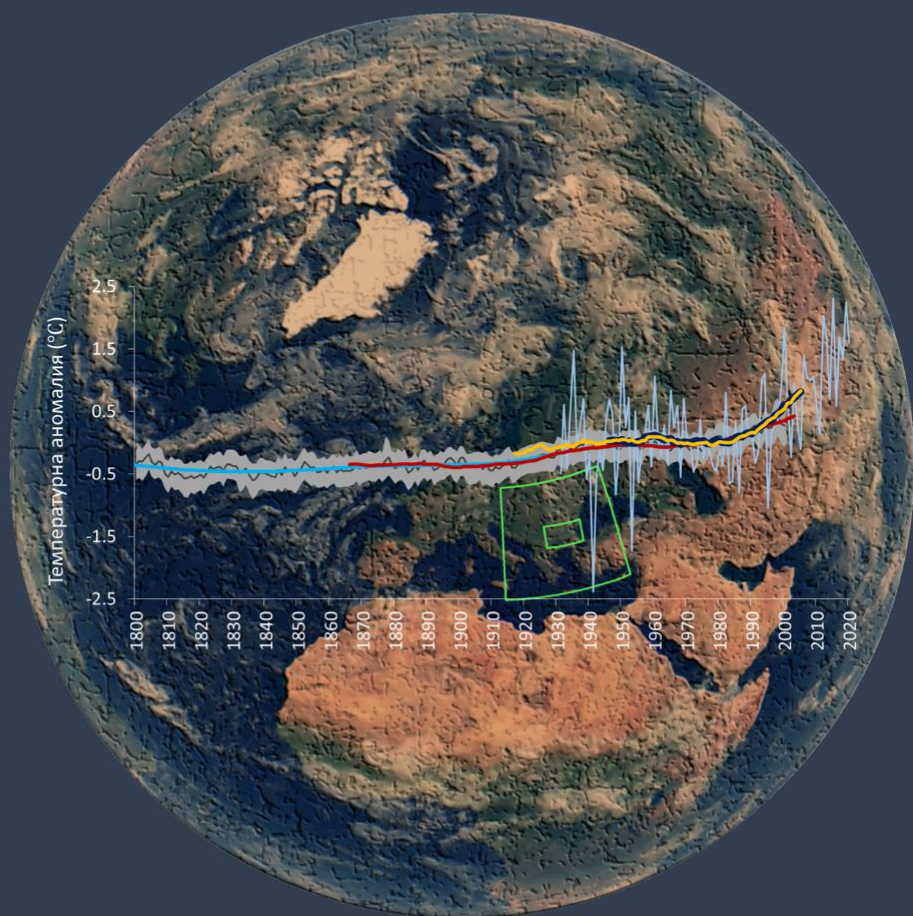


Променящият се климат на България – данни и анализи



Променящият се климат на България – данни и анализи

под редакцията на проф. Таня Маринова и
доц. Лилия Бочева

Национален институт по метеорология и хидрология
София, 2023

Променящият се климат на България – данни и анализи

под редакцията на проф. Таня Маринова и доц. Лилия Бочева

© НИМХ, 2023

Увод: Лилия Бочева и Кръстина Малчева

Глава I: Кръстина Малчева (I.1, I.2, I.3), Анелия Гочева (I.1, I.2), Христо Червенков (I.3)

Глава II: Кръстина Малчева (II.1, II.2.1, II.2.2, II.2.5.1, II.2.5.2, II.2.5.3, II.2.5.5), Лилия Бочева (II.2.1, II.2.2, II.2.5.3), Христо Червенков (II.2.1, II.2.5.1), Веска Георгиева (II.2.3, II.2.5.5, II.2.5.6), Валентин Казанджиев (II.2.3.1, II.2.3.3, II.2.5.5), Камелия Крумова (II.2.4), Елена Божилова (II.2.4), Мая Ранкова (II.2.4), Снежанка Балабанова (II.2.5.4), Ирена Илчева (II.2.5.5), Красимира Любенова (II.2.5.5)

Глава III: Христо Червенков (III.1, III.4, III.5.1), Рилка Вълчева (III.1, III.4, III.5.3), Лилия Бочева (III.1), Кръстина Малчева (III.1, III.4, III.5.1), Валентин Казанджиев (III.2), Веска Георгиева (III.2), Снежанка Балабанова (III.3, III.5.2), Ерам Артинян (III.3)

Заклучение: Лилия Бочева и Кръстина Малчева

Корица © Кръстина Малчева, 2023

Всички права са запазени.

Всяко разпространяване извън Закона за авторското право и сродните му права, както и размножаване, микрофилмиране и преработка в различни електронни системи не е разрешено от Националния институт по метеорология и хидрология.

ISBN 978-954-90537-3-9

СЪДЪРЖАНИЕ

УВОД.....	5
ГЛАВА I. КРАТКО ВЪВЕДЕНИЕ В ТЕМАТА ЗА КЛИМАТА И КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ	9
I.1. Климат, климатична система и климатични промени	9
I.2. Хипотези за климатичните промени	12
I.3. Моделиране на климата и климатични сценарии	14
ГЛАВА II. КЛИМАТЪТ В МИНАЛОТО И НАСТОЯЩЕТО	18
II.1. Глобални и регионални особености	18
II.2. Климатът на България	23
II.2.1. Обща характеристика	23
II.2.2. Средна температура на въздуха и валежи	29
II.2.3. Агрометеорологични изследвания	33
II.2.3.1. Топлинни условия и изменение на сумите на валежите през вегетационния период	33
II.2.3.2. Изменение на почвените влагозапаси	35
II.2.3.3. Изменение на евапотранспирацията	38
II.2.4. Хидроложки изследвания	38
II.2.5. Екстремни явления – анализ и тенденции	45
II.2.5.1. Климатични индекси	45
II.2.5.2. Горещи вълни	49
II.2.5.3. Екстремни валежи	51
II.2.5.4. Наводнения	54
II.2.5.5. Суша	56
II.2.5.6. Слани	62
ГЛАВА III. КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ ДО КРАЯ НА ВЕКА	65
III.1. Очаквани промени на средната температура на въздуха и валежите	65
III.2. Изменение на агроклиматичните условия в близкото бъдеще	69

III.3. Влияние на климатичните промени върху водните ресурси	74
III.4. Влияние на климатичните промени върху енергопотреблението и енергийния потенциал на вятъра и слънчевата радиация	78
III.5. Оценка на честотата на бъдещи екстремни климатични явления	82
III.5.1. Горещи вълни	82
III.5.2. Наводнения	83
III.5.3. Климатични проекции на опасни явления по кодовете на Meteoalarm	85
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	89
ЛИТЕРАТУРА	94
ИЗПОЛЗВАНИ АКРОНИМИ И СЪКРАЩЕНИЯ	104

УВОД

Ежедневното, общоприето разбиране за изменение на климата е, че то описва глобалното затопляне и неговите ефекти върху климатичната система. Всъщност глобалното затопляне е само един от аспектите на климатичните промени през холоцена – съвременната геоложка епоха, започнала преди около 12 000 години. Но също така е безспорно, че от индустриалната революция (1750–1850 г.) насам в много райони на Земята се наблюдава затопляне и средните температури са се повишили значително, особено през последните 30-40 години. По данни на Световната метеорологична организация (СМО) десетилетието 2011–2020 г. е най-топлото в световен мащаб, като от 80-те години на ХХ век всяко следващо десетилетие е по-топло от предходното. Измерванията и анализите на Националния институт по метеорология и хидрология (НИМХ), който е официален представител на България в СМО, показват, че тези тенденции са типични и за нашата страна.

