризират съответно с ниско и високо средно ниво на температурата и сравнително по-ниски налягания. През целия период се наблюдава ясно изразен денонощен ход на псевдопотенциалната температура като неговата амплитуда също търпи резки

промени. През по-голямата част на обстановката и особено през двата епизода на мъгла имаме фактическо безветрие.



**Фиг. III.1.** Времени редици за псевдопотенциалната температура, налягането на морско ниво, вятъра и фазата за развитие на мъглата в синоптична станция София, Младост за периода 01-12/01/2014

### III.3.2. Статистически анализ на приземните данни

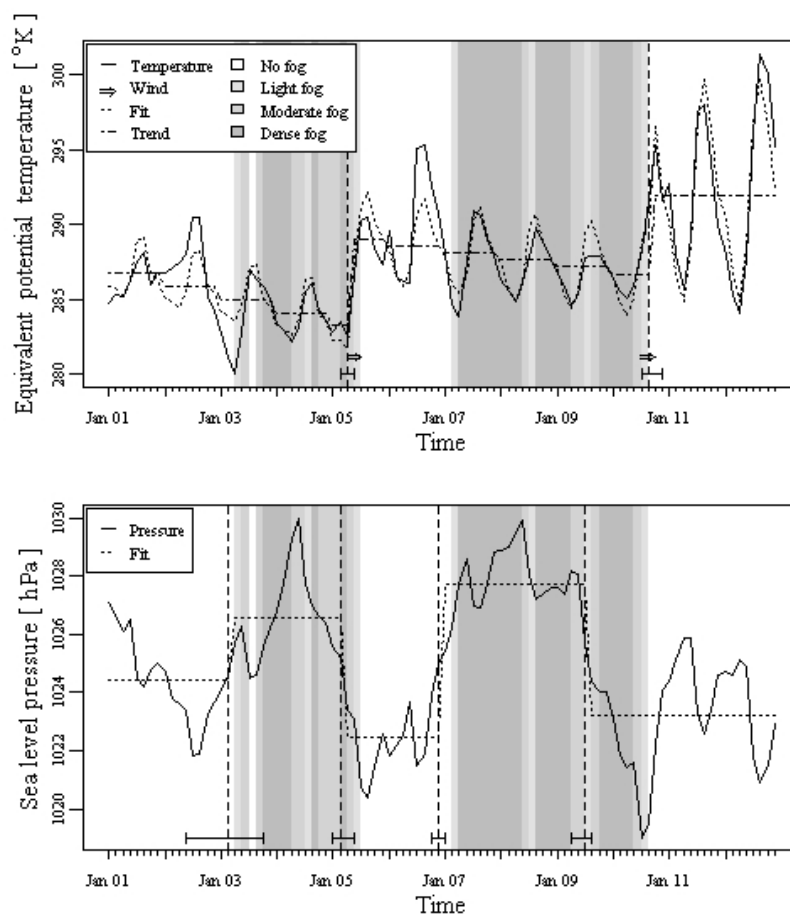
За подходящо статистическо третиране на времевите редици на псевдопотенциалната температура и налягането прилагаме техниката на т. нар. линейна регресия със структурни промени (Bai and Perron, 1998; 2003). Това е класически модел на линейна множествена регресия, но с евентуално няколко точки на структурна промяна при преминаването, през които коефициентите на регресията търпят скок, оставайки постоянни в интервалите между тях. Обикновено, точките на структурната промяна не са известни предварително. Техният брой и локализация става чрез минимализирането на сумата от квадратите от остатъците на последователно усложняващите се регресионни модели или чрез подходящи статистически критерии.

Построяването на линеен регресионен модел за налягането е сравнително лесно. Както се вижда от Фиг. III.1, в случая могат да се очакват само скокове в средната стойност на редицата, защото на фигурата не се забелязват по-систематични тенденции на повишаване или понижаване на налягането. Моделирането на редицата за псевдопотенциалната температура е по-сложна задача, тъй като в този случай имаме и денонощен ход на температурата.

Фигура III.2 представя времевите редици за псевдопотенциалната температура, редуцираното към морско ниво атмосферно налягане, техните линейни апроксимации и трендове в станция София, Младост за периода 01-12/01/2014. На горния панел е температурата, на долния – налягането, а интензивността на мъглата отново е кодирана по скалата на сивия цвят. Вертикалните прекъснати линии са в точките на структурна промяна, а хоризонталните отсечки

в техните основи дават доверителните интервали на нивото 0.95. От наблюденията за вятъра са маркирани само две.

Bayesian Information Criterion (Schwarz,1978) дава две точки на структурна промяна във времевата редица за псевдопотенциалната температура и четири в редицата за налягането. За температурата те са: 05 06/01 GMT (05 03-05 09/01 GMT) и 10 15/ 01 GMT (10 12-10 21/01 GMT), като в скобите са съответните доверителни интервали. За налягането точките са 03 03/01 GMT (02 09-03 18/01 GMT), 05 03/01 GMT (05 00-05 09/01 GMT), 06 21/01 GMT (06 18-07 00/01) GMT и 09 12/01 GMT (09 06-09 15/01 GMT).



**Фиг. III.2.** Времеви редици за псевдопотенциалната температура, налягането на морско ниво, техните линейни апроксимации и трендове в синоптичната станция София, Младост за периода 01-12/01/2014

Таблица III.1 обобщава оценките на параметрите на периодичната компонента в линейната регресия за псевдопотенциалната температура и техните скокове в точките на структурна промяна. Стълбовете *Left*, *Center* и *Right* съответстват на левия, централния и десния участък на апроксимацията на Фиг. III.2. Оценките са с точност до десета, а в скобите е стандартната грешка. Двата стълба *Break 1* и *Break 2* дават съответно скоковете на параметрите в двете точки на структурна промяна. Стъпаловидното линейно понижаване на псевдопотенциалната температура през първата част е  $-0.89$  (0.24) K/day, през втората:  $-0.46$  (0.17) K/day, а през третата част средното ниво не се променя. Първият скок в стъпаловидния тренд е 5.8 K, вторият: 5.2 K.

Линейната апроксимация на редицата на налягането започва с хоризонталния участък на ниво 1024.4 (0.3) hPa. Спрямо това ниво скокът в първата точка е 2.1 (0.5) hPa, във втората:  $-2.0$  (0.5) hPa, третата: 3.3 (0.5) hPa и четвъртата:  $-1.2$  (0.5) hPa.

Построеният стохастичен модел, отчитащ както плавните изменения на средното ниво на псевдопотенциалната температура, така и нейния денонощен ход показва, че времевата редица на псевдопотенциалната температура претърпява две структурни промени. Те, и двете

практически съвпадат с края на първия и втория епизод на мъглата. Това даде основание този формален резултат да се интерпретира като смяна на въздушните маси. Последващият в Раздел III.4 детайлен синоптичен анализ напълно потвърждава тази интерпретация.

Линейната апроксимация на редицата на налягането започва с хоризонталния участък на ниво 1024.4 (0.3) hPa. Спрямо това ниво скокът в първата точка е 2.1 (0.5) hPa, във втората: -2.0 (0.5) hPa, третата: 3.3 (0.5) hPa и четвъртата: -1.2 (0.5) hPa.

**Таблица III.1.** Параметри на денонощната периодична компонента на времевата редица за псевдопотенциалната температура и техните скокове в точките на структурна промяна

<b>Hour GMT</b>	<b>Equivalent potential temperature [K]</b>				
	<i>Left</i>	<i>Break 1</i>	<i>Center</i>	<i>Break 2</i>	<i>Right</i>
00 00	286.8 (1.1)	4.36	291.1 (1.6)	-0.74	290.4 (1.2)
03 00	286.7 (1.1)	2.67	289.3 (1.6)	-2.69	286.6 (1.2)
06 00	286.1 (1.1)	2.48	288.6 (1.6)	-3.75	284.8 (1.2)
09 00	287.3 (1.1)	2.47	289.7 (1.5)	-1.31	288.4 (1.2)
12 00	289.9 (1.1)	3.63	293.5 (1.5)	3.33	296.8 (1.2)
15 00	290.0 (1.1)	4.46	294.4 (1.5)	5.27	299.7 (1.2)
18 00	287.5 (1.1)	5.07	292.6 (1.4)	3.89	296.5 (1.0)
21 00	287.1 (1.1)	4.23	291.4 (1.4)	0.83	292.2 (1.0)

Построеният стохастичен модел, отчитащ както плавните изменения на средното ниво на псевдопотенциалната температура, така и нейния денонощен ход показва, че времевата редица на псевдопотенциалната температура претърпява две структурни промени. Те, и двете практически съвпадат с края на първия и втория епизод на мъглата. Това даде основание този формален резултат да се интерпретира като смяна на въздушните маси. Последващият в Раздел III.4 детайлен синоптичен анализ напълно потвърждава тази интерпретация.

Първата структурна промяна в редицата на налягането съвпада с началото на първия епизод от мъглата, а втората - с неговия край. Тъй като в същото време въздушната маса все още не се е сменила, а средното ниво на налягане скокообразно е нараснало, то това предполага една мъгла от чисто радиационен тип.

Третата точка на структурна промяна предхожда незначително началото на втория епизод на мъглата, а четвъртата е към неговия край. Средното ниво на налягането отново е претърпяло скокообразно нарастване. Въздушната маса обаче, вече е сменена с по-топла и по-влажна. Това предполага една мъгла от смесен, адвективно-радиационен тип.

### III.3.3. Анализ на аерологичните данни

Фигура III.3 представя времевата редица на вертикалния профил на псевдопотенциалната температура в 12 00 GMT в метеорологична станция София, Младост за периода 02-11/01/2014. По хоризонталните оси е псевдопотенциалната температура, а по вертикалната ос са височините до 2500 m. Интензивността на мъглата в момента на сондажа отново е кодирана по скалата на сивия цвят според легендата към Фиг. III.1, например.

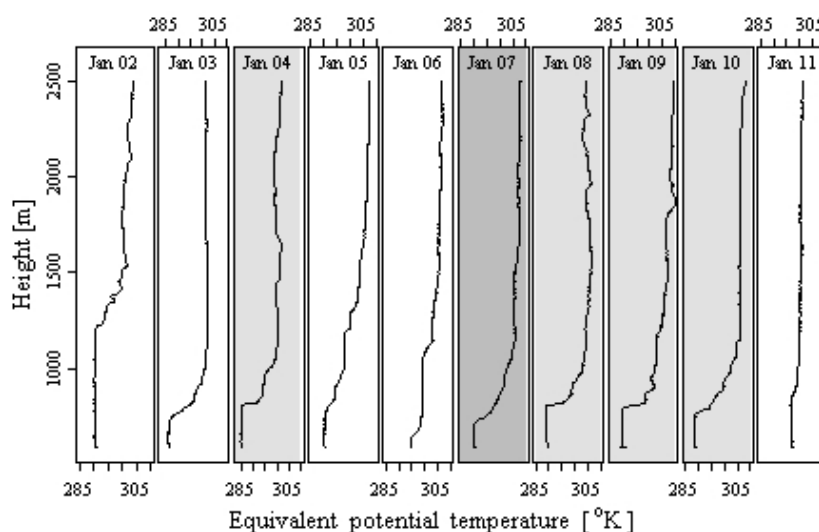
Зверев (1957) изтъква, че един от основните симптоми за прогнозирането по аерологични данни на мъгла е формирането във височина на слой с температурна инверсия, в който специфичната влажност също нараства с височината или поне остава постоянна. Във вертикалния профил на псевдопотенциалната температура това означава слой със силни положителни вертикални градиенти или казано с други думи, формирането и наличието на силно устойчиво стратифициран задържащ слой. От Фиг. III.3 се вижда, че на 02 12/01 GMT до височина около 1235 m стратификацията е почти безразлична. Следва слой с вертикална мощност около 200 m и сравнително големи вертикални градиенти. По-нагоре стратификацията остава устойчива, но е значително по-слаба. Като се има предвид общата обстановка в тази ситуация, би трябвало да се очаква формирането на мъгла. Действително, вследствие на нощното



изстиване на приземния въздух, сутринта на 03 06/01 GMT е и първата регистрация на мъгла. На 03 12/01 GMT в ранния следобед имаме временно подобрене на видимостта. Вертикалният профил на псевдопотенциалната температура обаче съответства на условията за мъгла. При земята до около 750 m имаме безразлична стратификация, а в слоя над нея до височини около 820 m псевдопотенциалната температура нараства с почти 10 K.

Ситуацията на 04 12/01 е типична. До височина около 820 m стратификацията е безразлична, следва рязък скок на псевдопотенциалната температура от около 10 K, съответстващ на тънък, силно устойчиво стратифициран слой.

Вертикалните профили на 05 12/01 GMT и 06 12/01 GMT са след прекъсването на първата фаза на мъглата на 05 09/01 GMT. Както се вижда от Фиг. III.3 на 05 12/01 GMT покриващият силно устойчив слой е изчезнал или поне значително отслабен. На 06 12/01 GMT забелязваме формиране на слой с безразлична стратификация в интервала 650-1060 m и все още недобре изразена инверсия от около 5 K до височина 1140 m. С оглед на общите условия това би трябвало да означава възможност за образуване на мъгла.



**Фиг. III.3.** Времева редица от вертикалният профил на псевдопотенциалната температура, в 12 00 GMT в синоптична станция София, Младост за периода 02-11/01/2014

На 07 03/01 действително се регистрира мъгла. На 07 12/01 GMT тя е с интензивност от категорията Very dense fog. При земята до около 720 m имаме слой с безразлична стратификация, а в слоя над нея, до височина 770 m, псевдопотенциалната температура нараства с около 5 K. В периода 08 12-10 12/01 мъглата е в етап на стабилност. Височината на слоя с безразлична стратификация почти не се променя. От 810 m на 08 12/01 тя слабо намалява до 780 m на 10 12/01. И в трите сондажа имаме рязък скок на псевдопотенциалната температура в най-горния слой на мъглата, но той намалява от около 10 K на 08 12/01 до около 5 K на 10 12/01.

