

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“
ФИЗИЧЕСКИ ФАКУЛТЕТ

Том 108

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”
FACULTY OF PHYSICS

Volume 108

РЕАЛИЗАЦИИ НА НЯКОИ ОПАСНИ, АВИАЦИОННО ЗНАЧИМИ МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ И ЯВЛЕНИЯ ПРЕЗ ЛЯТОТО В РАЙОНА НА ГР. ПЛОВДИВ

НИКОЛАЙ РАЧЕВ¹, РУМЕН РАЙКОВ², РАДОСЛАВ ИВАНОВ², КАЛИН ТРАЙКОВ²

¹ Катедра „Метеорология и геофизика“

² Метеорологичен център на ВВС, София

Николай Рачев, Румен Райков, Радослав Иванов, Калин Трайков. РЕАЛИЗАЦИИ НА НЯКОИ ОПАСНИ, АВИАЦИОННО ЗНАЧИМИ МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ЕЛЕМЕНТИ И ЯВЛЕНИЯ ПРЕЗ ЛЯТОТО В РАЙОНА НА ГР. ПЛОВДИВ

В настоящата работа са анализирани реализациите на някои опасни за авиацията метеорологични явления и стойности на метеорологични елементи в района на гр. Пловдив през месеците май–септември за периода 1980–2013 г. Анализирана е тяхната междугодишна изменчивост и е потърсено обяснение на наблюдаваните изменения. Установено е нарастване на броя на опасните метеорологични явления и опасните стойности на метеорологичните елементи след 1997 г. Оценените декадни трендове на изменение са сравнени с аналогични от предишни изследвания. Резултатите от изследването могат да бъдат използвани за основа на нова методика за климатично описание на територията на България в условията на нарастване на климатичните рискове.

За контакти: Румен Райков, Метеорологичен център на ВВС, София 1616, кв. Бояна, ул. „Брезовица“, тел.: +359 2 9228702, факс: +359 2 9228705, E-mail: rumen_raykov@abv.bg

The paper presents research concerning the occurrence of the aviation hazardous weather conditions and atmospheric phenomena during the months of May to September in the vicinity of Plovdiv, for the period 1980–2013. Their interannual variability is analyzed and we try to find the explanation of the observed changes. It is determined an increase in the number of dangerous weather phenomena and dangerous values of meteorological elements since 1997. Estimated decadal trends are compared with analogous from previous studies. The results of the present study can be used in the creation of a new climatic regionalization of Bulgaria, in the conditions of increasing climatic risks.

Keywords: regional climate change, weather phenomena

PACS numbers: 92.70.Kb, 92.60.Ry

1. УВОД

През последните десетилетия сме свидетели на настъпващи климатични изменения, които е много вероятно да са причинени от антропогенни въздействия [1]. Регистрират се все повече рекордно високи температури и се увеличава честотата на опасните метеорологични явления – гръмотевични бури, проливни дъждове, наводнения, градушки и др. Това налага преоценка на съществуващите климатични характеристики, които в някои случаи вече не описват адекватно екстремалните метеорологични явления.

В петия доклад на IPCC [1] е констатирано, че трендът на повишение на средната температура на въздуха над сушата за периода 1979–2012 г. е около 0,262 °C на десетилетие. Всяко едно от последните три десетилетия е последователно по-топло от всички предишни десетилетия от времето на инструменталните записи, а първото десетилетие на 21-ви век е било най-топлото.

Климатичните изследвания за територията на България [2] показват, че за периода 1951–1995 г. тенденциите в изменението на температурите през лятото и есента са отрицателни, а през пролетта са положителни. Положителните трендове на температурите в някои станции достигат интервала 0,26–0,35°C за десетилетие през пролетта, а отрицателните са в интервала от –0,26 до –0,35 °C за десетилетие през есента. При годишните трендове на температурата преобладават отрицателните стойности, особено в Южна България, но трендовете са значително по-малки от сезонните – от –0,06 до –0,15°C за десетилетие [2]. Изследванията на Александров [3] показват, че за периода 1931–2000 г. средната температура на въздуха през пролетта не показва значителни изменения. От началото на осемдесетте години обаче се наблюдава тенденция за повишение на средните летни температури, като положителните аномалии са главно през последните десет години на XX столетие. В изслед-

ването на Димитрова [4] е показано, че за територията на България в периода 1995–2012 г. линейният тренд на средните температури е положителен и е в границите 0,58–0,72 °C за десетилетие. Най-голям е трендът през есента, следван от пролетта и лятото.

Според доклада на IPCC [1] броят на екстремно студените дни и нощи през първото десетилетие на XXI век е намалял с около 20 дни, сравнено с нормалния период 1961–1990 г., а екстремно топлите дни и нощи са се увеличили също с около 20 дни. Денонощната амплитуда на температурата след 1950 г. е намаляла, доколкото повишението на минималните денонощни температури е по-голямо от това на максималните. Съществува обаче добре изразена декадна изменчивост [1, 3] и за периода 1997–2004 г. не е регистрирано изменение на денонощната амплитуда на температурата поради еднаквата скорост на увеличение на максималните и минималните температури. Повишила се е честотата на топлите вълни в Европа след 1951 г.

По отношение на екстремалните температури за територията на България е установено, че последните години на XX столетие са били години с най-високи минимални температури на въздуха. Линейната тенденция за XX век се изменя в интервала от 0,6° до 0,8 °C [3]. В изследването на Димитрова [4] е показано, че за територията на България в периода 1995–2012 г. нарастването на средните максимални температури е по-голямо от това на минималните. Най-голям е трендът на нарастване на средните максимални температури за есента (1,87 °C за десетилетие), следван от този за лятото (1,37 °C за десетилетие).

След 1951 г. се наблюдават тенденции за увеличаване на валежите над континентите в умерените ширини на северното полукуълбо (30N–60N). Оцененият тренд за периода 1979–2010 г. е около 7 mm на десетилетие, но той не е статистически значим. Наблюдава се и съществена декадна изменчивост на валежите [1]. Честотата и интензивността на проливните валежи в Европа са се увеличили, като се наблюдават и някои сезонни и регионални особености. Например увеличението на валежите в района на Средиземноморието е преобладаващо през зимните месеци.

В изследването на Александров [3] се констатира, че колебанията на валежите над България показват тенденция към намаляване в края на миналото столетие. От края на седемдесетте години на XX век се наблюдава отрицателна тенденция на летните валежи – например валежите в Садово (Южна България) са били по-ниски от климатичната норма 17 години от последните 20 години на изследвания период. Аналогична тенденция се наблюдава и през есенния период. От друга страна, положителна тенденция на валежите се наблюдава през пролетния сезон и най-вече през зимния период [3]. Тези изводи са потвърдени и в изследването на Димитрова [4], в което за периода 2004–2012 г. е определен отрицателен линеен тренд на количеството валеж през лятото (–17,5 mm/year) и есента (–6,2 mm/year).

Промени през последните десетилетия са отчетени и в приземното атмосферно налягане [1]. За периода май–октомври 1979–2012 г. е регистриран тренд на намаляване на атмосферното налягане за района на Средиземноморието, а също така и над Северен Сибир. Намаляване на приземното атмосферно налягане за същите години, но през месеците януари–март, има отново за района на Средиземноморието.