Климатичните промени постепенно се осъзнават като основен проблем пред човечеството. Световната здравна организация (СЗО) нарича изменението на климата най-голямата заплаха за глобалното здраве през ХХІ век. Климатичната миграция с нейните тежки последици, включително възникване на военни конфликти, се очертава като все по-реална перспектива. Антропогенният натиск върху климатичната система, свързан с увеличените емисии на парникови газове, аерозоли и прахови частици в атмосферата, изсичането на горите, агресивното земеползване, мащабното строителство и др., вече се разглежда не като потенциална, а като много вероятна причина за повишаването на температурите в глобален мащаб и промените в криосферата, както и за все по-честите и по-екстремни метеорологични и климатични явления, с тежки социално-икономически последици. Негативният ефект на човешката дейност върху климата не може и не бива да се пренебрегва, но е от изключително значение глобалните тенденции да бъдат оценени правилно на регионално ниво, за всяка отделна държава, тъй като изменението на климата в различните части на земното кълбо има различни проявления.

Необходимостта от навременна и качествена климатична информация и прогноза в много области, като селско стопанство, енергетика, транспорт, проектиране на съоръжения и строителство, управление на водните ресурси и на риска от бедствия, превърна климатологията в една от най-динамично развиващите се приложни науки. Решаващата роля на климатичния мониторинг и климатичните прогнози при планирането на мерки за адаптация към климатичните промени и устойчиво развитие е утвърдена в Рамковата конвенция на ООН за изменението на климата (WMO, 2018).

Активното участие на НИМХ в редица проекти, финансирани по европейски програми, за оценка на въздействието на климатичните промени върху околната среда, селското стопанство, водните ресурси и др., както и в разработването на стратегии за смекчаване и адаптация, е показател за нивото на научната и научно-

приложната дейност в института (<http://www.meteo.bg/bg/projects>, <https://hydro.bg>, <http://www.meteo.bg/bg/otcheti>, <https://cris.nacid.bg/public/organization-preview/130>).

В 133-годишната история на НИМХ климатичните изследвания са имали винаги специална роля поради безспорното им научно-приложно значение както за развитието на самата климатология в България, така и за прилагането на физически обоснован подход при изготвяне на климатични анализи и оценки за различни икономически сектори. Прецизен преглед на научните публикации през годините е направен в монографията „История на климатичните изследвания в Националния институт по метеорология и хидрология“ (Брънзов, ред., 2020). Около началото и през първото десетилетие на XXI век в наши и международни издания са публикувани редица интересни, съвременни изследвания, свързани с климатичните промени – „Проучване върху изменчивостта на годишните и сезонни валежи над Балканския полуостров“ (Koleva et al., 1998), „Климатична вариабилност и климатични промени в България през XX век“ (Alexandrov et al., 2004), „Сушата в българските низини през XX век“ (Koleva, Alexandrov, 2008), „Глобалното изменение на околната среда: предизвикателства за науката и обществото в Югоизточна Европа“ (Alexandrov et al., Eds., 2010), „Колебания и изменение на климата и свързаните с тях въздействия върху агроecosystemите в Югоизточна и Централна Европа и в югоизточните части на САЩ“ (Alexandrov et al., 2011) и др.

Внедряването на числения модел ALADIN през 1997 г. като оперативен прогностичен модел, създаването на климатичната версия (ALADIN-Climate) по-късно и развитието на методите за интерпретация на симулациите, както и възможността да се използва директно реанализът ERA-40 в климатичния модел, утвърждават численото моделиране на регионалния климат като мощен инструмент за изследване на климатичните промени (Spiridonov et al., 2004; 2005). В рамките на проекта CECILIA (Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment, <http://www.cecilia-eu.org>) моделът ALADIN-Climate е използван за климатични симулации на близкото (2021–2050 г.) и далечното (2071–2100 г.) бъдеще при сценария SRES A1B. На по-късен етап в научноизследователската програма на НИМХ се включва и започва да се използва активно регионалният климатичен модел RegCM4 (Вълчева, 2019).

Успешното международно сътрудничество в областта на моделирането на глобалния и регионалния климат доведе до безпрецедентен свободен обмен на данни, методики и програмни средства, което позволява изчерпателен и многопосочен анализ на климатичните промени, основан изцяло на такъв тип ресурси – читателят може да добие представа от Chervenkov et al. (2020 a, b). Този подход е използван в следващите раздели на книгата както за периода на съвременния климат (при анализа на циркулационните условия и климатичните индекси), така и за проектния бъдещ климат (по отношение на температурата на въздуха, валежите, екстремните горещини, климатичните индекси и сумарния годишен отток).

Основна цел при изследването на климатичните промени и тяхното отражение върху агроклиматичните ресурси е изготвянето на съвременно агроклиматично райониране (Kazandjiev et al., 2015). Адаптираните за агрометеорологичните условия на България числени модели на агроекосистеми позволяват разработването на различни варианти на технологични решения за управление на устойчиво земеделско производство (Kazandjiev&Georgieva, 2006; Moteva et al., 2015).

Оценката на влиянието на климатичните промени върху повърхностните и подземните водни ресурси и уязвимостта на водоснабдяването е задача от стратегическо значение. Първото по рода си цялостно изследване на водните ресурси на България и възможностите за тяхното използване е свързано с изготвянето на генерални схеми за използване на водите на речните басейни (Сантурджиян, 2003; Спасов и др., 2003; Герасимов и Божилова, 2003). Оценката на ресурсите по водни тела (Ninov et al., 2017), разработените нови подходи за интегриран анализ за целите на Рамковата директива за водите и Натура 2000 (Маринов и др., 2012; Pcheva et al., 2019) и за рационално управление на язовирите в България (Niagolov et al., 2014) се използват успешно на национално и басейново ниво.

Основната цел на представения тук обзорец анализ е да допринесе за по-ясното разбиране на климатичните промени в България, като запознае читателите с резултатите от изследванията на учените и специалистите от НИМХ, публикувани през последните 10-15 години в реферирани издания у нас и в чужбина. Постарали сме се да обобщим на разбираем език тези резултати в контекста на основните направления на научно-приложната дейност на НИМХ – метеорология, хидрология и агрометеорология. Климатичните промени имат много аспекти на локално проявление, които са обект на научните изследвания и научно-приложните разработки на НИМХ в областта на атмосферното замърсяване, прогнозирането на опасни явления, хидрогеологията и др., но тук сме се опитали да представим една по-обща картина на изменението на климата в България както в историческа перспектива, така и през следващите десетилетия до края на XXI век.

Книгата е предназначена за широк кръг читатели. Глава I представлява кратко въведение към темата за климата, климатичните промени и съвременните научни изследвания, свързани с тях. Глава II е посветена на климата в миналото и настоящето, като вниманието е насочено основно към вариациите и изменението на климата в България. В глава III са обобщени очакваните промени в метеорологичните, хидрологичните и агрометеорологичните условия в близкото и по-далечното бъдеще за района на България при симулации с различни климатични модели и за различни климатични сценарии. Заключението обобщава представените резултати, с акцент върху очакваните изменения на климата до края на века.

В основата на тази книга стои една нова публикация, разглеждаща дългосрочните изменения на сезонните характеристики на температурата на

въздуха и валежите в България (Малчева и др., 2023), синтезирана информация от която е включена във всички глави. Климатът на България през първата половина на XX век в раздел П.2 е представен чрез откъси (също в синтезиран вид) от монографиите „Климатичните райони на България и техният климат“ (Събев и Станев, 1959) и „Климатът на България“ (Станев и др., ред., 1991). Постарали сме се по-голямата част цитирана литература да е достъпна онлайн.

ГЛАВА I. ВЪВЕДЕНИЕ В ТЕМАТА ЗА КЛИМАТА И КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ

I.1. Климат, климатична система и климатични промени

Съгласно съвременното ниво на познание, климатът има глобален характер и не е просто съвкупност от отделни локални климати, а различните климатични условия са негови проявления. Механизмите, които формират климата (обулавящи неговото разнообразие и контролиращи неговите колебания и изменения), са част от сложен комплекс на взаимодействия и обратни връзки, развиващи се в широк диапазон от пространствено-времеви мащаби, в резултат на множество физични, химични и биологични процеси. Разработването на теорията на климата става обект на математическата физика чрез използването на мощните инструменти на физико-математическото моделиране, без това да изключва възможностите на класическата климатология и нейните методи за анализ и оценка на регионалните климатични закономерности и особености. В съответствие с тези схващания е и общоприетото съвременно определение за климат от Конференцията по физични основи на климата и климатично моделиране, проведена в Стокхолм през 1974 г. (WMO&ICSU, 1975):

„Климатът е статистически ансамбъл от състояния, през които преминава системата атмосфера-хидросфера-литосфера-криосфера-биосфера за периоди от порядъка на няколко десетилетия“.