На 11 12/01 епизодът е завършил. Вертикалният профил на псевдопотенциалната температура е изгладен с почти незабележима остатъчна инверсия.

Проведеният с помощта на вертикалните профили на псевдопотенциалната температура анализ на аерологичните данни, демонстрира своята ефективност при изследването на разглежданата обстановка с мъгла. Използването на тази обобщена термо-хигрометрична характеристика позволява отчетливо да се локализира покриващият мъглата слой със силно устойчива стратификация. Доколкото този слой започва от най-горните слоеве на мъглата, това дава възможност за оценка и на вертикалната и мощност. По напълно определени признаци във вертикалният профил на псевдопотенциалната температура в предходния аерологичен сондаж, а именно наличието на добре изразен слой с безразлична стратификация при земята и формирането на по-тънък слой със силно устойчива стратификация над него, в случая успешно бе прогнозирано образуването на мъгла. В този смисъл вертикалният профил на

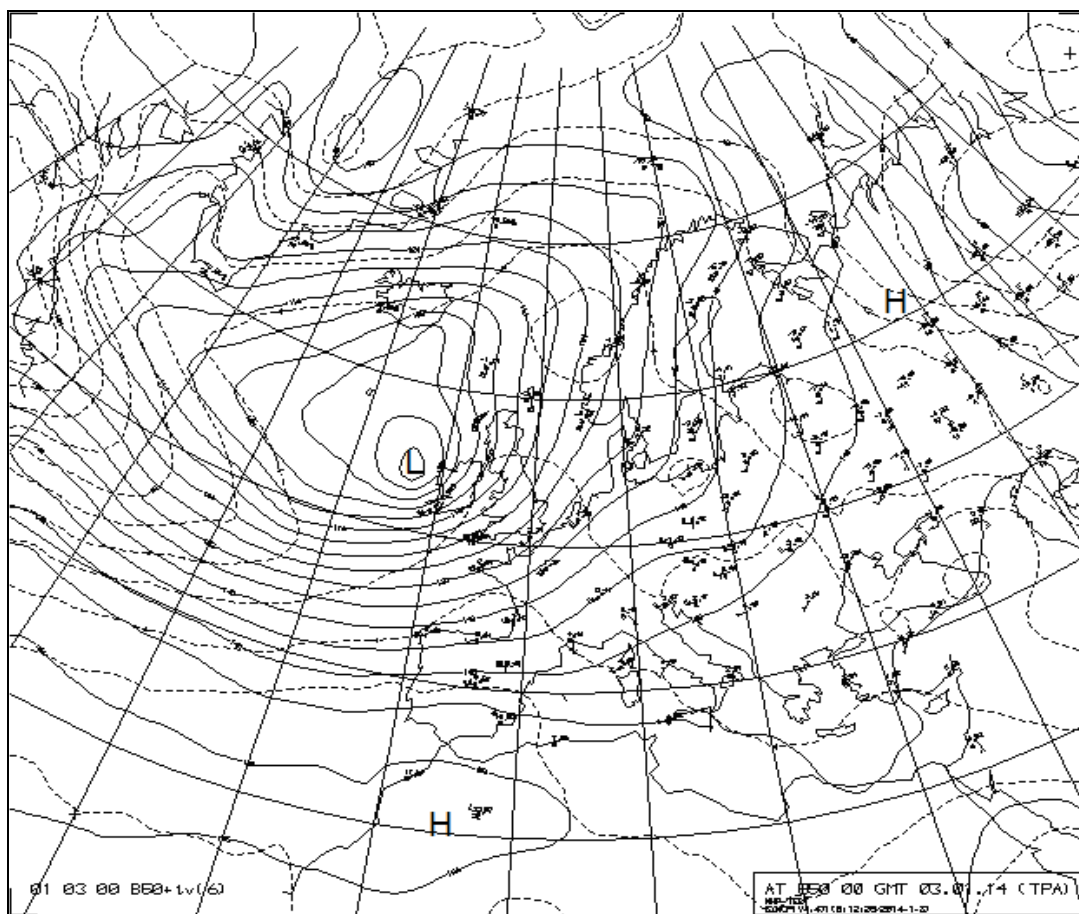
псевдопотенциалната температура, наред с анализа на останалите специфични условия, открива допълнителна възможност за повишаване на успешността на прогнозата на мъглата.

### III.4. СИНОПТИЧЕН АНАЛИЗ

#### III.4.1. Подготовка на епизода

На 29-31/12/2013 България попада под влияние на приземен антициклон, чийто център в последния ден от годината се установява на север от Балканите. Оставайки в неговата периферия, в страната прониква студен въздух, който на 01/01/2014 се настанява над нея.

Фигура III.4 представя картата на баричната топография и температурата на ниво 850 hPa на 03 00/01. Градиентите на 850 hPa са слаби. Нощните температури се понижават и усилват устойчивостта на въздушната маса в антициклоналното приземно поле над Балканите. Облачността се разкъсва и намалява до изясняване през нощта срещу 03/01. На 03 06/01 GMT над София се формира мъгла от радиационен тип.



Фиг. III.4. Карта на абсолютната барична топография за ниво 850 hPa и температурата на 03 00/01/2014 GMT

#### III.4.2. Фазата 03 06-05 09/01 GMT

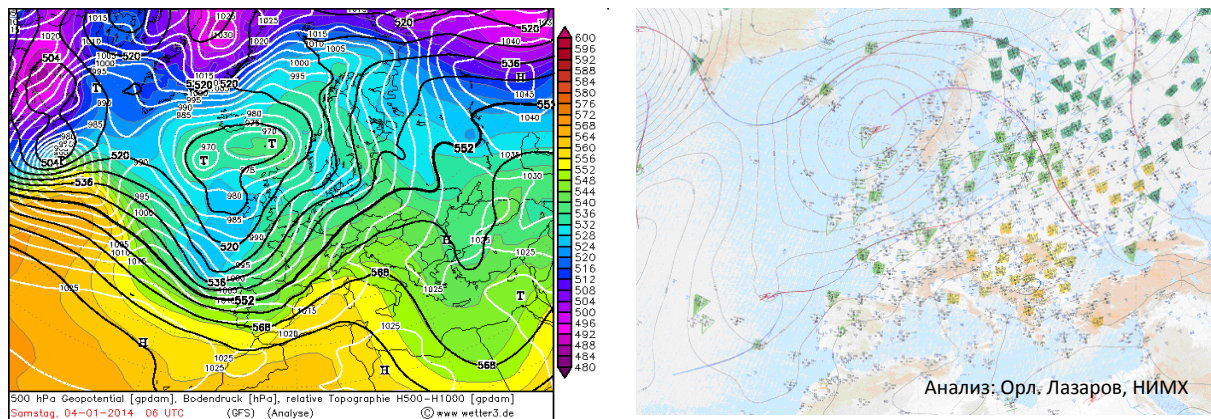
България попада в югозападната периферия на мощен антициклон, чийто център се премества от северните райони на Европейска Русия към Южен Урал. Приземното налягане над Балканите се повишава до 1030 hPa. Мощният антициклон е в процес на развитие. Низходящите движения на въздуха в него водят до образуване на т. нар. инверсии на слягане. Както се вижда от приземната карта на Фиг. III.5, над България се откриват и локални центрове на високо налягане. Това води до увеличаване изразеността на радиационната инверсия.

Левият панел на Фиг. III.5 представя картата на баричната топография за ниво 500 hPa, приземното налягане и относителната топография за нивата 500 – 1000 hPa. Над страната, от

югозапад, наред с израстването на баричния, се развива и термичен гребен. С югозападния въздушен поток на 850 hPa температурите се повишават от около 0° С на 02 00/01 GMT до 5° С на 05 12/01 GMT.

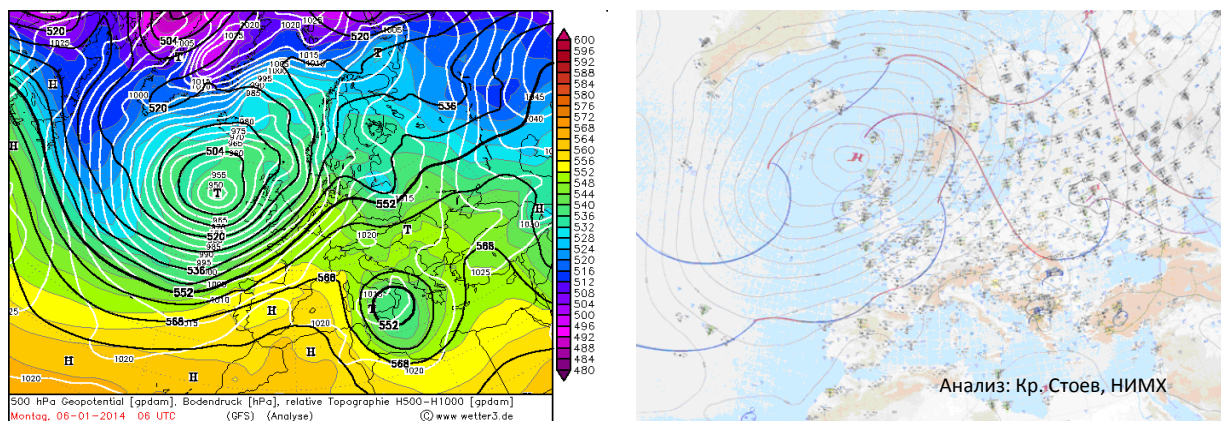
### III.4.3. Прекъсването 05 12-07 00/01 GMT

Около 06/01 България попада под влияние на средиземноморски циклон с център, преместващ се от Южна Италия на югоизток, към най-южните райони на Гърция. Това се илюстрира от лявата карта на Фиг. III.6, която представя баричната топография за ниво 500 hPa, приземното налягане и относителната топография за нивата 500 – 1000 hPa. Циклоналният вихър преминава толкова южно, че влиянието му върху времето в България се изразява само в слабо усилване на атмосферата динамика, което се оказва достатъчно само за частично подобрене на видимостта.



Фиг. III.5. Карта на абсолютната барична топография за ниво 500 hPa, приземното налягане и относителната топография за нивата 500-1000 hPa (ляво) и приземен синоптичен анализ на баричното поле (НИМХ-БАН) на 04 06/01/2014 GMT (дясно)

Допълнителен фактор за временното прекъсване на мъглата е спускащата се към Балканския полуостров от север приземна фронтална система, виждаща се на дясната карта на приземния синоптичен анализ на Фиг. III.6. Не особено добре изразена, тя преминава като развиващ се студен фронт и през България. В приземното барично поле се наблюдава усилване на баричния градиент, което е по-съществено над Западна България. При този югозападен поток, в районите, северно от планините, каквото е разположението на София спрямо Витоша, видимостта в приземния слой се подобрява.



Фиг. III.6. Карта на абсолютната барична топография на ниво 500 hPa, приземното налягане и относителната топография за нивата 500-1000 hPa на 06 06/01/2014 GMT (ляво) и приземен синоптичен анализ на баричното поле (НИМХ-БАН) на 07 00/01/2014 GMT (дясно)

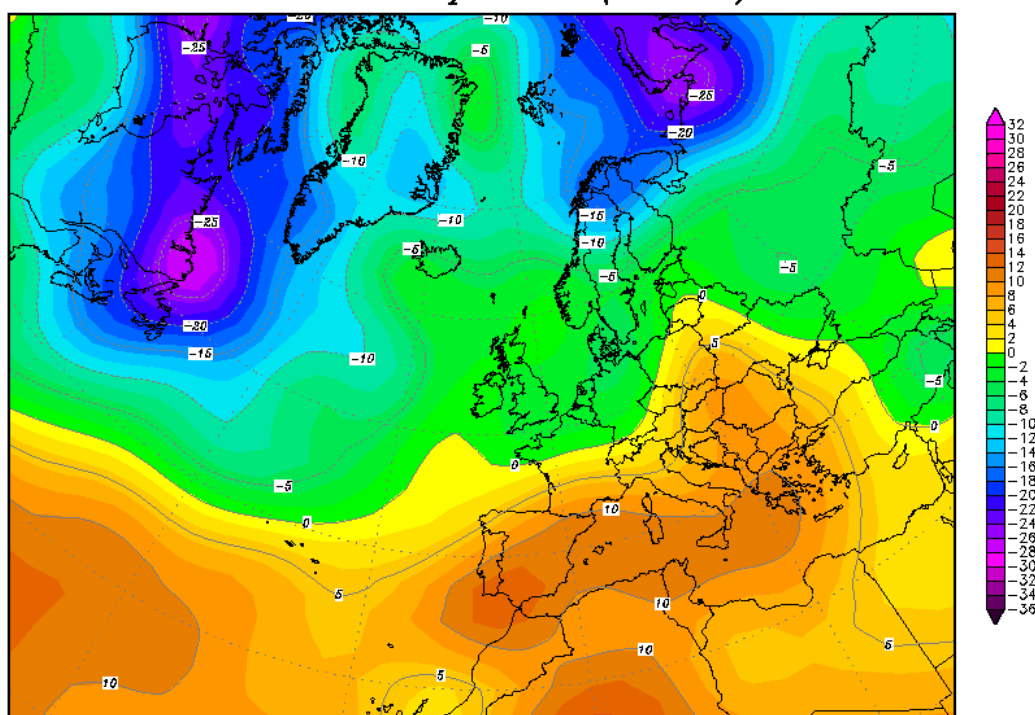
#### III.4.4. Фазата 07 03-10 12/01 GMT

Над България бързо се възстановява приземното антициклонно барично поле. В полето на геопотенциала на 500 hPa отново израства баричен гребен. В сравнение с първата фаза на обстановката, той е по-мошен и като площ, много по-обширен, вече обхващащ цяла Южна Европа. Относителният геопотенциал за слоя 500 – 1000 hPa също е с по-големи стойности, което говори за по-голямата динамична дебелина на слоя и съответно по-топъл въздух в него. С възобновяването на въздушния поток от югозапад, отслабналата за кратко, приземна инверсия отново се възстановява.