От изложеното до тук може да се направи изводът, че територията на България също е повлияна в значителна степен от глобалните климатични изменения. Необходимо е провеждането на актуални климатични изследвания, резултатите от които биха били от полза при планиране на мерки, целящи намаляване на негативните последици от климатичните изменения. Важността на тези изследвания нараства през последните години, като се имат предвид и резултатите от числените климатични модели, изследващи различни сценарии за изменение на климата през XXI век [1]. Моделните резултати показват, че средната глобална стойност на температурата на земната повърхност за периода 2016–2035 г. спрямо периода 1986–2005 г. вероятно ще бъде по-висока с между 0,3 и 0,7 °C. За територията на Европа се очаква нарастването на летните температури да е по-голямо от нарастването на средногодишните температури и средните летни температури (юни–август) да се повишат с 0,6–1,5°C, като най-голямото увеличение ще е над сушата в района на Средиземноморието. Екстремално високите температури в Южна Европа ще се повишат повече от средните температури. Очаква се да продължи тенденцията на увеличаване броя на топлите дни и нощи, а броят на студените дни и нощи да намалее. Много вероятно е да се увеличи продължителността на топлите вълни. За периода 2016–2035 г. се очаква увеличаване честотата и интензивността на проливните валежи, което е свързано с увеличаването на влажността и промените в циркулацията на атмосферата. За района на Средиземноморието като цяло се очаква увеличение на интензивните валежи при бури, но за източната част на Средиземноморието се очаква намаляване на тези екстремни явления. Очаква се средните валежи през лятото да намалее над сушата в почти цялата територия на Европа с изключение на най-северните райони. През зимата намалението ще е най-голямо за района на Средиземно море [1].

Естествено е да бъде потърсен отговор на въпроса до каква степен наблюдаваните глобални и регионални климатични изменения са видни и в локален мащаб – в една или няколко станции на територията на България. В настоящата работа е избрано да бъдат анализирани измененията в честотата на поява на някои опасни за авиацията метеорологични явления на летище, близо до гр. Пловдив. Това е необходимо за надеждното метеорологично осигуряване на провежданите в мирно и/или военно време операции, което е основната задача и отговорност на Метеорологичния център на Военновъздушните сили (МЦ на ВВС).

2. ИЗПОЛЗВАНИ ДАННИ

В настоящото изследване са използвани данни от наблюдения от цифровизираната метеорологичната база данни (МБД) на МЦ на ВВС. Тя е създадена в началото на 90-те години на миналия век и съдържа информация от ежечасни наблюдения в 16 метеорологични станции с начало от 1 часа на 01.01.1980 г. Данните, записани на електронен носител, са ежечасните синоптични телеграми (по кода на Световната метеорологична организация (СМО) SYNOP – FM 12). С изискващата се точност и детайлизация много по-коректно от данни, записвани по кода на Международната организация за гражданска авиация METAR, те съдържат пълната гама от реализации на приземните метеорологични параметри за пункта, в който се извършват наблюденията. МБД, попълваща се в непрекъснат режим след всяко извършено наблюдение и след тристепенен контрол на данните, е основа на качествен скок във военното метеорологично осигуряване [5]. Със своята непрекъсната ежечасна информация за период над 35 години МБД на МЦ на ВВС е уникална за България.

За целите на настоящото изследване от МБД на МЦ на ВВС чрез специализирани софтуерни продукти, при зададени критерии за подбор е селектирана метеорологична информация, събирана на летище, намиращо се в района на гр. Пловдив. Използваните данни са за периода от 01.01.1980 г. до 31.12.2013 г.

Съществуват редица метеорологични явления и стойности на метеорологични елементи (както и комбинации от тях), които могат да доведат до създаване на сериозни опасности при провеждането на полетите. Те са свързани с неблагоприятно въздействие както върху летателните апарати, така и върху авиационната техника на летищата. За краткост, в изложението по-долу те ще бъдат наричани (ОМЯ).

В настоящата работа се разглеждат ОМЯ през топлото полугодие (май – септември), а именно: гръмотевични бури, интензивни валежи, екстремно високи температури и опасен вятър. Основанията за този избор са, че през топлото полугодие се провеждат по-голямата част от националните и многонационалните учения с участие на авиационна техника от избраното летище и че това е периодът с максимална реализация на ОМЯ през годината.

В съответствие с [6] критериите за наличие на ОМЯ са:

– Вятър (Wind): реализация на поне едно наблюдение в денонощието, когато вятърът е със скорост, по-голяма от 10 m s^{-1} , и е от посока юг-югозапад (120–220 градуса) или от посока северозапад-североизток (300–40 градуса). Появата на такъв вятър е опасна за излитащи/кацащи авиационни средства заради надкритичните, напречни на пистата компоненти.

– Температура (Temp): покачване и задържане в три и повече последователни часа на температурата над 32°C . Температурите над тази

граница негативно влияят на аеродинамиката на наличната авиационна техника и на хората, които я пилотират и обслужват.

- Гръмотевични бури (Tund): наличие на гръмотевична дейност в повече от два последователни часа. В такива случаи военните летища биват „затваряни“ за излитане и кацане.

- Валежи (Pres): продължили повече от шест последователни часа. Валежи с такава продължителност обикновено водят до понижение и продължително задържане на долната граница на облаците и хоризонталната видимост под определени критични стойности. Отново са свързани с невъзможност за излитане и кацане от и на съответното летище.

Чрез задаването на тези критерии от МБД на МЦ на ВВС е извлечена информация за реализацията на всяко едно ОМЯ през разглеждания период или на комбинация от няколко ОМЯ (Mixed).

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. РЕАЛИЗАЦИИ НА ОМЯ ПРЕЗ ЛЯТОТО В РАЙОНА НА ПЛОВДИВ ПРЕЗ ПЕРИОДА 1980–2013 г.

През периода 01.01.1980 г. до 31.12.2013 г. на летището, намиращо се в района на гр. Пловдив, са регистрирани общо 2517 случая на реализации на ОМЯ през месеците от май до септември (табл. 1). В таблицата е показан и процентът на реализирани се различни ОМЯ, изчислен като отношение на броя им към общия брой дни в периода ($31_{\text{май}} + 30_{\text{юни}} + 31_{\text{юли}} + 31_{\text{август}} + 30_{\text{септември}} = 153 \text{ дни} \times 24 \text{ години} = 3672 \text{ дни}$). „Средно за година“ е отношението на броя отделни реализации на ОМЯ към броя на годините.

От данните, представени в табл. 1 следва, че в 48,4 % от общия за периода брой дни се е реализирало поне по едно от разглежданите ОМЯ. В 18,7 % от случаите това е гръмотевична дейност, в 15,2 % – опасно висока температура, в 4,8 % – опасен валеж, в 4 % – опасен вятър, а в 5,7 % от дните е реализирана комбинация от две или три ОМЯ. При предположение, че реализациите на ОМЯ са равномерно разпределени през разглеждания период, то вероятната поява (общ брой дни в периода, разделен на броя на реализации на явлениято през периода) на: опасен вятър е веднъж на около 25 дни; опасен валеж – на около 21 дни; опасно висока температура – на около 7 дни; гръмотевична дейност – на около 5 дни. През около 18 дни е възможна едновременна реализация на няколко ОМЯ. Средният брой дни, през които се реализира поне едно от разглежданите ОМЯ, е малко над два дена.

Относителните честоти (в проценти) на реализации на ОМЯ (общ брой случаи за отделното ОМЯ, разделен на общия брой реализации на всички ОМЯ през периода), са, както следва: 38,6 % за гръмотевична дейност; 31,4 %

за висока температура; 10 % за опасен валеж; 8,2 % за опасен вятър; 11,8 % за едновременна реализация на няколко ОМЯ.