Неравномерният приток на енергия от Слънцето е първопричината за възникването на климатичните различия на Земята, както и да се класифицират факторите, които го обуславят – астрономически, геофизически, космически, външни и вътрешни, радиационни (виж напр. Nikolov&Petrov, 2014). Процесите, имащи отношение към формирането на климата на планетата като динамично-равновесно състояние на климатичната система с нейните пет взаимносвързани компонента – атмосфера, литосфера, хидросфера, криосфера и биосфера, са процеси на непрекъснат приток, натрупване, пренасяне и разход на топлина и се управляват в крайна сметка от общите физични закони – за излъчване, поглъщане, запазване на енергията и количеството движение и т.н.

При описанието и оценката на разнообразните климатични условия е широко използвано групирането и класифицирането на климатообразуващите фактори като радиационни, циркулационни, физико-географски и антропогенни. Съгласно една най-опростена схема на тяхното взаимодействие, за основни (водещи) в процеса на климатообразуване се приемат радиационните фактори, понеже имат решаващо значение за възникването на всички процеси, от които зависят времето и климатът. Количеството слънчева радиация, постъпващо на земната повърхност (инсолацията), зависи от излъчвателната способност на Слънцето, разстоянието Земя–Слънце и височината на Слънцето над хоризонта, която е различна за различните части на земното кълбо, а поради геодната (почти сферична) форма

на Земята нейният денонощен и годишен ход може да се проследи удобно спрямо географската ширина.

Неравномерното разпределение на потока енергия от Слънцето – най-напред на горната граница на атмосферата (т.нар. соларен климат), а след многократно разсейване, отражение и поглъщане също и на земната повърхност – се явява първопричина за формирането на въздушни течения в атмосферата. Физико-географските условия оказват съществено влияние върху атмосферната циркулация, посредством която се осъществява вертикален и хоризонтален обмен на различни по свойства въздушни маси и преразпределение на запасите от топлина и влага. Географската ширина лимитира инсолационния поток, но с увеличаването на надморската височина се наблюдават изменения, които могат да са толкова значими, че да елиминират нейната роля. Различните физични свойства на сушата и океана са причината за възникването на местна циркулация, която се наслаждава към общата атмосферна циркулация – планинските системи променят въздушните течения, а сложният релеф става причина за формирането на различни регионални и локални климатични особености. От значение за климатообразуващите процеси е и видът на подложната повърхност.

Климатът на даден географски район се изменя естествено с времето, поради което климатичните характеристики обикновено се оценяват за крайни времеви интервали от порядъка на няколко десетилетия (30 години според препоръките на СМО). Човешката дейност, изразена най-вече чрез замърсяването на атмосферата (пряко свързано с парниковия ефект), промените в естествения ландшафт и вида на подложната повърхност, както и активирането на допълнителни източници на топлина, слага съществен отпечатък върху сложния комплекс от взаимодействия и обратни връзки, формиращи климата. Кумулативният ефект от въздействието на антропогенните фактори може да е толкова значителен, че климатичните изменения да излязат извън мащаба на локалните климатични аномалии и колебания.

Климатичната зоналност (разпределението на различните типове климат по паралелите) се дължи преди всичко на астрономически и геофизични причини, обуславящи зоналното разпределение на постъпващата слънчева радиация. Простата схема на соларния климат обаче се усложнява значително под влияние на атмосферната циркулация и особеностите на подложната повърхност. Съществуват множество климатични класификации въз основа на различни критерии за систематизиране на многообразните климатични условия на планетата. В зависимост от това дали се основават на проявленията на климата, свързани например с особеностите на разпространение на различните видове растителност, или на закономерностите при формирането на един или друг тип климатични условия, класификационните системи се подразделят на емпирични и генетични (най-популярни са тези на В. Кьопен и Б. Алисов).

Класификацията на Кьопен датира от края на XIX век и независимо че има известни недостатъци, си остава една от най-сполучливите и удобните както поради сравнително доброто съответствие между климатичните и растителните

зони, така и поради достъпността на метеорологичната информация, която използва (Poulter et al., 2011; Rohli et al., 2015; Beck et al., 2018). Кьопен развива концепцията за климатичните типове, търсейки биоклиматични прилики между отдалечени райони по света чрез прости климатични индикатори за разграничаване на растителните зони, като използва същите индикатори в ясно структурирана класификационна схема, за да очертае границите на съответните климатични зони (Köppen, 1936).

Класификацията на Алисов е представена най-напред през 1936 г., доразвита е в неговата докторска дисертация „Генетична класификация на климата“, а към средата на миналия век е разработена по-детайлно (Алисов, 1936; 1950). Тя се основава на географските типове въздушни маси, които се формират при характерни инсоляционни и циркулационни условия и особености на подложната повърхност. Във всяко полукълбо се разграничават екваториални, тропични, на умерените ширини, полярни въздушни маси и съответните им климатични пояси. Границите между основните типове въздушни маси се наричат климатични фронтове (тропичен, на умерените ширини и полярен), които през лятото се изместват към полусите, а през зимата – към екватора, и по този начин се разграничават още поясите на субекваториален, субтропичен и субполярен климат.

Колебанията на климата отразяват неговата естествена изменчивост и представляват временни аномалии, макар и понякога твърде големи, с връщане към равновесното състояние и смяна на посоката на отклонението. Изменението на климата предполага преход към ново климатично равновесно състояние. За по-късите времеви интервали (от порядъка на десетилетия) не може да се установи дали изменението на климатичните характеристики е резултат от изразена тенденция, при това свързана с промени в климатообразуващите фактори, поради което е прието да се говори за колебания (вариации) на климата.

През последните няколко години се наблюдава нарастващ научен интерес към „приписването“ на екстремни събития (*event attribution*) и оценка на влиянието на човешката дейност или други фактори върху вероятността за проява на екстремни условия на времето и климата. Все още обаче има много случаи, при които качеството на наличните данни от наблюдения или симулациите от климатичните модели не е достатъчно добро, за да се правят категорични изводи относно влиянието на изменението на климата върху дадено събитие. Необходимостта от подобрения на моделните симулации и надеждността на прогнозите за тези събития е безспорна, тъй като общественият интерес е голям – и ако не му се отговори научно, ще бъде отговорено ненаучно (van Oldenborgh et al., 2021).