Преминалата през страната влажна въздушна маса внася влага в слоевете на 850 hPa и 700 hPa. Приземното налягане в България се повишава до 1030 hPa. Високата фронтална зона отново е над по-северните ширини, далече от Балканския полуостров. От картата на Фиг. III.7, се вижда, че преносът на топъл въздух от югозапад продължава на това ниво и на 10 00/01 GMT, като температурите над страната достигат до 8-10° C.

10JAN2014 00Z

#### 850 hPa Temperatur (Grad C)

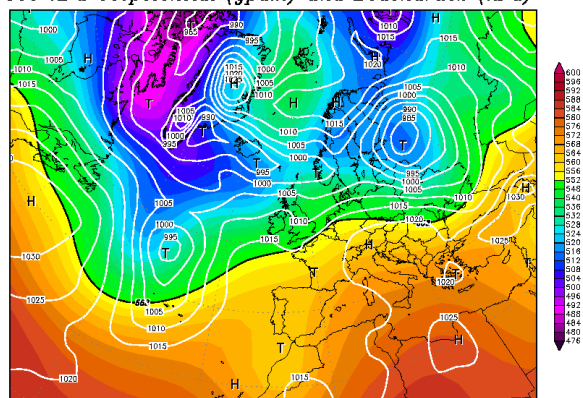


Daten: Reanalysis des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

Фиг. III.7. Карта на температурното поле на ниво 850 hPa на 10 00/01/2014 GMT

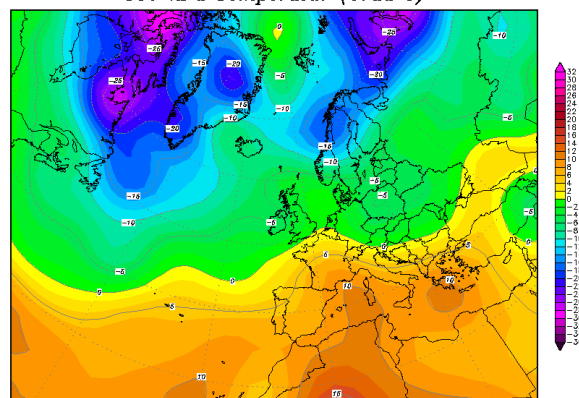
Прекъсване на трайната и стабилна инверсионна обстановка става на 10 15/01 GMT, когато България попада под влияние на спускаща се от север-североизток приземна долина, свързана с циклон, чийто център преминава през Прибалтика. От лявата карта на Фиг. III.8 се вижда, че на 11 00/01 GMT полето на геопотенциала на 500 hPa (бели линии) се е променило съществено. Приближаващата висока фронтална зона достига България, като засяга в по-голяма степен северните райони. На картата в дясно на Фиг. III.8, на ниво 850 hPa се наблюдава понижение на температурите до 0-5° C.

11JAN2014 00Z  
500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)



Daten: Reanalyse des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

11JAN2014 00Z  
850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalyse des NCEP  
(C) Wetterzentrale  
www.wetterzentrale.de

**Фиг. III.8.** Карта на абсолютната барична топография на ниво 500 hPa и приземното налягане на 11 00/01/2014 GMT (ляво) и карта на температурното поле на ниво 850 hPa на 11 00/01/2014 GMT (дясно)

### III.5. ДИСКУСИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Целта на настоящата глава бе да се разкрият специфичните условия и синоптичната обстановка в тяхната динамика за възникването и поддържането на продължителната мъгла в София през периода 03-10/01/2014. Псевдопотенциалната температура позволи от една страна да идентифицираме сменящите се въздушни маси, а от друга да установим слоевете с различаваща се устойчивост на вертикалната стратификация.

Особеностите в еволюцията на псевдопотенциалната температура и налягането през разглеждания период дадоха основания техните времеви редици да се моделират със статистическата техника на множествената линейна регресия със структурни промени. Построеният в Параграф III.3.2 стохастичен модел, показва, че времевата редица на псевдопотенциалната температура претърпява две структурни промени. Те, и двете практически съвпадат с края на първия и втория епизод на мъглата. Това даде основание този формален резултат да се интерпретира като смяна на въздушните маси. Проведения в Раздел III.4 детайлен синоптичен анализ напълно потвърди тази интерпретация. Оказа се, че при първата структурна промяна, с оттеглянето на мощния антициклон на изток, България попада в периферията на средиземноморски циклон и за кратко, под влияние на спускащата се към Балканския полуостров от север приземна фронтална система. При втората структурна промяна България попада под влияние на спускаща се от север-североизток приземна долина, свързана с циклона с център, преминаващ през Прибалтика и фронталната система, достигаща и до Балканския полуостров.

Проведеният в Параграф III.3.3 анализ на аерологичните данни с помощта на вертикалните профили на псевдопотенциалната температура, демонстрира своята ефективност при изследването на разглежданата обстановка с мъгла. Използването на тази обобщена термохидрометрична характеристика позволи отчетливо да се локализира покриващия мъглата слой със силно устойчива стратификация, а това даде възможност за оценка и на вертикалната мощност на мъглата. Оказа се, че в случая вертикалният профил на псевдопотенциалната температура, наред с анализа на останалите специфични условия, дава възможност и за успешно прогнозиране на мъглата.

В резултат на направените в настоящата глава изследвания, може да се твърди, че съвместното използване на псевдопотенциалната температура, приземното налягане и детайлният синоптичен анализ на обстановката са едно ефективно средство при анализа на образуването, развитието и разсейването на продължителната мъгла в София през периода 03-10/01/2014.

# ГЛАВА IV. Мъглите в София и индексът на устойчивост Черни връх-София

## IV.1. УВОД

Значителното развитие на числените модели през последните десетилетия засега не води до съществено напредък в прогнозирането на мъглите. Една от основните причини за това е все още недостатъчно адекватното параметризиране на специфичните процеси, водещи до формирането, развитието и разсейването на мъглата в граничния слой. Освен това доколкото мъглата е резултат от комбиниране на редица общи и локални фактори, то тя трудно би могла да се изследва в по-големи от нейните собствени мащаби (Pinheiro et al., 2006). Очертаната ситуация обуславя необходимостта от допълнителни емпирични средства за оперативната диагностика и прогноза на мъглата. Holtslag et al. (2010) показват, че веднъж оптимизиран, базираният единствено на аерологични наблюдения, т. нар. Fog Stability Index е с по-висока надеждност в сравнение с директните резултати от численото моделиране. Dejmál and Novotný (2011) тестват приложимостта на Fog Stability Index за прогнозата на случаите на ниската видимост в пет станции в Чехия.

В тази глава ние използваме данните от стандартните синоптични наблюдения в метеорологични станции София, Младост и Черни връх за изследване на мъглите в София за периода 01/01/1992-01/12/2014. За целта, предлагаме един специфичен индекс, който наричаме Cherni vrakh-Sofia Stability Index (CSSI). Този индекс се пресмята по температурите в София и Черни връх и има смисъл на своеобразна честота на Brunt-Väisälä, т.е. представлява една интегрална характеристика на степента на устойчивост на този слой. Идеята е уникалната близост на София (595 m) до Черни връх (2292 m), където се провеждат регулярни синоптични наблюдения, да се разглежда като многократен - през 3 часа “сондаж” на атмосферата и тази допълнителна информация да се използва за прецизиране на краткосрочната прогноза на мъглите.

## IV.2. ДАНИТЕ И ТЯХНАТА ПРЕДВАРИТЕЛНА ОБРАБОТКА

Използваните в тази глава данни са от стандартните синоптични наблюдения в метеорологични станции София, Младост (42°41'N, 23°19'E; 595 m) и Черни връх (42° 35' N, 23° 16' E; 2292 m) за периода 01/01/1992-01/12/2014 в основните и междинните синоптични срокове 00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 и 21 GMT от архива на НИМХ - БАН. За София, Младост ние извличаме времевите редици за приземната температура, хоризонталната видимост и групата за явленията в момента на наблюденията. От станция Черни връх използваме само данните за приземната температура на въздуха.

CSSI се дефинира и пресмята със следната формула:

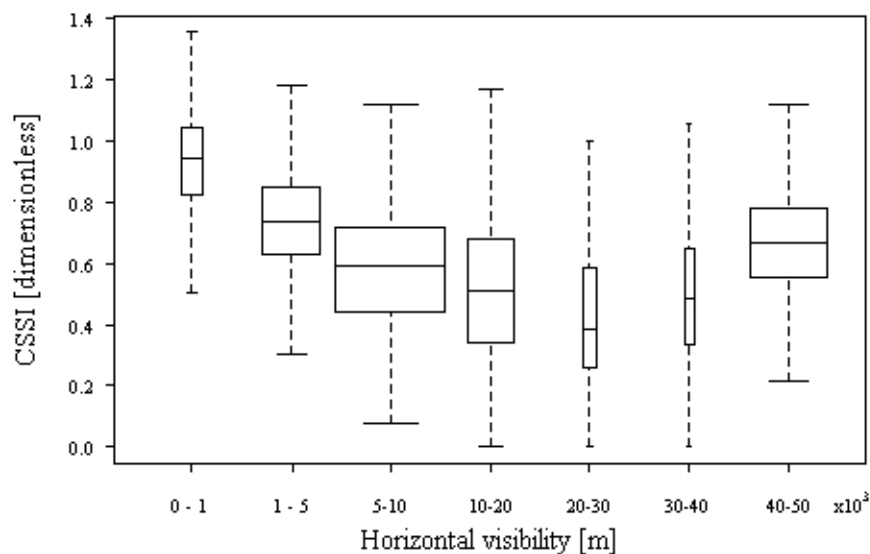
$$CSSI = \sqrt{(1 + \Delta t / 17) / (1 + t_{\text{Cherni vrakh}} / 273.15)},$$

където  $\Delta t$  е температурната разлика между Черни връх и София, Младост и  $t_{\text{Cherni vrakh}}$  е измерената в градус Целзий температура в станция Черни връх.

Формираме и един втори масив от данни само от случаите с CSSI по-висок от 0.5. Към него включваме и фактор “Phenomenon” с две нива “Fog” и “No fog”. Нивото *Fog* се състои от мъглите и димките с хоризонтална видимост 1000 m. Нивото *No fog* включва всички останали случаи. Идентифицирането на мъглите или димките с хоризонтална видимост 1000 m по-групата за явленията в момента наблюденията.

## IV.3. ПРЕДВАРИТЕЛЕН АНАЛИЗ

Фигура IV.1 представя разпределенията на CSSI в групите на рекодираната в седем интервала хоризонтална видимост. Основите на правоъгълниците маркират т. нар. “hinges” (практически



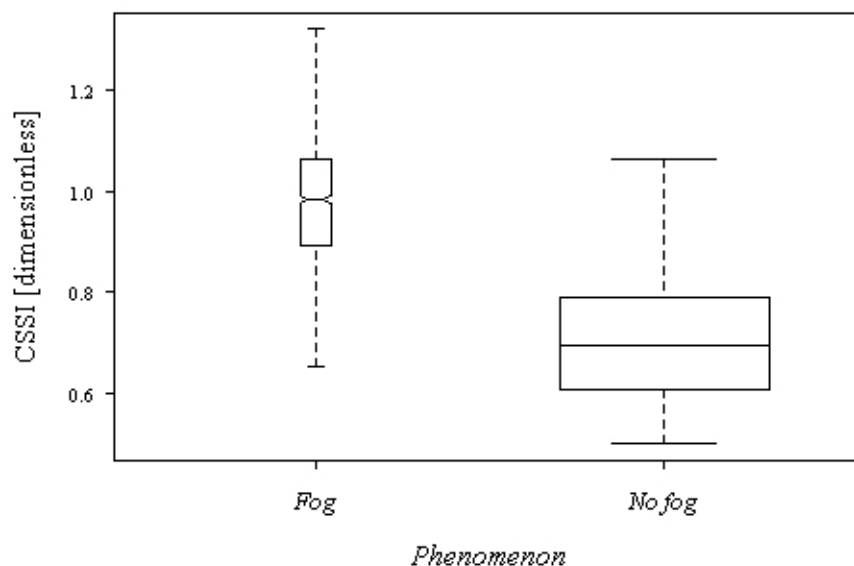
**Фиг. IV.1.** Разпределение на CSSI в седемте групи на рекодираната хоризонтална видимост в София за периода 01/01/1992-17/12/2014

първия и третия квантил). Широчината на един правоъгълник е пропорционална на квадратния корен от съответния брой наблюдения. В средата са медианите. Дължината на вертикалните пунктирани линии до близката основа на правоъгълника е 1.5 пъти интерквартилната широчина.

Фиг. IV.1 показва, че с увеличаването на хоризонталната видимост до 20-30 km имаме трайната тенденция на намаляване на CSSI.

#### IV.4. ТЕСТОВИ ПРОЦЕДУРИ

Фигура IV.2 представя разпределенията на CSSI по двете нива *Fog* и *No fog* на фактора *Phenomenon*. Елементите на фигурата са същите, както тези на Фиг. IV.1 с изключение на т.нар. “notches” - симетричните вдлъбнатини във вертикалните стени на двата правоъгълника.