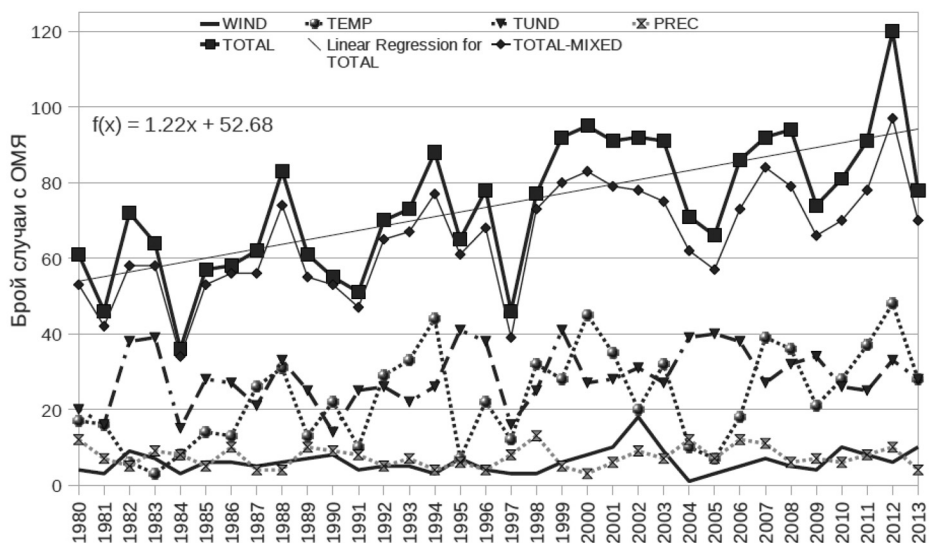
Таблица 1. Реализации на ОМЯ през топлото полугодие за периода 1980–2013 г.

Реализации на ОМЯ	Wind	Temp > 32 °C	Tund	Prec	Mixed	Всичко
Общо за 34 г. (5202 дни)	208	790	971	251	297	2517
%	4,0	15,2	18,7	4,8	5,7	48,4
Средно дни за година	6,1	23,2	28,6	7,4	8,7	74,0

Подробният анализ на данните за случаите с едновременна реализация на две или три ОМЯ (Mixed, 297 случая) показва, че най-често комбинацията е между висока температура и гръмотевична буря (104 случая), следвана от комбинациите: опасен вятър и висока температура (87 случая); гръмотевична буря и опасен валеж (54 случая); опасен вятър и гръмотевична буря (31 случая); опасен вятър и валеж (3 случая). В 18 случая е реализирана комбинацията опасен вятър, висока температура и гръмотевична буря.

На фиг. 1 е представен броят на реализациите на ОМЯ през разглеждания 34-годишен период. Очевидна е съществена междугодишна изменчивост на броя реализации на ОМЯ. Най-малко на брой са те през 1984 г. (36), а най-много са през 2012 г. (120). Средният брой на ОМЯ за периода 1980–1996 г. е 63, а за периода 1998–2013 г. е 87. На графиката на общия брой ОМЯ (фиг. 1) е видно значително нарастване броя на ОМЯ след 1997 г. Добре се вижда и нарастването на броя на едновременна реализация на няколко ОМЯ след 1999 г. (раздалечаването на двете криви в горната част на фиг. 1). Трябва да се отбележи и факта, че 1997 г. е последната година със средногодишни температури за България, значително по-ниски (с 0,94 °C) от нормалните за периода 1961–1990 г. [4]. Това са едни от причините в изложението по-долу да бъде правена съпоставка между реализациите на ОМЯ през двата периода. Допълнителни аргументи за това разделяне по периоди дава и проведения корелационен анализ, резултатите от който показват наличието на слаба зависимост между реализациите на отделните ОМЯ за целия разглеждан период, но при разглеждането по периоди се оказва, че в повечето случаи стойностите на линейния коефициент на корелация на Пирсън съществено се различават за двата периода. В някои случаи корелационната зависимост от слаба през единия период става значителна през другия, а в други случаи се променя знакът на корелацията – от положителна става отрицателна или обратно. Например стойността на линейния коефициент на корелация на Пирсън между случаите с гръмотевична дейност и опасна висока температура за периода 1980–1995 г. е –0,3, а за периода 2001–2013 г. е –0,69. Корелационните коефициенти за зависимостта между случаите с

гърмотевична дейност и опасен вятър са съответно 0,55 и -0,6. Критичната стойност на коефициента на Пирсън при 13 степени на свобода и ниво на значимост от 0,05 е 0,51.



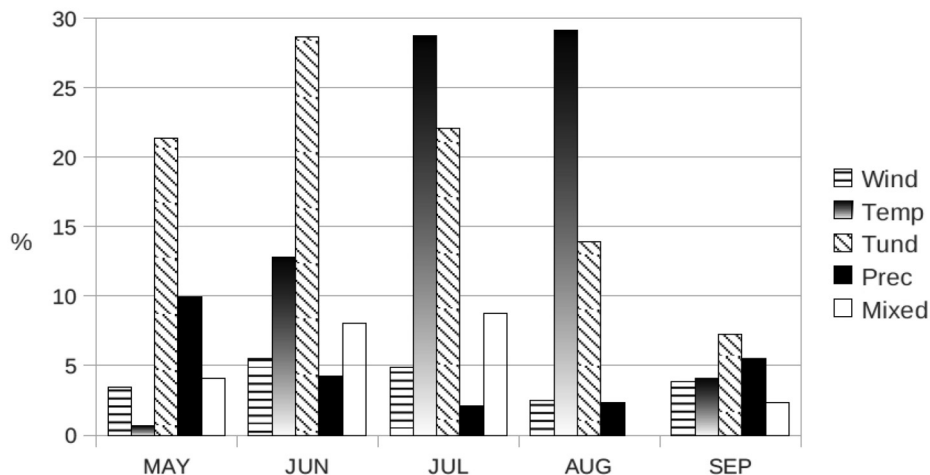
Фиг. 1. Брой случаи с ОМЯ за периода 1980–2013 г.

Оцененият линейен тренд на нарастване на общия брой на ОМЯ е 12,2 случая на десетилетие. Линейните трендове на нарастване на случаите с опасна температура, едновременно реализация на няколко ОМЯ, гърмотевична дейност, опасен вятър и опасни валежи са съответно 6,2; 2,8; 2,4; 0,7 и 0,13 за десетилетие.

3.2. РЕАЛИЗАЦИИ НА ОМЯ ПО МЕСЕЦИ

Повторяемостта на ОМЯ през топлото полугодие има съществени вариации между отделните месеци (фиг. 2). Месецът с най-много регистрирани ОМЯ е юли – общо 701 случая за разглеждания период от 34 години, т. е. в 66,5 % от дните през юли е наблюдавано поне едно ОМЯ. Следват месеците юни и август със съответно 604 и 505 случая (средно в 59,2 % и 47,9 % от дните през юни и август са регистрирани ОМЯ). През май регистрираните ОМЯ са 416 (39,5 %) и най-малко – 235 (23 %), са през септември. Показаните резултати на фиг. 2 се съгласуват добре качествено с тези от предишни изследвания [7]. Максимумът на дните с гърмотевични бури е през юни (вторични максимуми през юли и май). Най-голям е броят на дните с опасно високи температури през юли и август, а с опасни валежи – през май. Най-много са

дните с опасен вятър през юни, а на едновременна реализация на няколко ОМЯ – през юли.