Редиците от данни за времето и климата са с ограничена дължина и регистрирането на едно безпрецедентно събитие не означава, че климатът се е променил. Ако дадено метеорологично или климатично събитие е наистина екстремно в настоящия климат, то е продукт на необичайни метеорологични условия, а изменението на климата е само допринасящ фактор. Антропогенното затопляне на атмосферата е свързано с освобождаване на повече латентна топлина

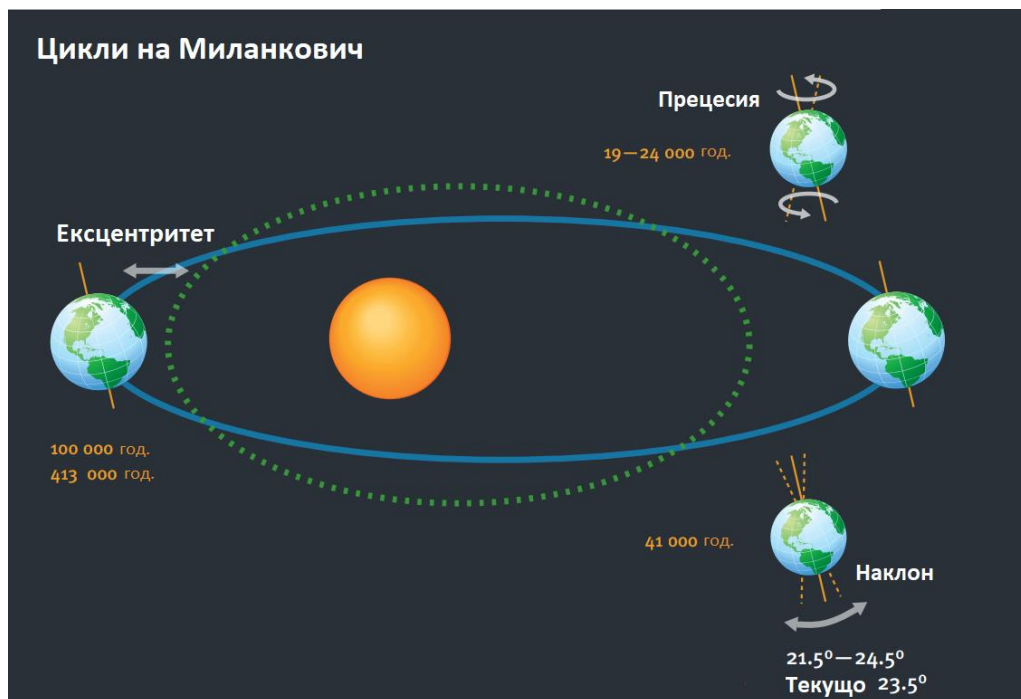
при конвективните процеси, което води до повече бури, по-екстремно време и повече валежи като цяло. Но, от друга страна, основна характеристика на глобалното затопляне е тенденцията на намаляване на температурния градиент полюс-екватор. Изменението на климата несъмнено влияе на времето и екстремните климатични условия, но както знакът, така и мащабът на ефекта трябва да се оценяват за всеки отделен случай (Shepherd et al., 2016).

1.2. Хипотези за климатичните промени

Съществуват много и различни хипотези за климатичните промени в историческото минало на планетата. Астрономическите хипотези ги разглеждат като следствие от измененията на елементите на земната орбита (Berger et al., 1993). Физическите хипотези свързват измененията на климата с промени в инсолационния поток, предизвикани от физични процеси в самото Слънце, както и от промени в състава на земната атмосфера и развиващите се в нея процеси (Gray et al., 2010). Геофизическите хипотези търсят причините за изменение на климата в променящия се физико-географски облик на Земята (епейрогенните движения, промените в конфигурацията на континентите, измененията в нивото на Световния океан, формирането на планински масиви; de Wit, 2007). Като цяло всяка хипотеза, обяснявайки добре едни факти, не е в състояние да обясни други, не по-малко важни.

Изследването и надеждната оценка на влиянието на променливостта в състава и интензитета на постъпващата към Земята слънчева радиация върху климата е от съществено значение за ограничаване на несигурността на оценките за човешката дейност като потенциално обяснение за глобалното затопляне. Множество проучвания показват, че тези вариации водят до промени в глобалния и регионалния климат, към които се наслагва антропогенното въздействие. Те предполагат нееднакви реакции на климатичната система в регионален мащаб, но климатичните модели възпроизвеждат адекватно затоплянето от края на XX век само когато се включи антропогенното въздействие в допълнение към естествената изменчивост (Gray et al., 2010). Статистическият анализ позволява в климатичните данни да се идентифицират десетилетни и стогодишни сигнали за вариации в постъпващата слънчева радиация. Доказателства за годишната, десетилетната или столетна променливост в слънчевата активност се откриват в записите на слънчевите петна и полярните сияния; в хилядолетни времеви мащаби доказателства могат да бъдат намерени в записите на космогенни радионуклиди (радиоизотопи) в ледени ядра, на дървесни пръстени и океански седименти. Дългосрочните орбитални промени се разглеждат като спусък за ледниково-междуледникови преходи, а техният ефект се усилва от механизмите за обратна връзка в климатичната система. Затоплянето на планетата при увеличаване на слънчевото излъчване вероятно води до освобождаване на метан и въглероден диоксид от запасите в океаните и ледените шапки и тези парникови газове могат след това да предизвикат допълнително затопляне (Haigh, 2011).

Един от потвърдените слънчево-климатични механизми включва директния ефект на промените в ултравиолетовата радиация върху стратосферния озон и свързаните с това промени в стратосферните температури и глобалната циркулация. Цикличните вариации в палеоклиматичните записи с периоди от около 19, 24, 41, 100 и 413 хиляди години са познати като цикли на Миланкович (на името на геофизика, който прави първото подробно изследване на връзките между климата и орбиталните вариации) – фиг. I.2-1.



Фиг. I.2-1. Схема на движението на Земята около Слънцето, показваща ключовите параметри ексцентритет, наклон и прецесия. Адаптирано по: [Haigh \(2011\)](#)



Фиг. I.2-2. Температурна аномалия, изведена от записи на изотопа ^{18}O в ледено ядро от Антарктида (станция „Восток“). Адаптирано по: [Petit et al. \(1999\)](#)

Общото количество слънчева енергия, достигащо до Земята за даден период от време, се определя от геометрията на земната орбита. Степента, в която тя се различава от кръга, се измерва чрез нейната елиптичност (или ексцентритет), която варира с времето и има максимална стойност от около 6%, но за текущия цикъл е по-ниска (~1.7%). Това означава, че северното полукълбо получава около 7% по-малко радиация през лятото и 7% повече през зимата, отколкото южното през еквивалентните сезони, тъй като Земята е по-близо до Слънцето през януари, отколкото през юли. Ексцентритетът варира с периоди от около 100 000 и 413 000 години поради гравитационното влияние на Луната и планетите (фиг. I.2-2). Наклонът на земната ос варира циклично с период от около 41 000 години, а прецесия (посоката, в която е насочена оста на въртене на Земята) – с период между 19 000 и 24 000 години. Разпределението на постъпващата слънчева радиация върху земната повърхност се определя от наклона и прецесията (Haigh, 2011).

I.3. Моделиране на климата и климатични сценарии

Според Междуправителствената група по изменение на климата (IPCC), създадена през 1988 г. под егидата на Програмата на ООН за околната среда (UNEP) и Световната метеорологична организация (WMO), глобалното затопляне през XX век се дължи до голяма степен на човешката дейност, усилваща парниковия ефект чрез увеличените емисии на парникови газове и аерозоли в атмосферата. Докладите за оценка на климатичните промени (Assessment Reports, AR) обобщават научния напредък в моделирането на климатичната система под въздействието на естествени и антропогенни фактори (IPCC, 2001; 2007; 2014; 2021a). Числените модели на общата атмосферна циркулация, отчитащи физическите процеси на взаимодействие на атмосферата с другите елементи на климатичната система (хидросфера, литосфера и криосфера), се утвърдиха като подходящи инструменти за симулиране на минал, настоящ и бъдещ климат (Sillmann&Röckner, 2007). В поредните фази на международната инициатива CMIP (Coupled Model Intercomparison Project) за изследване на резултатите от числените симулации на глобални циркулационни модели (General Circulation Models, GCM) се включват все повече групи за моделиране на климата от цял свят (Taylor et al., 2012; Eyring et al., 2016).

Симулирането и прогнозирането на въздействието на антропогенните фактори върху глобалния климат при различни сценарии за социално-икономическо развитие предоставя количествени оценки на бъдещото изменение на климата с приемлива достоверност, особено в континентален и по-голям мащаб. По този начин изменението на климата се превръща във все по-централна тема на всички нива на вземане на решения, а осигуряването на качествена информация и инструменти, които подпомагат разработването на планове и стратегии за адаптиране и смекчаване на последиците от изменението на климата, се реализира чрез програми и проекти с големи публични инвестиции, каквато е например

програмата на Европейския съюз за наблюдение на Земята „Коперник“ (Copernicus, <https://climate.copernicus.eu>).