**Фиг. IV.2.** Разпределение на CSSI със стойности по-високи от 0.5 в двете нива *Fog* и *No fog* на фактора *Phenomenon* в София за периода 01/01/1992-17/12/2014

Както се вижда, броят на мъглите и димките с видимост 1000 m е доста по-малък в сравнение с другите случаи. Точните числа са: от общо 45534 наблюдения, от категория *No fog* са 44555 и само 979 – от категория *Fog*.

Застъпването на вдлъбнатините върху вертикалните стени на двата правоъгълника на Фиг. IV.2 трябва да се интерпретира като статистическо основание за различие между медианите на двете разпределения. Както се вижда в случая, това е точно така и можем да заключим, че медианите на разпределенията на двете групи са различни.

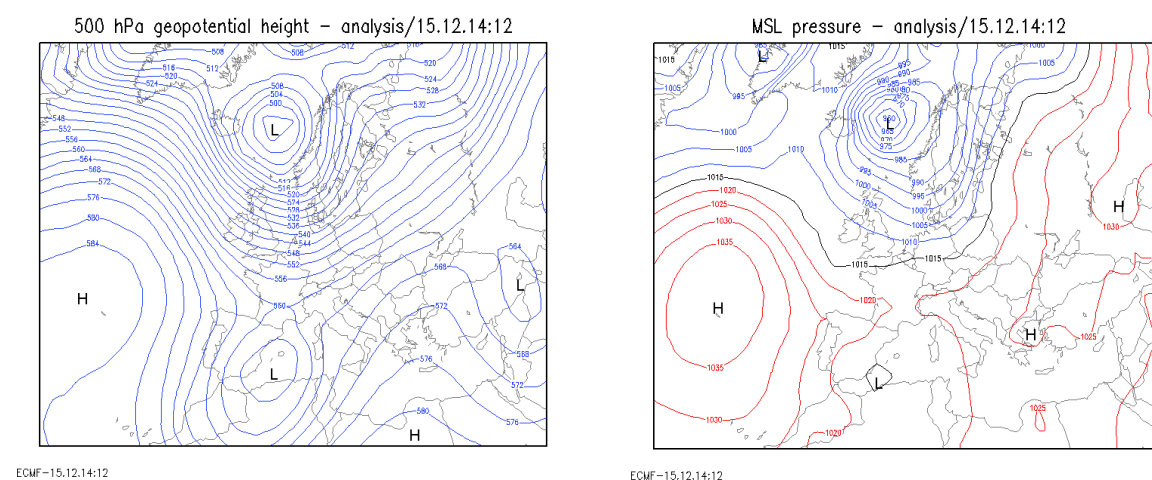
И така, имаме основания за хипотезата, че мъглите и димките с видимост 1000 m се реализират статистически при по-високи нива на CSSI. Ще проведем статистически тест за валидността на тази хипотеза.

В подобни ситуации обикновено се използва t-тест за различието на средните стойности на две независими извадки с нормално разпределение на стойностите за изследваната променлива. Този тест изисква обаче нормални разпределения на извадките. В случая извадките са групите *Fog* и *No fog*, а променливата е CSSI. Квантил-квантил диаграмата на разпределението на CSSI в двете групи показва, че извадката *No fog* няма нормално разпределение. Това се потвърждава и от теста за нормално разпределение на Jarque-Bera, който при  $p$ -стойност  $2.2 \times 10^{-16}$  категорично отхвърля нулевата хипотеза за нормално разпределение.

Затова ние използваме непараметричния Wilcoxon Mann-Whitney rank sum test. Тестът отхвърля категорично нулевата хипотеза за еднакви разпределения с една висока степен на увереност при  $p$ -стойност  $2.2 \times 10^{-16}$ . Двете медиани се различават. Оценките за тях са: 0.9834 за групата *Fog* и за 0.6943 групата *No fog*.

#### IV.5. ЕДИН ТИПИЧЕН ПРИМЕР

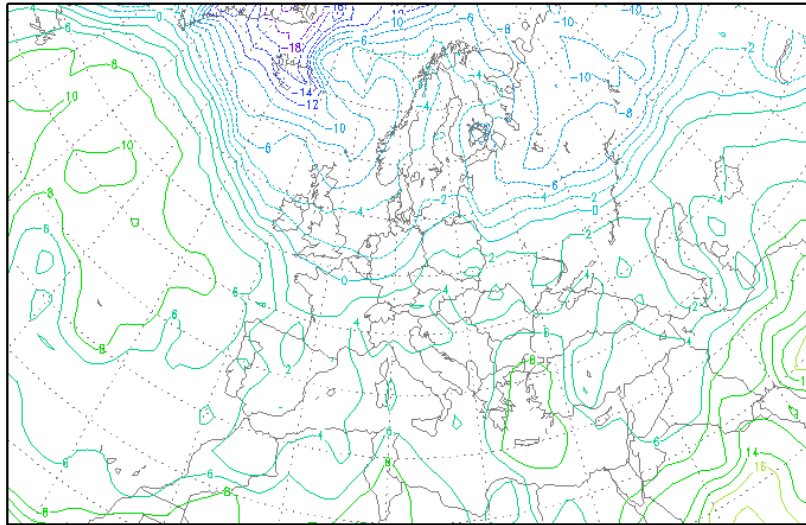
В този раздел ще илюстрираме нашия основен резултат с подробния анализ на една конкретна ситуация с мъгли в София. Анализираният период е 12 00-16 21/12/2014. Фигура IV.4 представя картите за абсолютната топография на ниво 500 hPa и налягането на морско равнище на 15 12/12/2014 UTC. На 15/12/12/2014, когато видимостта в София е най-ниска в полето на геопотенциала на ниво 500 hPa над Балканите се забелязва гребен. През периода 13-15/12/2014 в София доминира високо налягане 1027-1030 hPa. Както се вижда от десния панел на Фиг IV.4 Югоизточна Европа е обхваната от антициклон, а времето в Северозападна Европа се определя от дълбок, доста обширен циклон. От Фиг. IV.5, където е представено температурното поле на 850 hPa се вижда, че над България температурата е  $6-8^{\circ}\text{C}$ . През студения сезон ясно небе при антициклонално барично поле водят до силно радиационно изстиване през нощта и формиране на приземна инверсия. Това е типичният сценарий за формиране на мъгла в София.



**Фиг. IV.4.** Карти за абсолютната барична топография на ниво 500 hPa (дясно) и налягането на морско ниво (дясно) на 15 12/12/2014 GMT



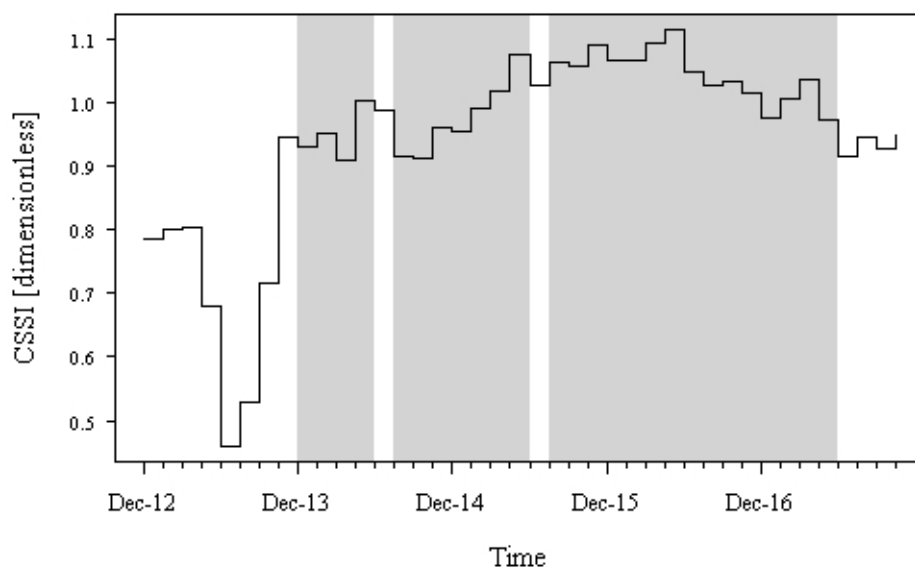
850 hPa temperature – analysis/15.12.14:12



ECMF-15.12.14:12

**Фиг. IV.5.** Температура на ниво 850 hPa на 15 12/12/2014 GMT

Комбинацията от висока температура на ниво 850 hPa и приземна инверсия води до интензифициране на мъглата, особено в по-високите котловинни полета. Обикновено, когато през декември нулевата изотерма е изтеглена далече от България и в района имаме развита антициклонална циркулация в равнините, низините и високите полета доминира мъгливото време.



**Фиг. IV.6.** Времева редица на CSSI в София за периода 12 00-16 21/12/2014 GMT

Фиг. IV.6 представя времевата редица на CSSI за периода 12 00-16 21/12/2014. Сроковете с регистрирана мъгла са в сиво. Както се вижда епизодът с мъгла стартира на 13 00/12/2014 и завършва на 16 21/12/2014. При този епизод хоризонталната видимост варира от 100 m до 900 m като имаме два 3-часови периода на прекъсване на 13 12/12/2014 GMT и 14 12/12/2014, през които видимостта е съответно 2 000 m и 1 500 m.

От Фиг. IV.6 ясно се вижда, че движейки се напред с времето при навлизане в епизода CSSI рязко нараства. През самия епизод стойностите на CSSI остават високи. В двата синоптични срока на прекъсване на мъглата CSSI локално намалява, след което отново нараства. Епизодът завършва с по-ниски нива на индекса. Това поведение на CSSI е в съответствие с нашия резултат, че при мъглата стойностите на нашия индекс на устойчивост са по-високи в сравнение със случаите без мъгла.

#### **IV.6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Целта на тази глава бе да се използват данните от стандартните синоптични наблюдения в метеорологични станции София, Младост и Черни връх за изследване на мъглите в София за периода 01/01/1992-17/12/2014. За целта ние предлагаме специфичния индекс CSSI. Този индекс се пресмята елементарно по температурите в София и Черни връх и има смисъл на своеобразна честота на Brunt-Väisälä, т.е. представлява една интегрална характеристика на степента на устойчивост.

В Раздел IV.3 се установи, че с увеличаването на хоризонталната видимост до 20-30 km имаме трайната тенденция на намаляване на CSSI. Проведените в Раздел IV.4 статистически разглеждания и тестове недвусмислено показваха, че мъглите и димките с видимост 1000 m се реализират при по-високи стойности на CSSI в сравнение със случаите без мъгла. Оценките за съответните медиани са: 0.9834 за групата на мъглите и димките с видимост 1000 m и 0.6943 за групата без мъгли. Анализираният по-подробно в Раздел IV.6 типична за мъглите в София обстановка, показва че поведение на CSSI в този конкретен случай е в съответствие с нашия общ резултат, че при мъглата стойностите на CSSI са по-високи в сравнение със случаите без мъгла.

Къде е потенциалната прогностична стойност на CSSI? Ако прогнозираната синоптична обстановка дава условия за възникване на мъгла или продължаването на формираната вече такава, то по прогнозните температури в София и Черни връх може да се пресметне CSSI. Тенденцията за по-високи стойности на CSSI е допълнително указание за възникване на мъгла или продължаването на съществуващата вече такава. Тенденцията към по-ниски CSSI обратно, поставя под съмнение формирането или продължаването на мъглата.

## **ГЛАВА V. Изследване динамиката на мъгла с ГНСС тропосферни продукти**

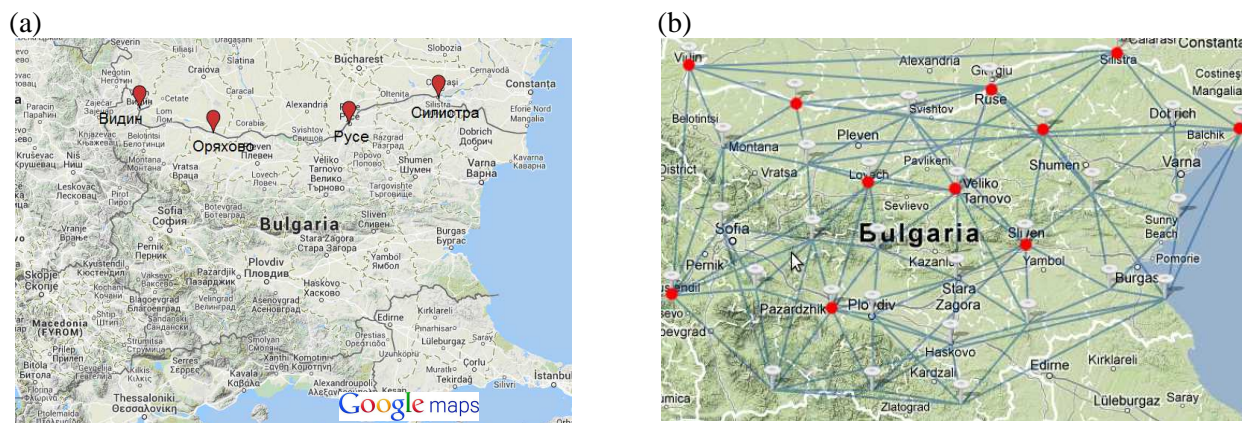
### **V.1. УВОД**

През последните 15 години в метеорологичната практика, с различни цели, започна разработването и използването на един нов метод за атмосферно сондиране. Той се базира на Глобалните Навигационни Сателитни Системи (ГНСС - Global Navigation Satellite Systems (GNSS)). Вследствие забавянето на сигнала от ГНСС може да се оцени количеството водна пара между спътника и приемника. Използването на ГНСС за измерване на водна пара е добре разработен метод в Европа (Guerova et al., 2015). Lee et al. (2010) използват за пръв път интегрираната водна пара (IWV), получена от ГНСС за изследване процесите на формиране и разсейване на мъглата, с цел подобряване на прогнозируемостта. В настоящата глава от дисертационния труд прилагаме предложения от Lee et al., (2010) метод за анализ за континентален тип мъгли в България, като правим опит за качествена оценка на процесите, базирана на подробен синоптичен анализ.