Фиг. 2. Месечни реализации на ОМЯ в проценти

Съществено е да се отбележи, че през разглежданите месеци се променя не само общият брой на регистрираните ОМЯ, но и приносът на отделните ОМЯ в месечната сума. За месец май определящото опасно, авиационно-значимо метеорологично явление е гръмотевичната буря, следвано от опасен валеж. Опасно високи температури са регистрирани само 7 пъти през разглеждания 34-годишен период. През месец юни отново най-опасното авиационнозначимо метеорологично явление е гръмотевичната буря, но се наблюдава и съществено увеличение на случаите с опасно висока температура. Най-съществената промяна през месец юли е доминирането на случаите с високи температури, които надминават по брой случаите на гръмотевични бури. Тенденцията за намаляване броя на дните с опасен валеж се запазва и през юли. През август най-често реализираното ОМЯ продължава да бъде екстремно високата температура, докато честотата на поява на случаи с опасен вятър и гръмотевични бури намалява около 2 пъти, сравнено с юли. Интересно е да се отбележи отсъствието на реализирани комбинации от две или повече ОМЯ през август. През този месец най-вероятната комбинация от две ОМЯ би била тази с висока температура и гръмотевична буря. Анализът на данните показва, че доста често в години с много гръмотевични бури през месец август дните с опасно високи температури са малко и обратното, т. е. линейната корелация между реализациите на двете явления е умерена отрицателна (коефициентът на корелация на Пирсън е $-0,42$). Тази закономерност може да се обясни с констатациите на Латинов [7], според които намаляването на валежите през август и все още продължително

слънчево греене водят до изчерпване на запасите от влага в почвата, намаляване на топлинните загуби от изпарение и съответно до повишаване на приземната температура. Пониженото влагосъдържание в атмосферата от своя страна затруднява образуването на мощни купесто-дъждовни облаци и свързаните с тях гръмотевични бури. Обратно, ако влагосъдържанието на почвата е сравнително голямо, то тогава ще има възможност за развитие на купесто-дъждовна облачност, но температурата няма да се повиши над праговете 32 °С. Действително, резултатите от проведения корелационен анализ по данните за месец август показват съществуването на статистически значими зависимости между броя на гръмотевичните бури и средномесечната относителна влажност на въздуха (коэффициент на линейна корелация 0,57) и между средномесечните температури и валежи (-0,61). Очаквано високи са и коефициентите на корелация между броя на гръмотевичните бури и средномесечните валежи (0,62) и между средните температура и относителната влажност на въздуха (-0,75).

През месец септември е характерно рязкото намаляване на случаите с високи температури. Намаляват и гръмотевичните бури, а се наблюдава увеличение на опасните валежи. Както през май и юни, преобладаващото ОМЯ е гръмотевичната буря.

3.3. МЕЖДУГОДИШНА ИЗМЕНЧИВОСТ НА НЯКОИ МЕТЕОРОЛОГИЧНИ ЯВЛЕНИЯ И ЕЛЕМЕНТИ

От особен интерес за непосредственото военно метеорологично осигуряване е изследването на междугодишната изменчивост на реализацията на ОМЯ.

Физико-статистическият модел на системата за краткосрочна авиометеорологична прогноза ALFA [5] е разработен въз основа на данните (за периода 1980–1995 г.) в МБД на МЦ на ВВС. При оперативно внедряване на тази система през периода 1998–2000 г. и при оценка на резултатите прогноза–факт е установено, че в макромасштабната атмосферна циркулация над Европейския регион е настъпило съществено изменение. Следствие от това е увеличаването на честотата на наблюдаваните ОМЯ. Анализът на междугодишната изменчивост на редица метеорологични елементи и явления е необходима предпоставка за намиране отговор на въпроса доколко дискутираните глобални климатични промени [1] имат локално проявление в станции на територията на България. Оценка на тенденциите на изменение на средните стойности на метеорологичните елементи и на броя на реализираните ОМЯ ще позволи да бъдат направени и изводи за очакваните в близко бъдеще промени.

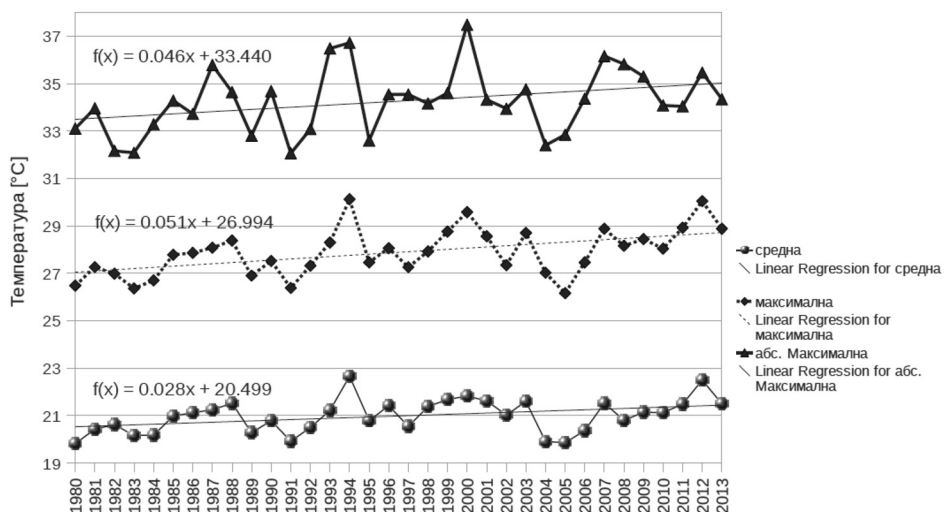
3.3.1. ТЕМПЕРАТУРА

На фиг. 3 са представени измененията на средната температура, средната максимална температура и средната от абсолютните максимални температури за месеците май–септември през периода 1980–2013 г. И на трите графики е виден тренд на нарастване на температурите през разглеждания период. Най-малък е линейният тренд на нарастване на средните температури (средна от средно-денонощните температури за топлия период на годината) – 0,28 °C за десетилетие. Той е в добро съответствие с оценките [4] по климатични данни (0,31 °C на десетилетие) за лятото (юни–август) за станцията на НИМХ в Пловдив за периода 1995–2012 г. Важно е да се отбележи, че този тренд е около 2 пъти по-малък от съответния за цялата територия на България [4].

В изследването на Димитрова [4] е показано, че трендът на повишение на максималните летни температури в България за периода 1995–2012 г. е около 2 пъти по-голям от този на средните температури. Аналогични резултати са получени и в настоящото изследване за по-дълъг период на разглеждане – 1980–2013 г. Линейният тренд на нарастване на средните за разглежданите месеци максимални температури е 0,51 °C на десетилетие. Трендът на нарастване на измерените абсолютни максимални температури (0,46 °C на десетилетие) е почти същият, както на средномесечните максимални температури (фиг. 3).