Глобалните модели са със сравнително ниска хоризонтална резолюция, която не им позволява да „уловят“ ефекта на дребномащабните форми на релефа, вида на подложната повърхност и човешката дейност. За по-детайлно изследване на промените в даден район се използват основно два подхода:

(1) Динамично намаляване на мащаба (*dynamical downscaling*) с помощта на регионални климатични модели (Regional Climate Models, RCM) с по-висока хоризонтална резолюция, което се базира на концепцията за еднопосочна телескопизация (one way nesting). Граничните условия за района на интегриране на уравненията на термо-хидродинамиката в регионалния климатичен модел се осигуряват (форсират) от метеорологичните полета на глобалния модел. Недостатък на този подход е, че регионалните модели „унаследяват“ систематичната грешка на глобалните модели, осигуряващи им начални и гранични условия. Регионалните климатични модели, които основно се използват в НИМХ, са описани по-подробно във [Вълчева \(2019\)](#):

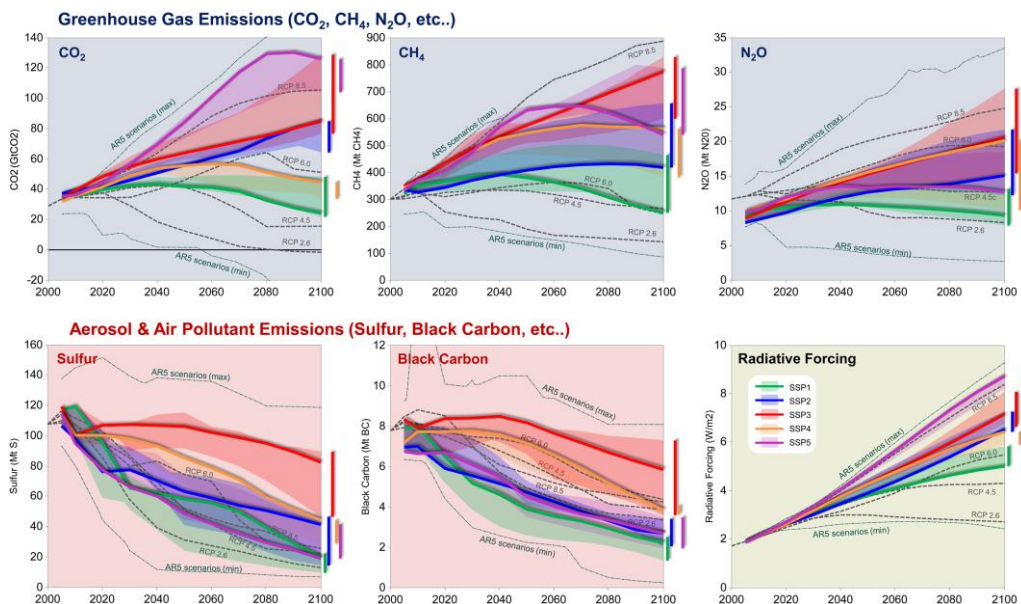
- ALADIN (акроним от френски: Aire Limitée Adaptation Dynamique développement InterNational; [Spiridonov et al., 2005](#); [Farda et al., 2010](#)) и
- RegCM4 (Regional Climate Model, [Giorgi et al., 2012](#)).

(2) Статистическо намаляване на мащаба (*statistical downscaling*), което използва различни статистически методи за моделиране на количествените връзки между историческите данни от метеорологични наблюдения и изхода на климатичния модел за същия исторически период, като например класифициране на типовете време (*weather typing*), генератори на метеорологично време (*weather generators*) и регресионни модели (*regression models*) – вж. [Wilby et al. \(2004\)](#). Тези методи намират широко приложение поради значително по-малкия изчислителен ресурс, който изискват, и възможността за значително (почти неограничено) намаляване на мащаба. Основен техен недостатък е предположението за стационарност на количествените връзки и структурата на статистическия модел.

Концепцията за климатичните сценарии е с около 40-годишна история, като досега са разработени пет поколения групи сценарии, представени в поредицата доклади на IPCC. Най-популярно понастоящем е четвъртото поколение – Representative Concentration Pathways (RCPs), използвано в петия оценъчен доклад ([Moss et al., 2010](#)). Съществуват четири RCP сценария: RCP2.6 (оптимистичен), RCP4.5 и RCP6.0 (реалистични) и RCP8.5 (песимистичен), като числото в името отразява промяната към 2100 г. на радиационното въздействие (W/m^2) върху климатичната система спрямо прединдустриалния период 1850–1900 г. Оптимистичният сценарий предвижда достигане на максимална концентрация на парникови газове около 2050 г., реалистичните – стабилизиране на нивата към 2100 г., а песимистичният – продължаващо увеличение на концентрациите и след този времеви хоризонт (главно в резултат на значителна употреба на изкопаеми горива). За разлика от предходните три поколения RCP сценариите отчитат явни

политики за смекчаване на антропогенното въздействие – дори RCP8.5 предвижда намален темп на емисиите след 2050 г. При всички сценарии се предвижда и съществено намаление на атмосферните аерозоли, но единствено реализацията на оптимистичния сценарий предполага постигане на основните цели на Парижкото споразумение от 2015 г. (<https://www.un.org/en/climatechange/paris-agreement>) към Рамковата конвенция на ООН по изменение на климата, а именно – ограничаване на глобалното затопляне до 2 °C към 2050 г. (респективно 1.5 °C към края на века) спрямо периода преди индустриализацията.

Новото поколение климатични сценарии на „споделените социално-икономически пътища“ (SSP) е разработено за последния оценъчен доклад AR6 на IPCC ([IPCC, 2021a](#)). Нивата на радиационно въздействие са аналогични на RCP сценариите, но се въвежда и форсиране от 1.9 W/m², което дава представа за възможния климатичен отговор за постигане на целите на Парижкото споразумение. Сценариите SSP са проектирани да функционират в комбинация с RCP, като сюжетните линии позволяват наслабяването на различни политики в областта на климата, за да се представи влиянието на избора на политики при постигането на целта за радиационно въздействие в края на века, посочена в RCP. Емисиите варират между сценариите в зависимост от хипотезите за социално-икономическо развитие и нивата на смекчаване на изменението на климата ([Riahi et al., 2017](#)) – фиг. I.3-1.



Фиг. I.3-1. Глобални емисии и глобална средна промяна в радиационното въздействие. Базовите SSP сценарии (и диапазони на SSP) са сравнени с RCP и пълния диапазон от сценарии на AR5. Източник: [Riahi et al. \(2017\)](#)

При SSP сценариите с високи и много високи емисии на парникови газове (SSP3-7.0 и SSP5-8.5) емисиите на CO₂ приблизително се удвояват спрямо настоящите нива съответно до 2100 г. и 2050 г.; при сценариите с междинни емисии на парникови газове (SSP2-4.5) емисиите на CO₂ остават около текущите нива до средата на века; при сценариите с много ниски и ниски емисии на парникови газове емисиите на CO₂ намаляват до нетната нула около или след 2050 г., последвани от различни нива на нетни отрицателни емисии (SSP1-1.9 и SSP1-2.6).