## V.2. МЕТОДОЛОГИЯ

### V.2.1. ГНСС тропосферни продукти

От 2012 ГНСС тропосферните продукти се архивират в специална база данни, създадена в СУ „Св. Климент Охридски” – Sofia University Atmospheric Data Archive (SUADA / СУАДА) (Guerova et al., 2014). СУАДА е създадена, за да съдейства в използването на данните за IWV за метеорологични и климатични проучвания в България и Югоизточна Европа. За пресмятането на IWV са използвани приземните наблюдения на температурата и налягането по метода, описан от Guerova et al. (2014). Четирите ГНСС станции, които разглеждаме в изследването са Видин, Оряхово, Русе и Силистра (Фиг. V.1). Трябва да отбележим, че приземните наблюдения, използвани в това проучване, са с времева резолюция 3 часа, затова използваните данни за IWV са извлечени също на всеки 3 часа.



Фиг. V.1. Карта на ГНСС станциите („Зенит-Гео” ЕООД):  
(а) използвани в тази работа; (б) всички станции от мрежата

### V.2.2. Приземни наблюдения

В проучването използваме приземните синоптични наблюдения на: (i) температура, (ii) относителна влажност на въздуха, (iii) хоризонтална видимост, (iv) време в момента, даващо тип и фаза на мъглата и (v) атмосферно налягане

Данните от наблюдателната мрежа на НИМХ-БАН са от синоптични станции: Видин ( $43^{\circ} 59'N - 22^{\circ} 51'E$ , 31 m), Оряхово ( $43^{\circ} 41'N - 23^{\circ} 58'E$ , 29 m), Русе ( $43^{\circ} 51'N - 25^{\circ} 57'E$ , 37 m) и Силистра ( $44^{\circ} 07'N - 27^{\circ} 16'E$ , 16 m). Станциите са разположени в Дунавската равнина, по протежение на река Дунав (Фиг. V.1).

## V.3. РЕЗУЛТАТИ

За целите на това проучване избрахме три синоптични обстановки с мъгла в България. В Таблица V.1 са представени: (i) типа мъгла, в зависимост от температурите, при които се е реализирала, (ii) продължителност на мъглата в часове, като сме използвали вече познатото правило (от Глава II) – броят на последователните срокове с мъгла, умножен по 3. Ние анализираме следните три обстановки: (i) синоптична обстановка I: 21-23/02/2012, (ii) синоптична обстановка II: от 11-13/11/2012 и (iii) синоптична обстановка III: 25-29/11/2012.

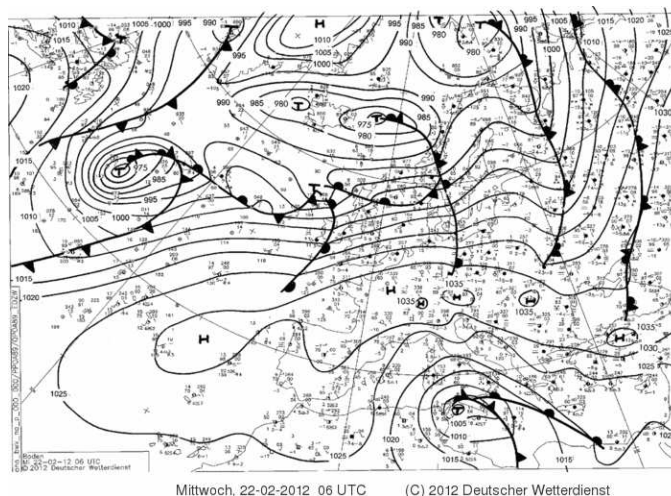
За да оценим промените в амплитудата на температурата и профила на влажността, за всяка обстановка изследваме хода на изменението им с времето, използвайки 3-часовите синоптични наблюдения. Анализираме и измененията с времето на отношението на сместа и интегрираната водна пара като по тях съдим за промените в тези влажностни характеристики през разглежданите от нас синоптични обстановки с мъгла, съобразявайки се и с динамиката на синоптичните процеси.

**Таблица V.1.** Продължителност и тип на мъглата за случаите: I. 21-23/02/ 2012 (колони 2 и 3), II. 10-13/11/2012 (колони 4 и 5) и III. 24-30/11/2012 (колони 6 и 7). Името на станцията е в колона 1. В последния ред от таблицата са поместени обобщени, графично изобразените данни от горните редове. В част от станциите мъглата се появява повече от веднъж за разглеждания период, т.е. имаме кратки прекъсвания с подобряване на видимостта, затова продължителността на отделните последователни мъгли са дадени поотделно

Станция	21-23 февруари 2012		10-13 ноември 2012		25-30 ноември 2012	
	Продължителност на мъглата, [h]	Тип мъгла	Продължителност на мъглата, [h]	Тип мъгла	Продължителност на мъглата, [h]	Тип мъгла
<b>Видин</b>	6	студена	36	топла	24	топла
	30	студена			6	топла
					6	топла
					27	топла
<b>Оряхово</b>	6	студена	12	топла	21	топла
	42	студена	9	топла	12	топла
			3	топла	12	топла
			18	топла	6	топла
			3	топла		
<b>Русе</b>	6	студена	6	топла	24	топла
	45	студена	42	топла	3	топла
<b>Силистра</b>	3	студена	12	топла	6	топла
	3	студена	3	топла	6	топла
	15	студена	3	топла	12	топла
			12	топла	6	предимно студена

### V.3.1. Синоптическа обстановка I: 21-23/02/ 2012

При тази синоптическа обстановка, мъглата е с преобладаващо радиационен характер. През разглеждания период Балканите попадат под влиянието на антициклонално барично поле (1030-1035 hPa) (Фиг. V.2). Средиземноморски циклон, формирал се на 21-02-2012 над Генуезкия залив, преминава далеч на юг-югозапад от България. На 500 hPa динамика в атмосферата също не се открива. На 23/02/2012 на 500 hPa от запад-северозапад израства баричен гребен. Развива се и термичен гребен, като на 850 hPa температурите се повишават от  $-2^{\circ}\text{C}$  на 21/02/2012 до  $+4^{\circ}\text{C}$  на 23/02/2012. Описаната синоптическа обстановка е подобна на показаната от Годев (1976) и класифицирана като тип III.



**Фиг. V.2.** Приземен анализ на 22.02.2012, 06 UTC (изобари и фронтални системи)

Анализираме мъглата при тази синоптична обстановка, като използваме поведението на избраните от нас метеорологични елементи, представени по съответния начин на фигурите и данните за IWV, изчислени по посочения в V.2.1. метод, както и пресметнатите стойности за отношението на сместа.

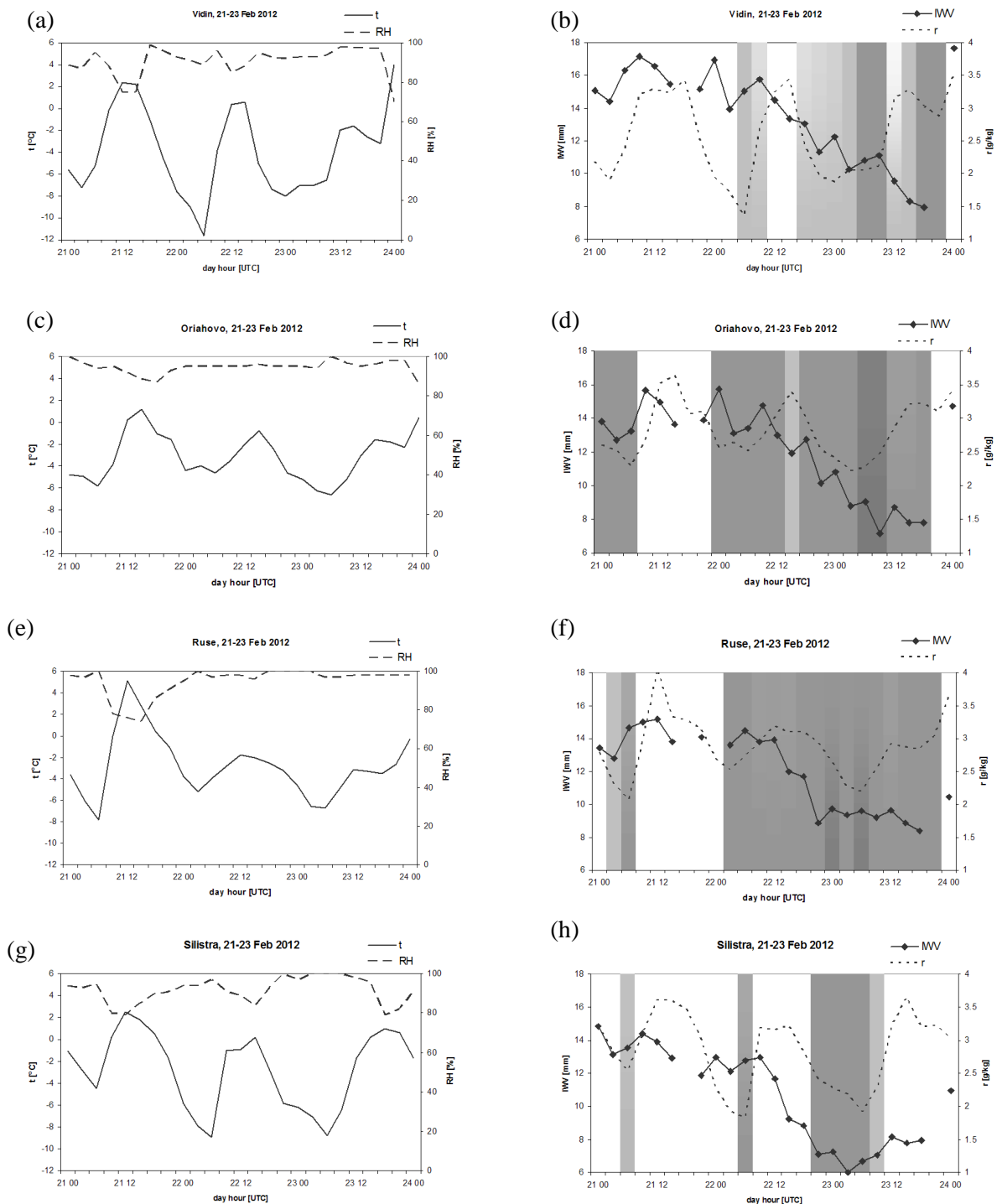
Най-продължителната мъгла, регистрирана в разглежданата от нас февруарска обстановка, е в Русе - започва на 22 03/02/2012 UTC и приключва в 23 21/02/2012 UTC и е с обща продължителност 45 часа. Видимостта през този период не надвишава 200 m, което класифицира мъглата от гъста до много гъста. По време на мъглата относителната влажност е над 96 %. При това, температурата в сроковете с RH = 100 % продължава да се понижава и отбелязва локални минимума, което говори за радиационно изстиване в приземния слой. Температурата през разглеждания период има добре изразен денонощен ход преди формирането на мъглата и е с амплитуда около 10° C, докато след формирането и, тази амплитуда е едва 4° C.

На Фиг. V.3(f) са изобразени времевите редици на IWV, отношението на сместа и видимостта, по синоптични срокове за Русе. IWV има високи стойности преди формирането на мъглата и се задържа висока и след формирането и, на 22/02/2012. За около 9 часа, 09-22 21/02/2012 UTC, стойностите на IWV намаляват от 13.9 mm до 8.9 mm. Противоположно на поведението на IWV е това на отношението на сместа, което има добре изразен денонощен ход с максимум около пладне, както в деня преди, така и по време на мъглата. Това би могло да се обясни с влиянието на дневното радиационно затопляне върху процесите на кондензация.

В Силистра дневния ход на температурата и отношението на сместа са ясно различни (Фиг. V.3(g) и V.3(h)). Мъгла се формира в 22 21/02/2012 UTC и се задържа до 23 12/02/2012 UTC. Причината за по-малката и продължителност, най-вероятно, е факта, че въздушната маса при земята не е достатъчно влажна и същото понижение на температурата води само до краткотрайна (радиационна) мъгла на 22/02/2012, регистрирана само в един синоптичен срок. След 22 09/02/2012 UTC, с рязкото понижение на IWV от 13.0 mm до 7.1 mm, се наблюдава формиране на мъгла, като най-ниска, едва 100 m, е видимостта от 21 UTC на същия ден до на 23 09/02/2012 UTC, т.е. в продължение на 12 часа.

Във Видин и Оряхово мъглата е с продължителност, съответно 30 и 42 часа, като времето на формиране на мъглата и нейната продължителност в Оряхово са подобни на тези в Русе. Постепенно понижение на IWV в Оряхово се отчита от 22 00/02/2012 UTC с минимум в 23 09/02/2012 UTC, когато се наблюдава и най-ниска видимост от 0 m. А разрушаването на мъглата е съпроводено с двойно повишение в стойностите на IWV от 8 mm до 15 mm. Подобно е поведението на IWV във Видин. Да отбележим, че във Видин и Силистра радиационното изстиване на 22/02/2012 води до ниски сутрешни температури, под -9° C, което се отразява, както на продължителността на мъглата, така и на нейната интензивност. Това предполага, че можем да приложим статистически изведените оптимални температури за формиране на мъгла в София, ±5° C (Stoycheva and Evtimov, 2014 и Глава II), и за избрания в това изследване район.