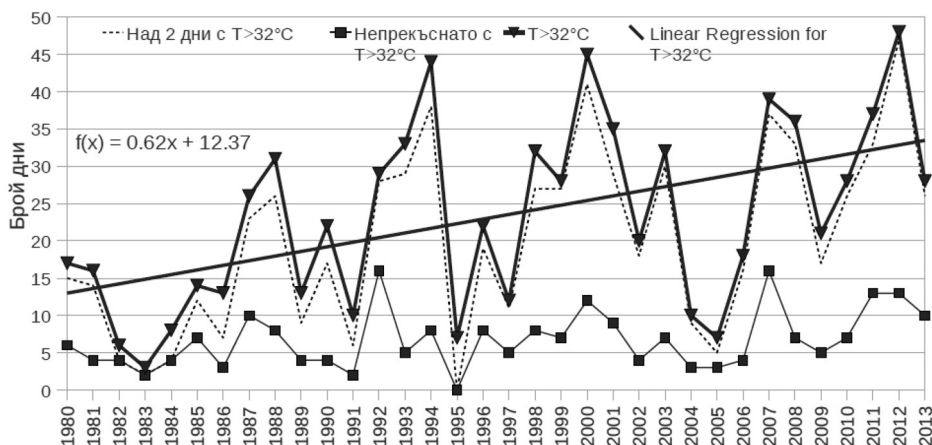
Както беше споменато в т. 3.1, съществува значителна разлика в броя на реализираните ОМЯ през периодите 1980–1997 г. и 1997–2013 г. Двата периода се различават и по средната им температура, средната максимална и абсолютна температура, които са съответно 20,8 °C; 27,5 °C и 33,9 °C за периода 1980–1997 г. и 21,2 °C; 28,3 °C и 34,6 °C за периода 1998–2013 г. Наблюдава се промяна на средните стойности на температурите за двата периода, като увеличението е между 0,42 °C за средните температури и 0,79 °C за средните максимални температури. На фиг. 3 се вижда, че всяко рязко застудяване/затопляне е последвано от рязко затопляне/застудяване и период от 3 до 5 години на неголеми колебания около новото средно ниво на температурата.

В предишни изследвания [3, 4] е показано, че изменението на температурите за територията на България се характеризира със значителна декадна изменчивост. Тези изводи са потвърдени и в настоящото изследване. На фиг. 3 се виждат 4 периода с продължителност от 7 до 9 години, през които температурите имат съществена междугодишна изменчивост, достигайки локални минимуми и максимуми.



Фиг. 3. Средна температура, средна максимална температура и средна от абсолютните максимални температури за месеците май–септември през периода 1980–2013 г.

В раздел 2 беше отбелязано, че от особена важност за авиометеорологичното осигуряване е открояването на тенденциите на изменение на случаите с температура над 32 °C. На фиг. 4 са представени графики на общия брой дни с измерени температури над 32 °C (в продължение на три и повече последователни часа), сумата на последователните дни (над 2 дни) с измерени температури над 32 °C и максималния брой дни без прекъсване с регистрирани температури над 32 °C. Добре изразена е линейната тенденцията на нарастване на общия брой дни с регистрирани температури над 32 °C – с около 6 дни на десетилетие. Средният брой дни с температури над 32 °C за периода 1980–1997 г. е 18, а за периода 1998–2013 г. е 29 дни. На фиг. 4 се виждат и добре изразени междугодишни колебания на броя дни с температури над 32 °C с локални минимуми през 1983, 1995 и 2005 г. и максимуми през 1994, 2000, 2007 и 2012 г. Прави впечатление рязкото нарастване на броя дни с температури над 32 °C след 2005 г. до достигането на абсолютния максимум от 48 дни през 2012 г., определящ за който е максимумът от 25 дни с температури над 32 °C през юли. Анализът на данните по месеци показва най-голямо увеличение на броя дни с температури над 32 °C през юли и август – линеен тренд на увеличение с около 2,5 дни на десетилетие. Средният брой дни с температури над 32 °C през месеците юли и август за периода 1998–2013 г. се е увеличил с около 5 дни за всеки месец, сравнено с периода 1980–1997 г.



Фиг. 4. Общ брой дни с температури над 32 °C. Брой последователни дни с температури над 32 °C

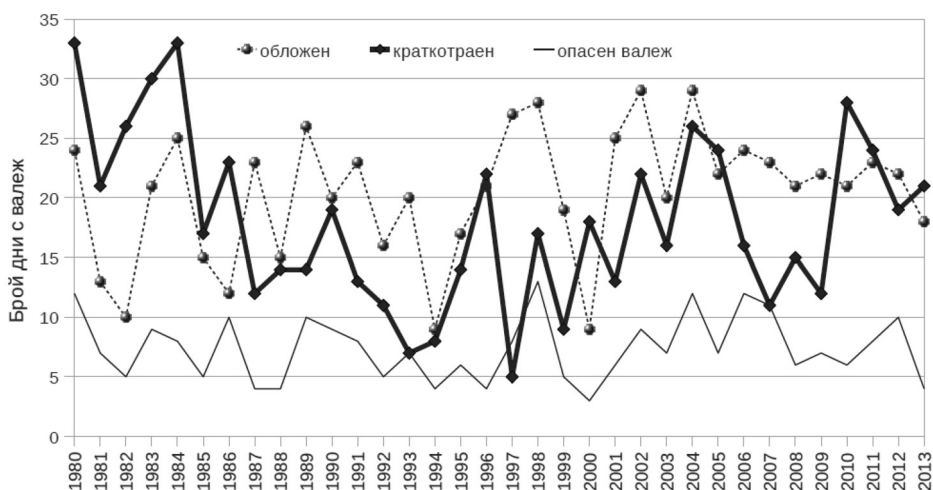
Нараства и броят на последователните дни с температури над 32 °C (сумирането е извършвано, при условие че поне в 2 поредни дни са измерени температури над 32 °C). Характерно за разглеждания период е намаляването на разликата между общия брой дни и броя на последователните дни с температури над 32 °C. Това показва, че броят на отделните дни с температури над 32 °C постепенно намалява и все по-често периодите с високи температури са групирани в серии от два и повече дни – на фиг. 4 добре се вижда доближаването на двете криви (плътната непрекъсната и пунктираната) през последните години на разглеждания период.

На фиг. 4 е представен и максималният брой на последователните дни (без прекъсване) с измерени температури над 32 °C. Задържането на високи температури за продължителни периоди от време представляват т. нар. горещи вълни, които са опасни както за авиационната техника, така и за хората. Средната продължителност на периодите със задържане на температурата над 32 °C се увеличава от 5,5 дни за периода 1980–1997 г. на 8 дни за периода 1998–2013 г. (линеен тренд за целия период от 1,5 дни на десетилетие). Най-дългите интервали от по 16 последователни дни с температури над 32 °C са регистрирани през август 1992 г. и юли 2007 г. Продължителността им е еднаква, но между тях има и съществени разлики. Например средната от дневните максимални температури за горещата вълна през 1992 г. е 34,3 °C, а през 2007 г. е съществено по-висока – 36,9 °C. Съответните абсолютни максимални температури за двата 16-дневни периода са 34,7 °C и 42,9 °C. Изложените факти и оценените тенденции показват, че през разглеждания период е налице все по-продължително задържане на опасно високи стойности на температурата, и то във все по-дълги интервали от време.

3.3.2. ВАЛЕЖИ И ГРЪМОТЕВИЧНИ БУРИ

Съгласно определението на СМО летните валежи могат да бъдат обложни, краткотрайни и краткотрайни от мощни купесто-дъждовни облаци с или без гръмотевични дейност, като за тяхното описание в SYNOP FM12 се използват различни кодове. От МБД на МЦ на ВВС чрез задаване на критерии за подбор са извлечени и анализирани данни за следните видове валежи: (1) опасен валеж – валеж, регистриран в повече от 6 последователни часа; (2) обложен валеж; (3) краткотраен валеж; (4) краткотраен валеж с гръмотевична буря.