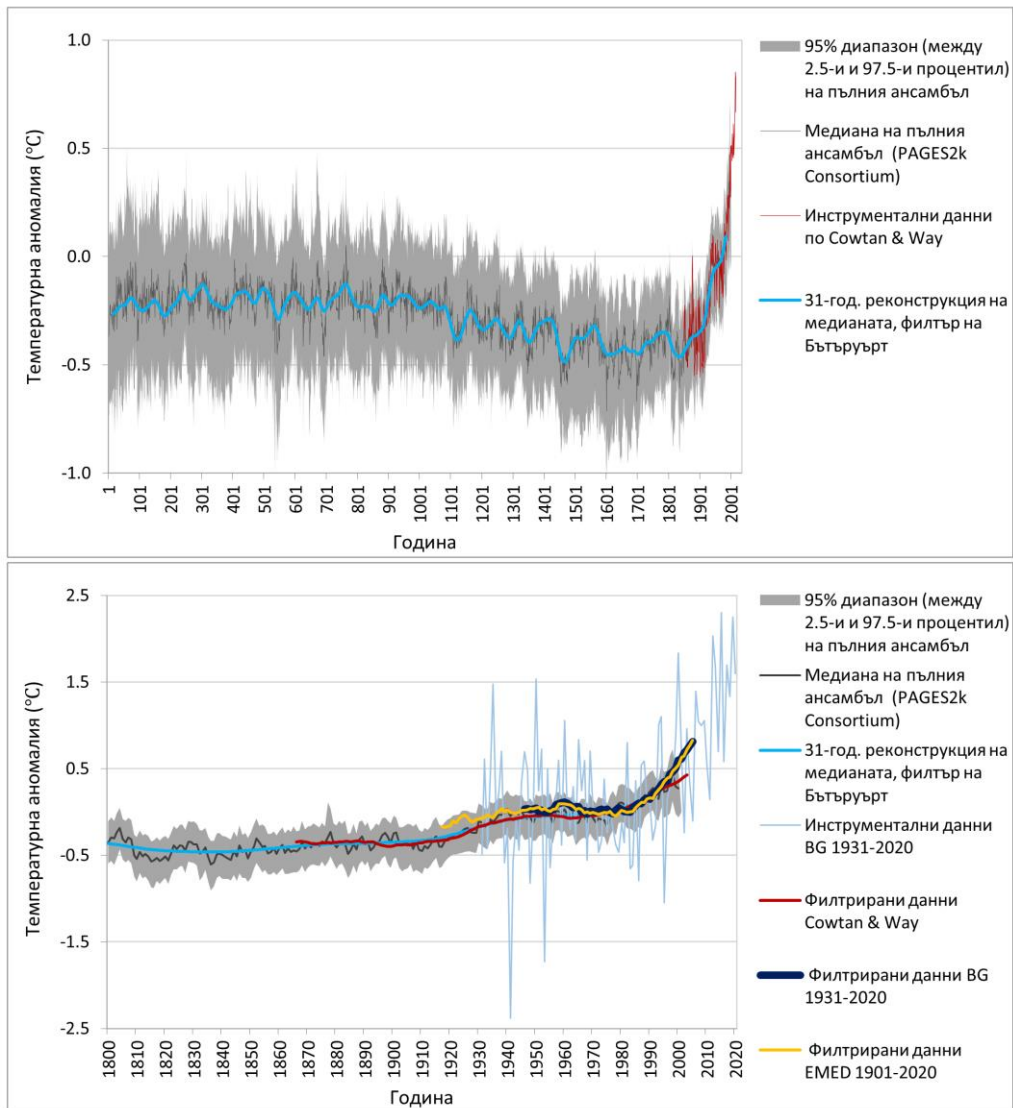
SSP сценариите са сходни и със старите SRES сценарии, използвани в третия и четвъртия доклад на IPCC ([Pedersen et al., 2021](#)). Фокусираният върху устойчивостта SSP1 е доста подобен на сценария B1, SSP2 е подобен на B2; глобално фрагментираният SSP3 е близък до A2, а разчитащият на изкопаеми горива SSP5 споделя много елементи със SRES сценариите за бърз растеж, предвиждащи както високи (A1F1), така и средно високи и ниски кумулативни емисии поради различната степен на енергиен преход (A1B и A1T).

ГЛАВА II. КЛИМАТЪТ В МИНАЛОТО И НАСТОЯЩЕТО

II.1. Глобални и регионални особености

Колебанията на температурата на повърхността на Земята възникват не принудено в климатичната система, но могат да бъдат предизвикани (форсирани) от естествени, както и от антропогенни фактори. Разграничаването им е от съществено значение за оценката на амплитудата на непринудената променливост и чувствителността на климатичната система към различните форсиращи фактори. Реконструкциите на глобалната средна температура (ГСТ) на повърхността на планетата използват глобални колекции от чувствителни към температурата палеоклиматични „записи“ в корали, полени, ледени ядра, дървесни пръстени, пещерни образувания, седименти и др. Познаването на флукуациите на ГСТ в миналите епохи е от решаващо значение за разбирането на бъдещото изменение на климата. Инструменталните наблюдения обхващат твърде кратък исторически период, което увеличава несигурността на оценката на относителния принос на различни форсиращи фактори и на способността на климатичните модели да възпроизвеждат наблюдаваните климатични явления. Въпреки че повечето глобални температурни реконструкции потвърждават изключителната скорост и мащаб на затоплянето през последните десетилетия, съществуват значителни несъответствия между тях по отношение на амплитудата и отчасти в датирането на миналите температурни колебания. Проектът „Минали глобални промени“ (Past Global Changes, PAGES) използва седем различни статистически метода за реконструкция на ГСТ през последните 2000 години (1–2000 г. от н.е.) и подобрената версия на HadCRUT4 (Cowtan&Way, 2014) като референтен набор от данни.

Глобалната и регионалната дългосрочна температурна променливост като цяло са подценени или надценени от CMIP5 моделите при климатичните симулации на близкото минало според анализа на PAGES 2k Consortium (2019). Еволюцията на ГСТ показва, че първото хилядолетие е било по-топло от второто, с изключение на XX век (фиг. II.1-1). Всички реконструкции показват значителна тенденция на охлаждане през второто хилядолетие преди 1850 г., последвана от бързо затопляне през индустриалната ера. Най-топлият 10-, 30- и 50-годишен период от последните две хилядолетия попада във втората половина на XX век. По-специално, дългосрочната тенденция в рамките на XX век включва два различни периода. Първият отразява затоплянето в началото на века, за което е доказано, че се дължи на комбинация от форсиращи фактори (вкл. антропогенни) и на естествената многодесетилетна променливост на климатичната система. Вторият е съвременният период на силно затопляне, който продължава от средата на 70-те години до днес. Температурните тенденции през тези два периода са извън обхвата на прединдустриалната променливост.



Фиг. П.1-1. Горе: годишна аномалия на ГСТ през Новата ера (1–2020 г.) спрямо нормата за периода 1961–1990 г. Долу: годишна аномалия на средната за страната температура в периода 1931–2020 г. (BG 1931-2020), средната за EMED температура в периода 1901–2020 г. (EMED 1901-2020) и на ГСТ в периода 1800–2020 г. спрямо нормата за периода 1961–1990 г.; средната годишна температура е изчислена за периода май-април (например средната годишна температура за 2020 г. е изчислена от май 2020 г. до април 2021 г.); медианата и 95% диапазон (между 2.5-и и 97.5-и процентил) на ГСТ са изчислени върху пълния ансамбъл от реконструкции по всички данни и методи на PAGES (www.ncdc.noaa.gov/paleo/study/21171); данните са филтрирани с 31-годишна пълзяща средна стойност, ако не е посочено друго.