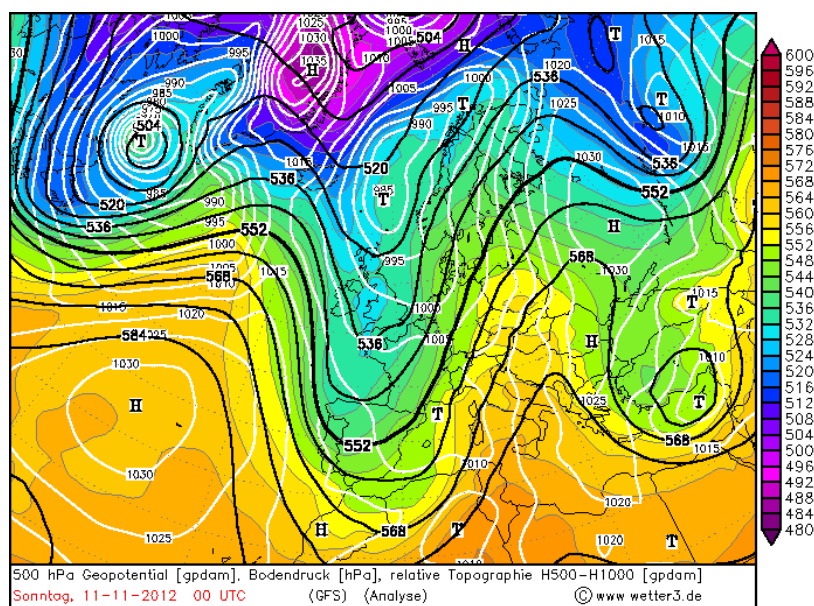
Бихме могли да обобщим, че мъглата е тясно свързана с температурния режим в района на формирането и развитието ѝ, като оптимални граници за  $t$  в интервала ±5° C са благоприятни за нейния живот. И температурата, и отношението на сместа имат добре изразен денонощен ход, така че само по себе си отношението на сместа не е достатъчно индикативно за разрушаването на мъглата. За разлика от него обаче, IWV, като интегрална характеристика, се повлиява от въздушната маса, както и от нейните трансформации през цялото време, в което проследяваме жизнения цикъл на една мъгла. В разглежданата от нас синоптична обстановка, както и в следващите две, напълно еднозначно, адвекцията на нова въздушна маса, която се регистрира и чрез промени в стойностите на IWV, води до разрушаване на слоя с мъгла.



**Фиг. V.3.** Синопична обстановка I: 21-23/02/2012. От ляво: приземна температура (непрекъсната черна линия) и относителна влажност на въздуха (пунктирна черна линия). От дясно: отношение на сместа (пунктирна черна линия), интегрирана водна пара (непрекъсната черна линия с точки в измерванията) и хоризонтална видимост (стълбчета с нюанси на сивото) за станциите: Видин (първи ред), Оряхово (втори ред), Русе (трети ред) и Силистра (четвърти ред). При липсващи стойности на IWV в определен срок, се получава прекъсване на линията, изчертаваща промените и с времето

### V.3.2. Синоптическа обстановка II: 11-13/11/2012

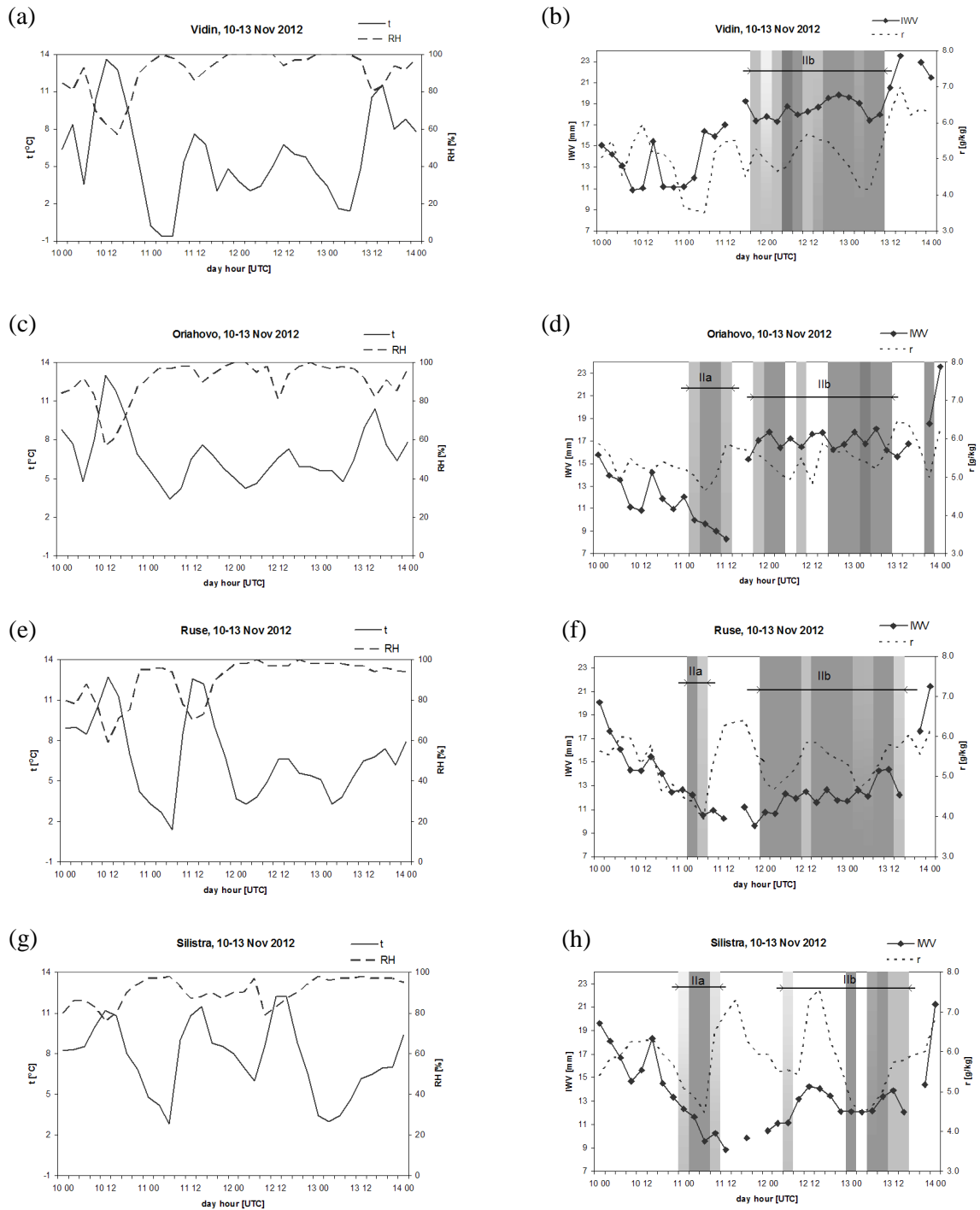
Тази синоптическа обстановка започва с радиационна фаза, която на фигурите ще отбелязваме с II(a) и продължава с фаза, в която се намесва и адвективен фактор, отбелязан с II(b). На 11/11/2012 на 500 hPa над страната израства баричен и термичен гребен (Фиг. V.4). Изяснява се. Приземното барично поле е антициклонално, с център на антициклона на север-североизток от Черно море и приземен баричен гребен, простиращ се на юг, до северните брегове на Африка. Създават се условия за радиационно изстиване на приземния слой въздух и образуване на мъгла, която се регистрира и в четирите разглеждани станции Видин, Оряхово, Русе и Силистра (Таблица V.1). Най-дълго видимостта е под 1000 m в Русе – 42 часа и Видин – 36 часа. Обстановката прекъсва поради проникването на студен въздух по приземния антициклон, а във височина – на 500 hPa се формира долина, в чиято циркулация на 14/11/2012 вече се открива и циклонален център.



Фиг. V.4. Геопотенциал на 500 hPa (черни линии), приземно налягане (бели линии), ОТ 500-1000 за 11.11.2012, 00 UTC, анализ GFS

Слабата динамика на въздушната маса над страната ни е предпоставка за формирането на радиационната част от мъглата в началото на разглеждания период. Адвективният фактор се открива, когато анализираме поведението на температурите във височина, на около 1500 m. Ако на 10/11/2012 по споменатата долина над страната на 850 hPa температурите се понижават до 0° C, то през следващите два дни, т.е. за много кратко време се наблюдава повишение на температурите до 10-12° C. Това е много мощна топла адвекция във височина, която допълнително усилва инверсионното състояние на въздушната маса, резултат от радиационно изстиване.

В Оряхово и двете фази, радиационна (II(a)) и адвективна (II(b)), са много добре разграничими. Радиационната част от епизода започва в 11 03/11/2012 UTC и продължава 12 часа. Преди формирането на мъглата денонощната амплитуда на температурата (Фиг. V.5(c)) е два пъти по-голяма от тази, след формирането на мъглата. В допълнение на това, през радиационната част, II(a), се наблюдава и понижаване на стойностите на IWV (Фиг. V.5(d)). След 11 12/11/2012 UTC мъглата временно се разсейва и това, което трябва да се отбележи е, че само за 6 часа IWV се повишава от 8 mm до 15 mm. Този рязък скок е свързан с адвекция от запад на влажен въздух във височина. Тази трансформация във въздушната маса над страната отбелязва началото на втората фаза от разглеждания от нас епизод с мъгла.



**Фиг. V.5.** Синоптичесна обстановка II: 10-13/11/2012. От ляво: приземна температура ( непрекъснатата черна линия) и относителна влажност на въздуха (пунктирната черна линия). От дясно: отношение на сместа (пунктирната черна линия), интегрирана водна пара (IWV, непрекъснатата черна линия с точки в измерванията) и хоризонтална видимост (стълбчета с нюанси на сивото) за станциите: Видин (първи ред), Оряхово (втори ред), Русе (трети ред) и Силистра (четвърти ред). При липсващи стойности на IWV в определен срок, се получава прекъсване на линията, изчертаваща промените и с времето

Адвекция на влажен въздух се отчита и във Видин, но това се случва 12 часа по-рано, отколкото в Оряхово. Във Видин скокът в стойностите на IWV се регистрират между UTC на 11 03/11/2012 и 11 06/11/2012 (Фиг. V.5(b)). Ще отбележим също, че тази адвекция повлиява и на



температурите, като след 03 UTC (Фиг. V.5(a)) понижение, което да доведе до достигане на състояние на насищане, не се наблюдава.

Отношението на сместа в Русе и Силистра (Фиг. V.5(f) и V.5(h)) има добре изразен денонощен ход. Влиянието на слънчевата радиация и затоплящия ѝ ефект около пладне на 10/11/2012 и 11/11/2012 се виждат добре и от времевите редици на температурата (Фиг. V.5(e) и V.5(g)). Радиационна мъгла се формира и на двете места, но в Русе тя е по-кратка, с продължителност само от 6 часа, докато в Силистра се задържа за 12 часа. И в двата случая има ясно изразена тенденция на намаляване на IWV по време на мъглата, което говори за преминаването на водната пара чрез процесите на кондензация в състояние на облачна вода. Регистрираната във Видин и Оряхово адвекция на влажен и топъл въздух не се открива по стойностите на IWV в източно разположените станции Русе и Силистра (Фиг. V.5(f) и V.5(h)). Там тя остава под 14 mm, докато във Видин достига 19 mm. В Русе продължителна мъгла се формира в частта II(b).

В Силистра, след разсейването на мъглата и липсата и от 12 09/11/2012 UTC до 13 09/11/2012 UTC, се наблюдава много добре изразено нарастване на IWV. Това би могло, да бъде свързано с частичното изпарение на облачната вода около пладне, когато отношението на сместа се повишава и има максимум от 7.6 g/kg в 15 UTC. Краят на обстановката с мъгла е с последователност във времето от запад на изток с разлика от около 6 часа, като във Видин и Оряхово повишението на IWV е по-рано от това в Русе и Силистра.

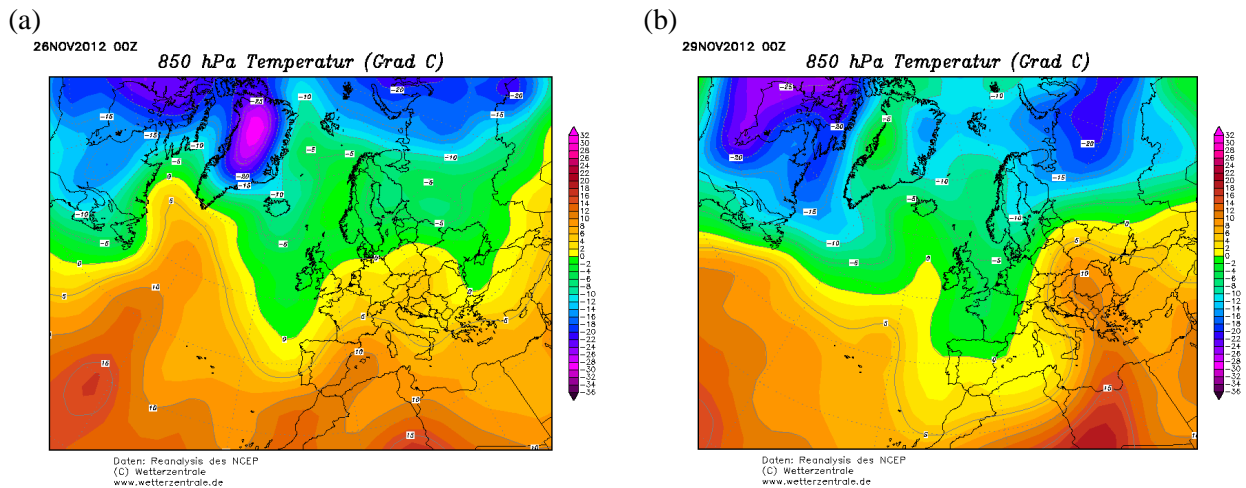
Ще обобщим, че IWV е добър индикатор за височинната адвекция на нова въздушна маса над определен район и процесът на формиране на мъгла е много чувствителен към момента от денонощието, в който се наблюдава тази адвекция. Тази чувствителност е свързана с влиянието на процесите от по-високите нива върху денонощния ход на приземните параметри като температурата, която пък от своя страна е свързана с нощното радиационно изстиване. Трябва да се отбележи и това, че високата степен на пространствена резолюция на IWV, позволява да са проследи западно-източния пренос на въздушни маси в нашите ширини.