В настоящото изследване валежите, определени като ОМЯ, са 251 случая, или около 19 % от всички 1305 случая с летни валежи през 34 годишния период. Обложните валежи са 692 случая. Краткотрайните са 559 случая и към тях трябва да се добавят 54 смесени случая на краткотраен валеж с гръмотевична буря. Изменението на броя дни с краткотраен, обложен и опасен валеж през разглеждания период е представено на фиг. 5. В началото на периода броят дни с краткотраен дъжд е голям, но бързо намалява (линеен тренд –12 дни на десетилетие) до достигането на минимума през 1997 г., след което преобладаващата тенденция е към нарастване (линеен тренд +6 дни на десетилетие).



Фиг. 5. Общ брой дни през топлото полугодие с обложен, краткотраен и опасен валеж за периода 1980–2013 г.

Броят дни с обложен валеж също има съществени междугодишни вариации. През периодите 1983–1995 г. и 2001–2013 г. е видно (фиг. 5) намаляване на броя дни с обложни валежи и рязко повишение на броя им през 1997–1998 г. За целия разглеждан период трендът е към увеличаване с 0,3 дни на десетилетие. След 2005 г. съществено намаляват междугодишните колебания на броя дни с обложни валежи (фиг. 5). Слабо нараства и броят дни с опасен

валеж – 0,13 дни за десетилетие. Последният се очаква да бъде свързан с броя на обложните валежи, доколкото продължителността им е по-голяма от тази на краткотрайните валежи. Проведеният анализ показва статистически значим линеен коефициент на корелация между броя дни с обложни валежи и броя дни с опасен валеж (0,61). Слаба е корелацията между броя дни с краткотрайни и опасни валежи (линеен коефициент на корелация 0,26).

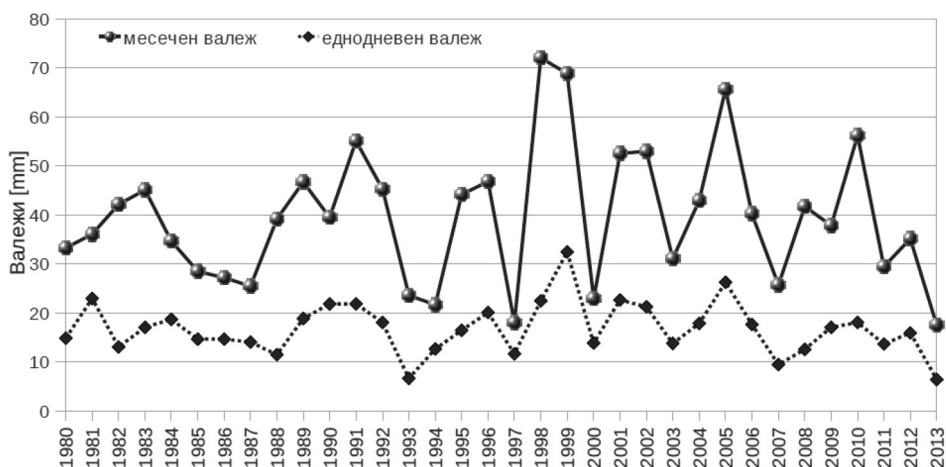
На фиг. 6. са представени измененията през разглеждания период на средния месечен валеж и средномесечния максимален еднодневен валеж за периода май–септември. Средният месечен валеж няма значим тренд на промяна за целия разглеждан период, но след 2004 г. се наблюдава съществено понижение на валежните суми през периода май–септември (с около 17 l m^{-2} на десетилетие). Това е в съответствие с констатирания в изследването на Димитрова [4] тренд на намаление на летните валежи за територията на България. Сравнението на резултатите от двете изследвания показва, че добре изразените на фиг. 6 максимуми на средните валежи през 2005 и 2010 г. съответстват на валежи над нормата за цялата територия на България, а максимумите през 1998 и 1999 г. са локални за района на летището край гр. Пловдив, докато средните валежи за цялата страна са под нормата. Наблюдаваният минимум през 1997 г. също е локален за района на летището, а за територията на България средните валежи са били малко над нормата.

Средното месечно количество валеж за месеците от топлото полугодие за разглежданото летище е около 40 l m^{-2} и е по-малко от средното за равнинните територии на България (около 50 l m^{-2}). На фиг. 6 се вижда съществена междугодишна изменчивост на валежа. Най-голям средномесечен валеж за разглежданите 5 месеца е измерен през 1998 г. (72 l m^{-2}), а най-малък – през 2013 г. (около 17 l m^{-2}). Най-голям е скокът на средните валежи – от 18 l m^{-2} през 1997 г. на 72 l m^{-2} през 1998 г.

Съществена е и изменчивостта на валежите през отделните месеци на топлото полугодие. Например най-голяма месечна сума валеж през май е регистрирана през 1998 г. – $192,2 \text{ l m}^{-2}$ (абсолютен максимум за разглеждания период от 34 години), а минимална през 2013 г. – $11,4 \text{ l m}^{-2}$. Нормата на валежите за май е 52 l m^{-2} . Около 2 пъти над нормалните са били и валежите през 1991 и 2012 г. (110 l m^{-2}). Най-дъждовен е бил юни през 1988 г. ($151,8 \text{ l m}^{-2}$), а най-сух – през 1997 г. (1 l m^{-2}). Най-голямо количество валеж през юли е измерено през 2005 и 2010 г. (съответно $120,1$ и $136,2 \text{ l m}^{-2}$ при норма 39 l m^{-2}). Максимален валеж през август е измерен през 2002 г. ($68,8 \text{ l m}^{-2}$), а през септември – 1996 г. (90 l m^{-2}) и 1998 г. ($89,7 \text{ l m}^{-2}$). През юли 2007 г. и септември 2013 г. не е регистриран валеж, а през август 2013 г. той е бил само $1,5 \text{ l m}^{-2}$.

Изброените максимуми и минимуми на месечните валежи в повечето случаи съответстват на екстремумите на графиките на фиг. 5 и 6. Това предполага, че в преобладаващия брой случаи високите месечните суми на валежите са формирани при наличието на валежи с интензивност, превишаваща значи-

телно нормалната. Типични примери за това са годините 2005 и 2010. За да бъде проверено това предположение, на фиг. 6 е представена и графиката на осреднения за периода май–септември максимален еднодневен валеж, измерен през всеки един от петте месеца. Линеиният коефициент на корелация на Пирсън между средномесечния валеж и средномесечния максимален валеж е 0,82, което показва, че близо 70% от валежните суми са натрупани при падането на проливни валежи. Вследствие на намаляването на средната интензивност на валежите е и наблюдаваното след 1999 г. намаление на средните месечни валежи (фиг. 6).