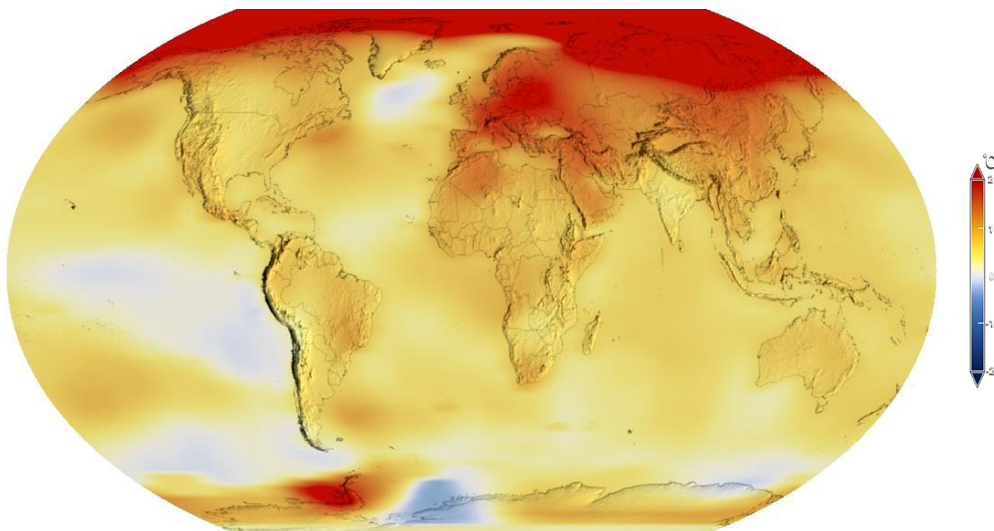
Топлите аномалии около 1320, 1420, 1560 и 1780 г., студените аномалии около 1260, 1450 и 1820 г. и периодите на намалена променливост по време на студения XVII век и относително топлия XI век са уловени както от реконструкциите, така и от симулациите. Тези прилики между реконструкции и модели предполагат доминиращо влияние на външното форсиране върху многодесетилетната променливост на ГСТ. Корелацията на CMIP5 с данните е особено силна между 1300 и 1800 г. По-слабото съгласуване преди 1300 г. може да се обясни главно с недооценяване на влиянието на вулканичната дейност (например изригването от 1109 г., което е последвано от отчетливо намаление на ГСТ, липсва в наборите от моделни данни). Несъответствията през XIX век вероятно се дължат на надценения от симулациите отговор на изригванията от 1809 и 1815 г. Връзката между слънчевото форсиране и ГСТ е по-слаба, което предполага, че слънчевата променливост (както е реконструирана в момента) не може да обясни вариациите на температурата през Новата ера, въпреки че е открита в многодесетилетни времеви мащаби на регионално ниво, както и в многовековни времеви мащаби в Северното полукуълбо.

На фиг. II.1-1 (долу) е представена по-детайлна картина на температурните аномалии след 1800 г. За България средната температура в периода 1931–2020 г. (BG 1931-2020) е изчислена по данни от измервания, а средната регионална температура в периода 1901–2020 г. (EMED 1901-2020) – по набора данни CRU TS4.07 (<http://badc.nerc.ac.uk/data/cru>). В случая EMED обозначава западната част на региона на Източното Средиземноморие (35° N – 50° N; 15° E – 35° E), в която попада Балканският полуостров. Прави впечатление значимата корелация между инструменталните и реконструирани данни, както и същественото нарастване на скоростта на затопляне в EMED през последните десетилетия. Представените резултати потвърждават, че наблюдаваните изменения на температурата в България следват регионалните тенденции.

Последните доклади на СМО за състоянието на глобалния климат (WMO, 2021; 2022) посочват, че 2016, 2019 и 2020 г. са трите най-топли години за целия период на метеорологични наблюдения¹. Десетилетието 2011–2020 г. е най-топлото в световен мащаб, като от 80-те години на XX век всяко следващо десетилетие е по-топло от предходното. През 2022 г. планетата е била с 1.15 ± 0.13 °C по-топла спрямо прединдустриалния период, което я нарежда сред 6-те най-топли години от 1850 г. насам (фиг. II.1-2).

Въпреки че сезонните температури се повишават през всяко следващо десетилетие, степента на затопляне варира както в рамките на сезоните, така и между десетилетията. Промените на валежите по сезони и десетилетия също са очевидни, но няма ясна тенденция, както при температурата. Променливостта в сезонното разпределение на температурата и валежите подсказва, че изменението на климата до края на века в различните региони, сезони и десетилетия вероятно ще следва различни модели (Allen et al., 2018).

¹ Според предварителния доклад на СМО за състоянието на глобалния климат се очаква 2023 г. да бъде най-топлата от 1850 г. насам (<https://www.un.org/en/climatechange/reports>).



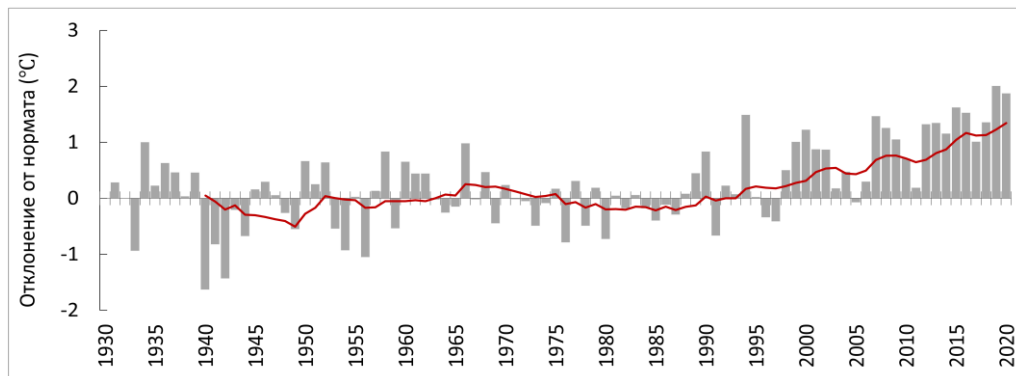
Фиг. П.1-2. Карта на температурната аномалия на средната годишна температура за 5-годишния период 2018–2022 г. спрямо температурните норми, изчислени за 30-годишния базов период на НАСА 1951–1980 г. Източник: NASA's Scientific Visualization Studio, <https://svs.gsfc.nasa.gov/5060>

В региона на Източното Средиземноморие преобладава обща тенденция на затопляне, най-силно изразена от 80-те години на миналия век (Xoplaki et al., 2003; Alexandrov et al., 2004; Philandras et al., 2008; Toreti et al., 2010). Летните температури са основен фактор на тази тенденция, свързана както с увеличаване на дългосрочните средни стойности, така и с увеличаване на броя на екстремните топлинни събития (Kostopoulou and Jones, 2005; Bartolini et al., 2012). Летните горещини, които рядко са се случвали в периода 1961–1990 г. и дори в края на ХХ век, могат да станат норма към средата или края на века (Lelieveld et al., 2012). Като цяло регионът се оказва „гореща точка“ на климатичните промени, застрашен е също от продължителни тежки суши (Giorgi, 2006; Diffenbaugh et al., 2007; ЕЕА, 2017).

Колебанията на средногодишната температура на въздуха в България в периода 1931–2020 г. спрямо климатичната норма 1961–1990 г. показват нарастваща, статистически значима тенденция от 0.14 °C/10 г. До средата на 80-те години на миналия век отклоненията от нормата варират от -1.6 °C (1942 г.) до +1.0 °C (1934 г.), с редуващи се периоди на застудяване и затопляне, докато от началото на настоящия век на практика няма отрицателни отклонения от нормата (с изключение на 2005 г.), а след 2011 г. няма и такива по-малки от 1 °C. Температурната аномалия от +2 °C за 2019 г. е рекордна в разглеждания 90-годишен период (фиг. П.1-3).