### **V.3.3. Синоптическа обстановка III: 25-30 ноември 2012 година**

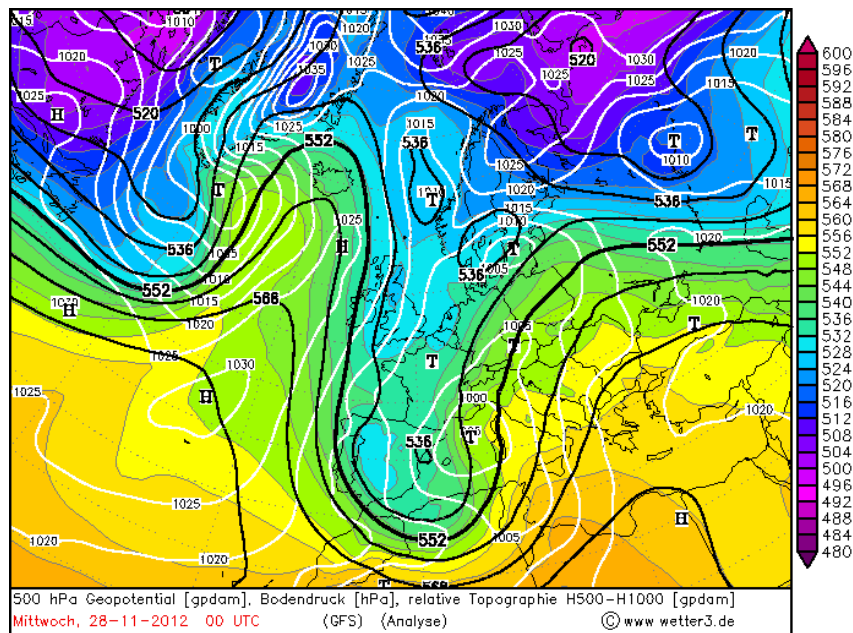
Тази синоптическа обстановка представлява смесен тип мъгла, която разделяме на три фази и означаваме с III(a), III(b) и III(c). И тук, както при синоптическа обстановка II, трябва да отбележим наличието на мощна адвекция на топъл въздух във височина. Наблюдаваното повишение на температурите на 1500 m е от 0-4 °C на 26/11/2012 (Фиг. V.(a)) до 10-12° C на 28-29/11/2012 (Фиг. V.6(b)). По отношение на баричните полета, синоптическата обстановка се развива по следния начин: комбинация от антициклонално поле над Балканите в началото на разглеждания период (25-26/11/2012), когато се създават условия за радиационно изстиване (и следва радиационната фаза III(a)) и от 27-28/11/2012 - чело на долина и впоследствие на формирал се циклон (фазата III(b)). След преминаване на бързо атмосферно смущение, следва слабо понижение на температурите, бързо изясняване и в част от станциите се наблюдава и фаза III(c), в която мъглата е отново от радиационен тип (29-30/11/2012).

В първата част, III(a) от обстановката, антициклонът не е особено обширен, а и не се задържа продължително време, така че въздушната маса да остарее, за да наблюдаваме развитие на инверсиите от ден в ден. Много дълбока и потъваща доста на юг (до 30° 00' N), до африканските брегове, обхващайки Мароко и северната половина от Алжир, е долината, в предната част, на която се намира страната ни през втората фаза от обстановката (Фиг. V.7).

При тази синоптическа обстановка, отношението на сместа и IWV са високи по две основни причини: 1. В края на ноември слънчевото греене намалява значително, изстиването на земната повърхност през нощите е чувствително и се създават условия за по-облачно и мъгливо време (Латинов, 2001) и 2. динамиката на атмосферните процеси се увеличава и нахлуванията, включително и на влажен средиземноморски въздух стават по-чести (Латинов, 2001). Такава влажна въздушна маса от Средиземноморието се регистрира в III(b) фазата.

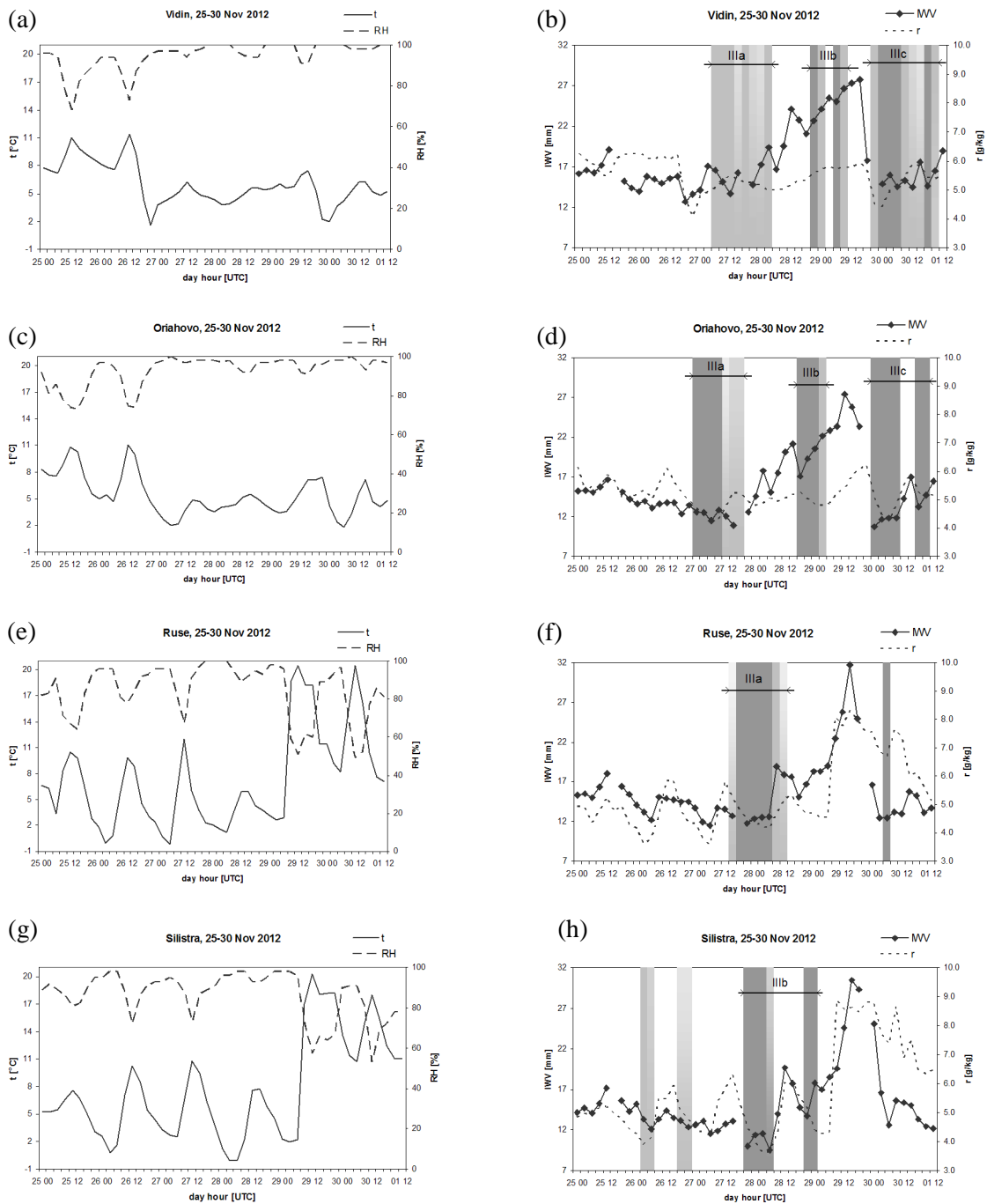


Фиг. V.6. T 850 hPa на 26 00/11/2012 UTC (a) и на 29 00/11/2012 UTC (b), анализ GFS



Фиг. V.7. Геопотенциал на 500 hPa (черни линии), приземно налягане (бели линии), ОТ 500-1000 за 28 00/11/2012 UTC, анализ GFS

При синоптична обстановка III мъглата във Видин и Оряхово има три ясно разграничени фази, видими от поведението на IWV (Фиг. V.8(b) и V.8(d)). В Оряхово първата мъгла се формира през нощта на 27/11/2012, в резултат на радиационното изстиване при ясно и тихо време. Продължителността ѝ е 21 часа, докато във Видин мъглата се формира на сутринта, т.е. около 6 часа по-късно, но се задържа за 24 часа. Трябва да отбележим, че стойностите на IWV показват тенденция на понижение след образуването на мъглата. Втората поява на мъгла, т.е. фазата III(b) във Видин се наблюдава след рязък скок в стойностите на IWV от около 17 mm до 24 mm само за 6 часа (Фиг. V.8(b)), което е свързано с настъпването на влажна въздушна маса от Средиземноморието. Повишение в стойностите на IWV се наблюдава и при Оряхово (Фиг. V.8(d)), което също попада под въздействието на средиземноморската въздушна маса.



**Фиг. V.8.** Синопична обстановка III: 25-30/11/2012. От ляво: приземна температура ( $t$  2m, непрекъсната черна линия) и относителна влажност на въздуха (пунктирна черна линия). От дясно: отношение на сместа (пунктирна черна линия), интегрирана водна пара (непрекъсната черна линия с точки в измерванията) и хоризонтална видимост (стълбчета с нюанси на сивото) за станциите: Видин (първи ред), Оряхово (втори ред), Русе (трети ред) и Силистра (четвърти ред). При липсващи стойности на IWV в определен срок, се получава прекъсване на линията, изчертаваща промените и с времето

Отминаването на средиземноморската въздушна маса се диагностицира много добре по време, чрез рязко понижаване на IWV от 28 mm в 2815/11/2012 UTC до 18 mm, само 3 часа по-късно. Отстъпването на влажния въздух във височина над Оряхово също води до понижаване на IWV от 24 mm до 11 mm, но за 6-часов период. Последната част III(c) от мъглата е в малко по-студена въздушна маса, настанила се над района след преминаването на атмосферно смущение. Бързото

изясняване след него и тихото време благоприятстват радиационното нощно изстиване и мъглата бързо се формира отново.

В Русе и Силистра средиземноморската въздушна маса също повлиява стойностите на IWV, но фактът, че се намират в Източна България, ги поставя в друго разположение спрямо притока на влага от юг-югозапад. От динамична гледна точка, баричните полета там се реализират по различен начин, имайки предвид доста по-равнинния характер на подложната повърхност. Така, по чисто динамични причини вятърът в Източна България се усилва. Измерените стойности на вятъра на 10 m в периода от 09 UTC до 21 UTC на 29/11/2012 са между 7 и 20 m/s. Приземните високи температури (Фиг. V.8e и V.8g) потвърждават промените в атмосферната динамика на 29-30/11/2012.

Синоптична обстановка III показва нагледно сложните връзки между трите, разграничени от нас, въздушни маси и разликите при тяхната локална реализация по време на мъгла в западната и източната част от България. Конкретната обстановка е доста сложна, поради намесващата се динамична компонента. Това предполага необходимостта от добро познаване на синоптичните процеси, водещи до промяната и трансформацията на въздушните маси под влияние на орографията, до познаване на различната реализация на синоптичните обстановки в нашия район и влиянието им върху метеорологичното време. В особено голяма степен това се отнася за анализирането на водещите до формиране на мъгла синоптични процеси и локалните им прояви. Както се вижда, помощ в анализа на процесите, свързани с промяната на въздушната маса, идва от високата чувствителност на IWV, улавяйки резки скокове.

#### **V.4. ДИСКУСИЯ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Подобряване на диагностиката на мъглата, а оттам и на прогнозата ѝ, може да се очаква чрез използване на IWV като много чувствителен инструмент за улавяне на процесите по преминаването на водната пара в облачна вода и обратно, характерни за образуването и развитието на мъглата, особено в радиационен стадий. Чувствителността на IWV към адвекцията на влажни и топли въздушни маси при мъгли от смесен, т.е. от адвективно-радиационен тип, дава основание да се счита, че нейното използване ще се отрази положително и върху оперативното прогнозиране. В настоящото проучване показваме, че IWV притежава висока чувствителност към такава адвекция на нова въздушна маса. Поведението на IWV и отношението на сместа може да бъде ценен допълнителен инструмент в процеса на вземане на решения в оперативната практика за посоката и начина на развитие на процесите при свръхкраткосрочна прогноза на мъгла. В тази работа се използват тричасови данни. Използването на 1-часови или данни с по-голяма времева резолюция ще бъде предимство за проследяване динамиката на мъглата. Достъпът на оперативните прогностични звена до ГНСС тропосферни продукти в реално време ще бъде допълнителна мотивация за развитие на оперативни инструменти, подпомагащи тяхната работа, на базата на този нов набор от данни.

## **Заключение**

Резултатите от проведения в Глава II статистически анализ показват, че докато през първите две трети от периода 01/1992-12/2012 месечните честоти на регистрациите на мъгла са с приблизителна цикличност около две години, то след 01/2008 тенденцията е на намаляване на случаите с мъгла. В тази връзка ние аргументираме виждането, че междугодишните вариации на честотата на мъглите в София се определят преди всичко от преобладаващия характер на синоптичните процеси през съответната година. Мъглите в София са с ясно изразен сезонен ход. Над 97 % от всички регистрирани случаи на мъгла попадат в периода ноември-февруари. Мъглите през този период са също така и с добре изразен денонощен ход. Максимумът от 18 % регистрации е в 06 GMT, а минимумът от 9 % в 15 GMT. Що се отнася до продължителността на мъглите, то тя варира от 3 h до 105 h, като епизодите са най-много в интервала до 10 h, след което техният брой рязко намалява.