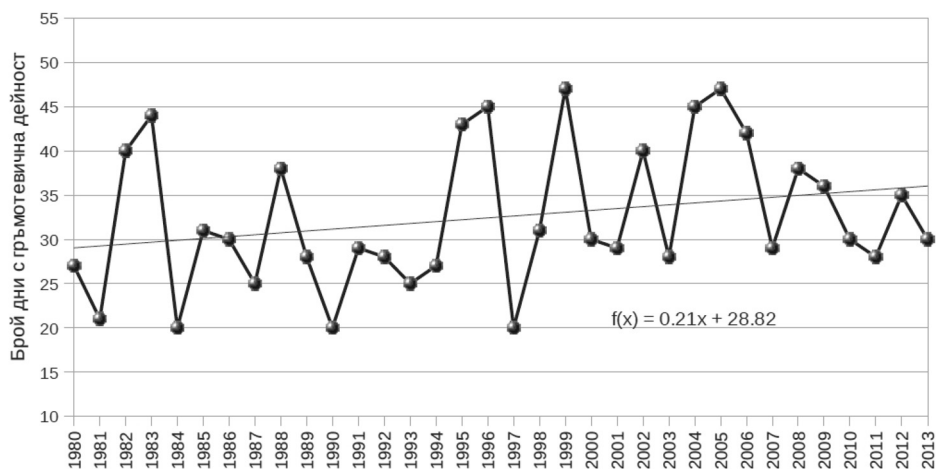
Фиг. 6. Среден месечен валеж и среден максимален еднодневен валеж за периода май–септември

Противоположна е тенденцията при абсолютната максимална интензивност на валежите. За разглеждания период от 34 години, най-голямото еднодневно количество валеж от 52 l m^{-2} е измерено през август 1999 г. През същата година е измерен и най-големият еднодневен валеж през септември – 40 l m^{-2} . За останалите месеци най-големи са били еднодневните валежи, както следва: за май – 42 l m^{-2} през 1998 г.; за юни – 42 l m^{-2} през 1992 и 2004 г.; за юли – 49 l m^{-2} през 2005 г. и 45 l m^{-2} през 2010 г. Очевидно е увеличаването на максималната интензивност на валежите след 1998 г. Важно е да се отбележи, че изброените максимални еднодневни валежи през юли, август и септември са значително над месечните норми, а през май и юни са около 80% от месечните норми.

Най-често проливните валежи през лятото са съпроводени и с интензивна гръмотевична дейност. Именно гръмотевичната дейност е най-опасното метеорологично явление за разглеждания район през периода май–септември. На фиг. 7 е предствен общият брой на дните с регистрирана гръмотевична

дейност, който е с около 14 % по-голям от броя на случаите с опасна гръмотевична дейност.

За целия разглеждан период е оценен линеен тренд на нарастване на случаите с гръмотевична дейност от 2,1 случая на десетилетие. На фиг. 7 се вижда съществена междугодишна изменчивост, характеризираща се с редуване на периоди от по няколко години с относително малка междугодишна амплитуда на изменение, следвани от резки скокове на броя на дните с гръмотевична дейност. Най-същественият скок е отново около 1997 година, след което няма година с регистрирани под 28 случая на гръмотевична дейност, докато през предходния период са наблюдавани три минимума с по 20 дни. През 1999 и 2005 г. са достигнати и най-високите максимуми на броя дни с гръмотевична дейност – 47. Независимо че след 2005 г. се забелязва известно намаляване (фиг. 7), средният брой дни с гръмотевични бури за периода 1980–1997 г. е 30, а за периода 1998–2013 г. са средно над 35 дни.



Фиг. 7. Общ брой дни с гръмотевична дейност за месеците май–септември

Разгледаните дотук тенденции на изменение на валежите и гръмотевичните бури през топлото полугодие на летището край гр. Пловдив показват значителна промяна на режима на метеорологичното време след 1997 г. За броя дни с обложни валежи, средните месечни валежни суми, средната интензивност на валежите и броя дни с гръмотевични бури е характерна тенденция за намаляване след резкия скок около 1997 г. Същата тенденция се наблюдава и за относителната влажност на въздуха. От друга страна, след 1997 г. е регистрирано увеличение на броя дни с краткотрайни валежи и на максималната интензивност на валежите. Взимайки предвид и нарастващите средни и максимални температури, увеличената продължителност на периодите с темпе-

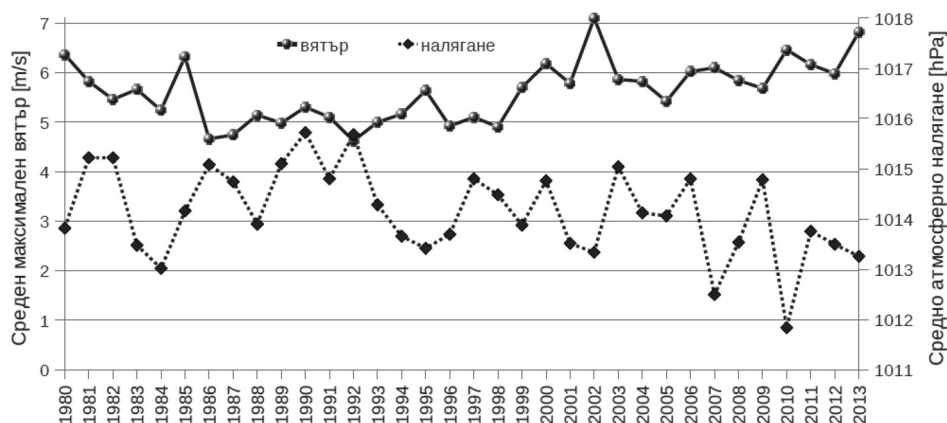
ратури над 32 °C и на броя на случаите с комбинация на две и повече ОМЯ, може да бъде направен изводът, че през периода 1998–2013 г. все по-често се наблюдават екстремни метеорологични условия – периоди на засушавания с високи температури и периоди с проливни валежи и гръмотевични бури.

3.3.3. ВЯТЪР

През разглеждания период от 34 години в 41% от едночасовите измервания през месеците май–септември е регистрирано тихо време. Най-голяма е повтаряемостта на ветровете със скорост между 3 и 5 m s⁻¹. Синоптичният опит показва [8, 9], че в условията на размито барично поле за Западната Тракийска низина през топлото полугодие е характерно циклонично завъртане на вятъра. По южната периферия на низината вятърът е от запад-югозапад, а по северната от югоизток-изток. По скорост той е до умерен с преобладаваща скорост 3–8 m s⁻¹ и не представлява особена опасност за провеждането на полетите.

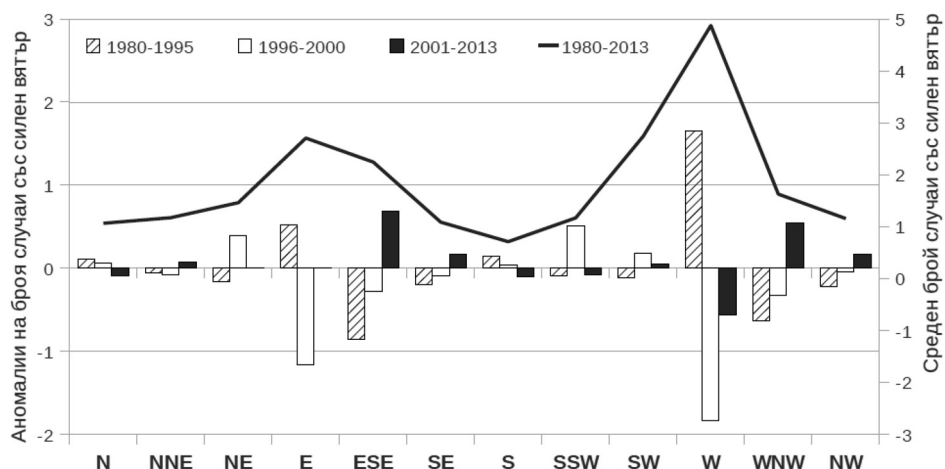
Общият брой случаи с вятър със скорост, по-голяма от 10 m s⁻¹, е 749, което представлява 1,02 % от едночасовите измервания с регистриран вятър. В 710 случая скоростта на вятъра е между 11 и 15 m s⁻¹, а само в 39 случая тя превишава 15 m s⁻¹. Анализът на синоптичните обстановки показва, че силните ветрове са свързани с приближаващи (посрещаш с посока от източната четвърт) и преминаващи атмосферни фронтове (предимно с посока от запад), като тези със скорост над 15 m s⁻¹ обикновено са свързани с преминаването на студен фронт от втори род и посоката им е от 260–280 градуса.

На фиг. 8 е представено изменението на средната от максималните денонощни скорости на вятъра и средното налягане през разглеждания период. В началото на разглеждания период се наблюдава постепенно намаляване на силата на средния максимален денонощен вятър, следва продължителен период на задържане на скоростта около 5 m s⁻¹, а след 1998 г. трендът е към увеличение на максималната скорост на вятъра с около 1 m s⁻¹ на десетилетие. Тенденциите в изменението на средното атмосферно налягане са общо взето противоположни на тези на максималната скорост на вятъра, което най-добре се вижда след 1997 г. (фиг. 8), когато започва устойчиво разминаване на разглежданите средни стойности. Коефициентът на линейна корелация на Пирсън е –0,5 и е статистически значим. Оценените линейни трендове за целия изследван период са +0,28 m s⁻¹ на десетилетие за максималната скорост на вятъра и –0,35 hPa на десетилетие за средното атмосферно налягане. Линейният тренд на намаление на средното атмосферно налягане за периода след 1997 г. е значително по-голям – около –1,3 hPa на десетилетие.



Фиг. 8. Средна от максималните денонощни скорости на вятъра и средно налягане

От изложеното дотук става ясно, че около средата на разглеждания период (1997–1998 г.) настъпват забележими изменения на броя на реализираните ОМЯ и на стойностите на редица метеорологични елементи. Измененията в някои случаи са по-резки, а в други по-плавни и са квазисинхронни – има известно закъснение между началните години на промяна на различните ОМЯ или метеорологични елементи, но общото е, че всички те се случват в периода 1996–2000 г. Това е основанието за условното разделяне на 34-годишния период на три части с продължителност от 16; 5 и 13 години. Първият период е от 1980 до 1995 г., вторият може да се нарече преходен период – 1996–2000 г., а третият е от 2001 до 2013 г. Това разделение е използвано при анализа на данните за случаите със силни ветрове (над 10 m s^{-1}). На фиг. 9 е представен средногодишният брой на случаите със силен вятър в зависимост от посоката му за целия разглеждан период и аномалиите от него за трите подпериода. Анализът на данните показва, че най-чести са силните ветрове над района на летището от посока запад, югозапад и изток. През периода 1996–2000 г. се наблюдава съществено намаляване на броя случаи със силен вятър от изток и запад и увеличение на силните ветрове от североизток (NE), югозапад (SW) и юг-югозапад (SSW). През периода 2001–2013 г. значително се увеличава повторемостта на силните ветрове от изток-югоизток (ESE) и запад-северозапад (WNW) и продължава намаляването на случаите на силни западни ветрове (фиг. 9).



Фиг. 9. Разпределение на силния вятър, над 10 m s^{-1} , в зависимост от посоката му за периода 1980–2013 г. и аномалии от това разпределение за трите разглеждани подпериода

Трябва да се има предвид, че при анализа на данните за вятъра е използвано разделяне по посоки през 30° (12 посоки) и разликите с използваните означения от 16-румбовата скала на посоката на вятъра са между $2,5$ и 10° . При използването на това отместване по посока е взет предвид и фактът, че пистата на разглежданото летище е с 10° отклонение от направление изток-запад.

Вятърът, характеризирен като ОМЯ, представлява около 25 % от случаите със силен вятър със скорост над 10 m s^{-1} . Посоката на опасния вятър е от северните и южните сектори. На фиг. 9 се вижда относително нарастване на броя на силните ветрове от северозапад и югоизток през последните 13 години на разглеждания период. Имайки предвид и нарастващата през този период средна скорост на максималния вятър (фиг. 8), може да се направи изводът, че макар и малко на брой, случаите с опасен вятър продължават да бъдат една от опасностите при осъществяване полетите на летището. През последните 13 години нараства и междугодишната изменчивост на появата на опасен вятър, като през 2002 г. е регистриран максимален брой от 18 случая, а през 2004 г. – минимален от само 1 случай. През 2001, 2010 и 2013 г. са регистрирани по 10 случая с опасен вятър, докато максимумът им за периода 1980–1995 г. е 9 през 1982 г.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

От направените в настоящото изследване анализи е констатирано нарастване през последните 34 години на общия брой на опасните за авиацията

метеорологични явления и стойности на метеорологични елементи – с 12,2 случая на десетилетие. Най-съществено е нарастването на броя на случаите с опасна температура, едновременна реализация на няколко ОМЯ и гръмотевична дейност. Наблюдава се съществена междугодишна изменчивост на броя на реализациите на ОМЯ. Около средата (1997–1998 г.) на разглеждания период настъпват забележими изменения на броя на реализираните ОМЯ и на стойностите на редица метеорологични елементи. През периода 1980–2013 г. е регистрирана тенденция на повишение на средните и максималните температури, а също така и на средната продължителност на периодите със задържане на температурата над 32 °С. От началото на разглеждания период броят дни с валеж намалява, но след средата на периода преобладаващата тенденция е към нарастване. Средният месечен валеж няма значим тренд на промяна за целия разглеждан период, но след 2004 г. се наблюдава понижение на валежните суми и намаляване на средната интензивност на валежите, а се увеличава максималната интензивност на валежите. За целия разглеждан период е оценен линеен тренд на нарастване на случаите с гръмотевична дейност. През втората половина на разглеждания период се наблюдава постепенно увеличаване на средната скорост на максималния денонощен вятър, промяна в посоката му и едновременно с това намаляване на средното атмосферно налягане.

Оценените тенденции на изменение на метеорологичните елементи и явления в района на летището край гр. Пловдив показват, че настъпилите глобални климатични изменения имат своето проявление и за територията на България. То е най-добре забележимо през втората половина на разглеждания период, когато рискът за поява на някое от анализирания ОМЯ се е увеличил с около 25 % спрямо началото на периода. Най-вероятно причините за наблюдаваните изменения са свързани с преустройство на атмосферната циркулация над Европейския регион в края на XX и началото на XXI век.

Установеното нарастване на честотата на поява на опасните, авиационно значими явления и елементи в една метеорологична станция е достатъчно основание за разширяване обхвата на изследването и за други станции на територията на България. Актуалността на такъв тип изследвания се определя от необходимостта за разработване на нова методика за климатично описание с цел отслабване на влиянието на климатичните промени върху националната сигурност и икономика.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] IPCC, Climate Change 2013. Cambridge University Press, 2013.
- [2] Syrakova, M., V. Mateev. *Bulgarian Geophysical Journal*, 2009, **35**, 33.
- [3] Александров, В. Климатични промени: състояние на проблема, научни изследвания в БАН и България. БАН, София, 2008.
- [4] Димитрова, Д. Изменения на средните температури и валежи в България за периода 1995–2012 год. Дипломна работа, МП „Метеорология“, СУ „Св. Кл. Охридски“, 2014.
- [5] Райков, Р. Автоматизирана система за локална краткосрочна авиометеорологична прогноза. Издателство на Министерството на отбраната, София, 1998.
- [6] Наставление на метеорологичната служба в авиацията на Република България. Военно издателство, София, 1981.
- [7] Латинов, Л. Характерни особености на климата и времето над Балканския полуостров. Национален институт по метеорология и хидрология, София, 2004.
- [8] Празников, М. и колектив. Авиационно-климатично описание на Балканското стратегическо направление. Военно издателство, София, 1982.
- [9] Стефанов, Ст. и колектив. Типове време над България. *Трудове на ИХМ*, **VII**, София, 1960.