При крос-класификацията на регистрациите на мъгла по четирите фактора се очертават следните особености: с най-голям абсолютен брой са случаите на гъста мъгла, при която небето

не се вижда и мъглата е без промяна или в по-малка степен започнала или усилваща се; следва умерената мъгла, но при нея случаите, в които небето се вижда, се увеличават до почти половината; разпределението по категориите на фактора Фаза на мъглата е сравнително равномерно в сравнение с гъстите мъгли. Почти половината от регистрациите на слаба мъгла се дължат на димките с видимост от 1000 m. В останалата половина, случаите в които небето се вижда или имаме отлагане на скреж е незначителен и те почти поравно се разпределят по категориите без промяна, започнала или усилваща се или разсейваща се мъгла. Най-малко са регистрациите на много гъста мъгла, при която естествено почти винаги небето не се вижда. Най-много, с почти равен брой, са много гъстите мъгли без промяна или с отлагане на скреж. Що се отнася до вятъра, то броят на регистрациите на мъгла и слаб вятър е незначителен.

Анализът на разпределенията на температурата, относителната влажност и налягането в момента на регистрацията на мъглите в София през зимния период ноември – февруари показва, че преобладаващият брой мъгли са при сравнително по-високо налягане, температури от  $-5.0^{\circ}\text{C}$  до  $5.0^{\circ}\text{C}$ , относителната влажност 95-100 % при по-ниското и 90-95 % при по-високото атмосферно налягане. Типичният профил на една регистрация на мъгла в София е: гъста или умерена мъгла през декември – януари, при която небето не се вижда. Температурата на въздуха е от  $-5.0^{\circ}\text{C}$  до  $5.0^{\circ}\text{C}$ , относителната влажност е 90-95 % и атмосферно налягане е в интервала 945-965 hPa. Типичната мъгла не се променя или е в стадия на започнала или усилваща се мъгла.

Целта на Глава III бе да се разкрият специфичните условията и синоптичната обстановка в тяхната динамика за възникването и поддържането на продължителната мъгла в София през периода 03-10/01/2014. Псевдопотенциалната температура позволи от една страна да идентифицираме сменящите се въздушни маси, а от друга да установим слоевете с различаваща се устойчивост на вертикалната стратификация.

Особеностите в еволюцията на псевдопотенциалната температура и налягането през разглеждания период дадоха основания техните времеви редици да се моделират със статистическата техника на множествената линейна регресия със структурни промени. Построеният стохастичен модел, показва, че времевата редица на псевдопотенциалната температура претърпява две структурни промени. Те, и двете практически съвпадат с края на първия и втория епизод на мъглата. Това даде основание този формален резултат да се интерпретира като смяна на въздушните маси. Проведеният детайлен синоптичен анализ напълно потвърди тази интерпретация. Оказа се, че при първата структурна промяна, с оттеглянето на мощния антициклон на изток, България попада в периферията на средиземноморски циклон и за кратко, под влияние на спускащата се към Балканския полуостров от север приземна фронтална система. При втората структурна промяна България попада под влияние на спускаща се от север-североизток приземна долина, свързана с циклона с център, преминаващ през Прибалтика и фронталната система, достигаща и до Балканския полуостров.

Проведеният анализ на аерологичните данни с помощта на вертикалните профили на псевдопотенциалната температура, демонстрира своята ефективност при изследването на разглежданата обстановка с мъгла. Използването на тази обобщена термохидрометрична характеристика позволи отчетливо да се локализира покриващият мъглата слой със силно устойчива стратификация, а това даде възможност за оценка и на вертикалната мощност на мъглата. Оказа се, че в случая вертикалният профил на псевдопотенциалната температура, наред с анализа на останалите специфични условия, дава възможност и за успешно прогнозиране на мъглата.

В резултат на направените в Глава III изследвания, може да се твърди, че съвместното използване на псевдопотенциалната температура, приземното налягане и детайлният синоптичен анализ на обстановката са едно ефективно средство при анализа на образуването, развитието и разсейването на продължителната мъгла в София през периода 03-10/01/2014.

Целта на Глава IV бе да се използват данните от стандартните синоптични наблюдения в метеорологичните станции София, Младост и Черни връх за изследване на мъглите в София за периода 01/01/1992-17/12/2014. За целта ние предлагаме специфичния индекс CSSI. Този индекс се пресмята елементарно по температурите в София и Черни връх и има смисъл на своеобразна честота на Brunt-Väisälä, т.е. представлява една интегрална характеристика на степента на устойчивост.

Установено бе, че с увеличаването на хоризонталната видимост до 20-30 km имаме трайната тенденция на намаляване на CSSI. Проведените статистически разглеждания и тестове недвусмислено показаха, че мъглите и димките с видимост 1000 m се реализират при по-високи стойности на CSSI в сравнение със случаите без мъгла. Оценките за съответните медиани са: 0.9834 за групата на мъглите и димките с видимост 1000 m и 0.6943 за групата без мъгли. Анализиранията по-подробно в типична за мъглите в София обстановка, показва че поведение на CSSI в този конкретен случай е в съответствие с нашия общ резултат, че при мъглата стойностите на CSSI са по-високи в сравнение със случаите без мъгла.

Къде е потенциалната прогностична стойност на CSSI? Ако прогнозираната синоптична обстановка дава условия за възникване на мъгла или продължаването на формираната вече такава, то по прогнозните температури за София и Черни връх може да се пресметне CSSI. Тенденцията за по-високи стойности на CSSI е допълнително указание за възникване на мъгла или продължаването на съществуващата вече такава. Тенденцията към по-ниски CSSI обратно, поставя под съмнение формирането или продължаването на мъглата.

В Глава V бе демонстрирано, че подобряване на диагностиката на мъглата, а оттам и на прогнозата и, може да се очаква чрез използване на интегрираната водна пара като много чувствителен инструмент за улавяне на процесите по преминаването на водната пара в облачна вода и обратно, характерни за образуването и развитието на мъглата, особено в радиационен стадий. Чувствителността на интегрираната водна пара към адвекцията на влажни и топли въздушни маси при мъгли от смесен, т.е. от адвективно-радиационен тип, дава основание да се счита, че нейното използване ще се отрази положително и върху оперативното прогнозиране. В настоящото проучване показваме, че интегрираната водна пара притежава висока чувствителност към такава адвекция на нова въздушна маса. Поведението на интегрираната водна пара и отношението на сместа може да бъде ценен допълнителен инструмент в процеса на вземане на решения в оперативната практика за посоката и начина на развитие на процесите при свръхкраткосрочна прогноза на мъгла. В тази работа се използват тричасови данни. Използването на 1-часови или данни с по-голяма времева резолюция ще бъде предимство за проследяване динамиката на мъглата. Достъпът на оперативните прогностични звена до ГНСС тропосферни продукти в реално време ще бъде допълнителна мотивация за развитие на оперативни инструменти, подпомагащи тяхната работа, на базата на този нов набор от данни.

## Основни приноси на дисертацията

- Диагностицирани са статистически мъглите в София през последните двадесет години.
- Установено е, че псевдопотенциалната температура е едно ефективно средство при анализа на образуването, развитието и разсейването на продължителните мъгли в София.
- Установено е, че предложеният индекс на устойчивост Черни връх-София разделя статистически ефективно мъглите в София от случаите без мъгла.
- За първи път е приложен метода ГНСС метеорология за изследване динамиката на мъглата. Установено е, че интегрираната водна пара е ефективен допълнителен инструмент за изследване на тази динамика.

## Публикации на автора, свързани с дисертацията

- Стойчева, А. и Евтимов, С., 2014. Диагностика на мъглите в София през периода 1992-2012 година, Годишник на СУ „Св. Климент Охридски”, ФзФ, 107, стр. 132-145.
- Стойчева, А. и Евтимов, С., 2015. Мъглата в София 03-10/01/2014: анализ чрез псевдопотенциалната температура, Годишник на СУ „Св. Климент Охридски”, ФзФ, 108, (под печат).
- Latinov, L., Stoycheva, A., Katsarska, V., 2005. Some peculiarities of the fog formation in Bulgaria, Workshop Proceedings, COST Action 722, EUR 22150, pp. 72-82.
- Stoycheva, A., Guerova, G. 2015. Study of fog dynamics with the GNSS tropospheric products, 00 () 1–10, (in review: Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics).
- Stoycheva, A., Evtimov, S., Studying the fogs in Sofia with Cherni-vrah-Sofia Stability Index, (to be published)
- Stoycheva, A., Guerova, G. Fog case studies using the GNSS tropospheric products in Bulgaria, Workshop Proceedings, FIG Working Week 2015, 17-21 May 2015, Sofia, (submitted).

## Литература

- Bai J., Perron, P., 1998. Estimating and testing linear models with multiple structural changes, *Econometrica*, v. 66, 1, pp. 47-78.
- Bai J., Perron, P., 2003. Computation and analysis of multiple structural change models, *Journal of Applied Econometrics*, 2003, v. 18, 1, pp. 1-22.
- Bluestein, H. B. Synoptic-dynamic meteorology in Midlatitudes: Vol. II: Observations and theory of weather systems, Oxford University Press, New York 1993, ISBN-10: 019506268X, 608 pp.
- Dejmal K., and Novotny, J., 2011. Application of Fog Stability Index for significantly reduced visibility forecasting in the Czech Republic, *Recent Advances in Fluid Mechanics and Heat & Mass Transfer*, ISBN: 978-1-61804-026-8.
- Forthun, G. M., Johnson, M. B., Schmitz, W. G., Blume, J. and Caldwell, R. J., 2006. *Phys. Geography*, 27, pp. 206-222.
- Guerova, G., Jones, J., Dousa, J., Dick, G., de Haan, S., Pottiaux, E., Bock, O., Pacione, R., Elgered, G., Vedel, H., Bender, M., 2015. Review of the state-of-the-art and future prospects of ground-based GNSS meteorology in Europe, ACP, Submitted 02-2015.
- Guerova, G., Simeonov, T., Yordanova, N., 2014. The Sofia university atmospheric data archive (SUADA), *Atmos. Meas. Tech.* 7, pp. 2683–2694. doi:10.5194/amt-7-2683-2014.
- Hanesiak, J. M. and Wang, X. L., 2005. Adverse-weather trends in Canadian Arctic, *J. Climate* 18, pp. 3140-3156.
- Hardwick, W. C., 1973. Monthly fog frequency in the continental United States, *Monthly Weather Rev.*, v. 101, 10, pp. 763-766.
- Holton, J. R., 1972: *An Introduction to Dynamic Meteorology*. Academic Press, New York, pp. 319.
- Holtzlag, M. C., G.J. Steeneveld G. J., Holtzlag A. A. M., 2010. Fog forecasting: “old fashioned” semi-empirical methods from radio sounding observations versus “modern” numerical models, In: *Proceedings of the 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 5th International Conference on Fog, Fog Collection and Dew, 25-30 July 2010, Münster, Germany, 2010-07-25/2010-07-30*.
- Lackmann, G. *Midlatitude synoptic meteorology: Dynamics, analysis, and forecasting*, 2013, AMS, ISBN 9781878220103, 360 pp.

- LaDochy, S., 2005. The disappearance of dense fog in Los Angeles: Another urban impact?, *Physical Geography*, 26, pp. 177-191.
- Lee, J., Park, J.-U., Cho, J., Baek, J., Kim, H. W., 2010. A characteristic analysis of fog using gps-derived integrated water vapour, *Meteorol. Appl.* 17, pp. 463–473.
- Muraca, G., Maciver, D. C., Auld, H. Urquizo, N., 2001. The climatology of fog in Canada. Proc. 2nd Internat. Conf. Fog and Fog Collection, Newfoundland, 15-20 July 2001.
- Peace, R. L., 1969. Heavy fog regions in the United States. *Monthly Weather Review*, v. 97, pp. 116-123.
- Pinheiro F.R., Peterson R.G., De Farias W.C.M., 2006. Numerical study of fog events along Rio De Janeiro Coast, Using The Mm5 Model Coupled With The Unidimensional Model Cobel, Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, INPE, pp. 1935-1944.
- Schwarz, G. E., 1978. Estimating the dimension of a model, *Annals of Statistics* 6 (2): 461–464, doi:10.1214/aos/1176344136, MR 468014.
- Scott, R.H., 1894. Fogs reported with strong winds during the 15 years 1876–90 in the British Isles, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* XX, pp. 253–262.
- Scott, R.H., 1896. Notes on some of the difference between fogs, as related to the weather systems which accompany them, submitted to the Fog Committee, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* XXII, pp. 41–65.
- Tardif, R., 2007. The impact of vertical resolution in the explicit numerical forecasting of radiation fog: A case study. *Pure Appl. Geophys.* 164, 7/8, pp. 1221-1240.
- Willett, H. C., 1928. Fog and haze, their causes, distribution, and forecasting, *Monthly Weather Rev.* 56, pp. 435–468.
- Witiw, M. R. and Baars., J. A., 2003. Long term climatological changes in fog intensity and coverage. Proc. 14th Symp. Global Change and Climate Variations, Am. Meteor. Soc., Long Beach, CA.
- Белинский, В. А. Динамическая Метеорология, ОГИЗ, Гостехиздат, Москва, Ленинград, 1948.
- Годев, Н. Синоптична метеорология, Наука и изкуство, София, 1976.
- Зверев, А. С. Синоптическая Метеорология, Гидрометеиздат, Ленинград, 1957.
- Латинов, Л. Капризите на времето в България през XX век, ISBN 954–550–005–0, София, 2001.
- Стойчева, А. и Евтимов, С., 2014. Диагностика на мъглите в София през периода 1992-2012 година, Годишник на СУ „Св. Климент Охридски”, ФзФ, 107, стр. 132-145.