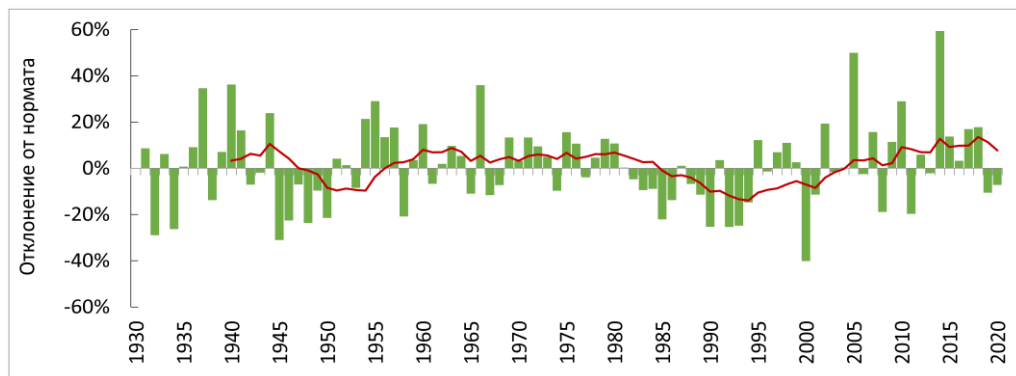
Дългосрочното изменение на температурата е в съответствие с наблюдаваната тенденция в световен мащаб (IPCC, 2014; 2021a). Затопляне се установява през всички сезони. Статистически значимите положителни тенденции на средните

температури за януари и февруари (+0.25 °C/10 г.) определят добре изразената тенденция на повишаване на зимните температури с +0.19 °C/10 г. Пролетта също показва тенденция към затопляне с около +0.17 °C/10 г., но от пролетните месеци само през март то е статистически значимо (+0.30 °C/10 г.). Повишаването на летните температури с +0.16 °C/10 г. се определя от статистически значимата тенденция на затопляне през юни, юли и август (+0.15, +0.12 и +0.18 °C/10 г., съответно). Есенните температури не следват ясна тенденция през разглеждания период, но от началото на века те също нарастват.



Фиг. П.1-3. Колебания на средногодишната температура в периода 1931–2020 г. спрямо нормата за периода 1961–1990 г. Червената линия показва 10-годишната пълзяща средна стойност.

Колебанията на годишната сума на валежа в периода 1931–2020 г. спрямо нормата (1961–1990 г.) не показват статистически значима тенденция. Най-дългите периоди на засушаване са регистрирани през 40-те години и последните две десетилетия на XX век (фиг. П.1-4).



Фиг. П.1-4. Колебания на средната за страната годишна сума на валежа в периода 1931–2020 г. като отклонение от нормата за периода 1961–1990 г. Червената линия показва 10-годишната пълзяща средна стойност.

Най-сухите години са 1945 и 2000 г., а най-валежни – 2005 и 2014 г. (50-60% над средната за страната норма). По-значителен зимен валежен дефицит (до 50-60% под сезонната норма) се наблюдава през 70-те и 90-те години на ХХ век. Летните валежи като цяло намаляват през последните две десетилетия на миналия век, но за целия разглеждан период не се установява статистически значим тренд. Летният валежен дефицит достига максимум през 2000 г. – 64% под нормата. От началото на ХХІ век се наблюдава нарастваща тенденция главно при есенните валежи.



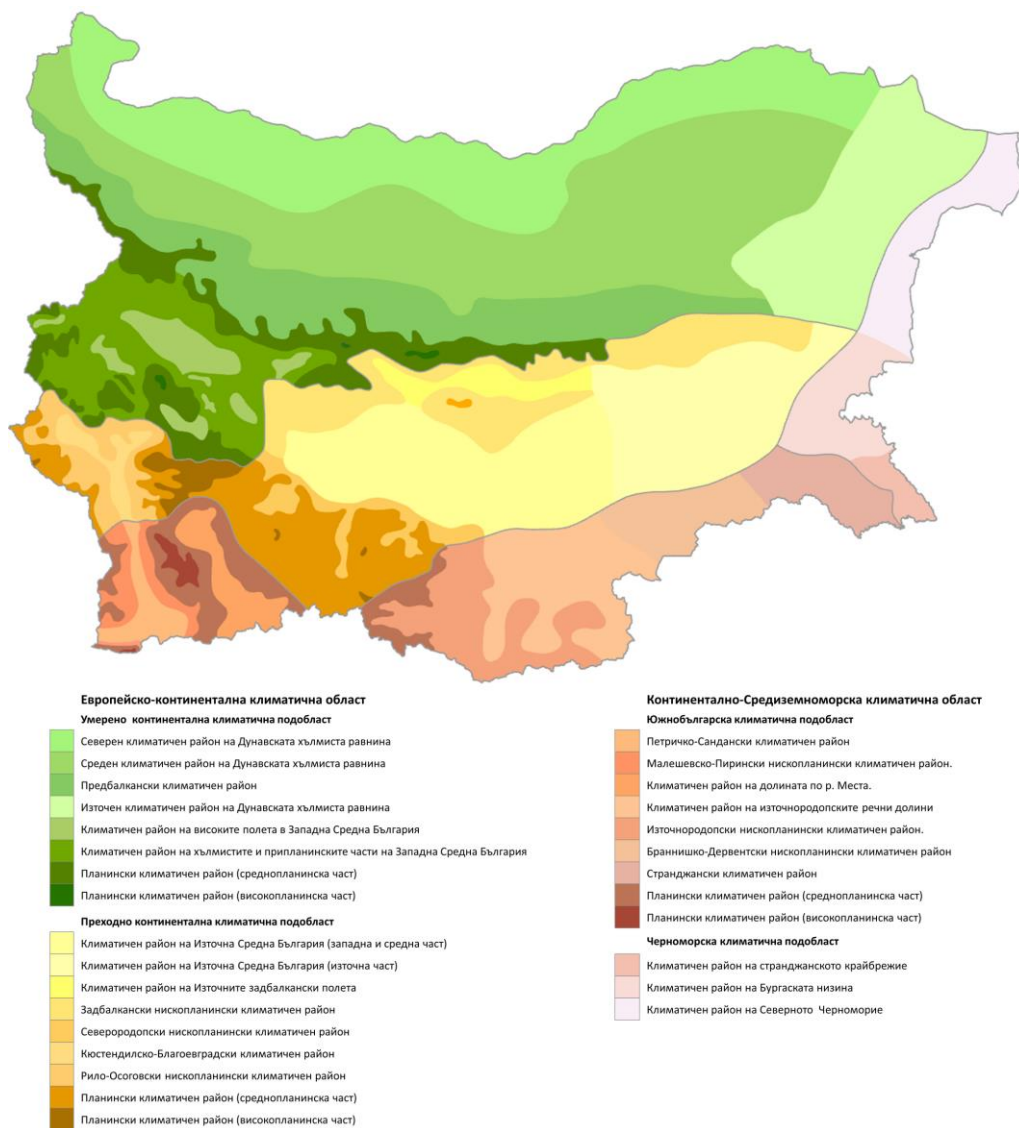
Фиг. П.1-5. Комбинирана диаграма на отклоненията на средните за страната средногодишна температура и годишна сума на валежа (1931–2020 г.) от нормите за периода 1961–1990 г. Размерът на балончетата е пропорционален на абсолютната величина на температурната аномалия.

Комбинираната диаграма на аномалиите на средногодишната температура и годишната сума на валежа в периода 1931–2020 г. потвърждава общата тенденция на затопляне, както и липсата на ясен сигнал за изменение при валежите (фиг. П.1-5). Почти всички години от началото на ХХІ век (изключение е само 2005 г.) са със средни годишни температури над нормата, като 2019 г. е най-топлата година за страната от 1930 г. насам, следвана от 2020 г.

П.2. Климатът на България

П.2.1. Обща характеристика

В монографията на [Събев и Станев \(1959\)](#): „Климатичните райони на България и техният климат“, е представен цялостен и систематизиран анализ на климата на страната през първата половина на ХХ век.



Фиг. П.2.1-1. Климатично райониране на България по Събев и Станев (1959)

Предложеното климатично райониране следва генетичната класификация на Алисов, но разкрива и местните особености на основните климатообразуващи процеси, като за целта е анализирана значителна по обем информация от метеорологични наблюдения главно през периода 1921–1955 г. То включва двадесет и пет климатични района, разпределени в четири климатични подобласти (Умерено континентална, Преходно континентална, Южнобългарска и Черноморска) и две климатични области (Европейско-континентална и

Континентално-Средиземноморска). На фиг. II.2.1-1 е представена картата на климатичните райони, дигитализирана в QGIS 3.4 среда (QGIS Development Team, 2018).

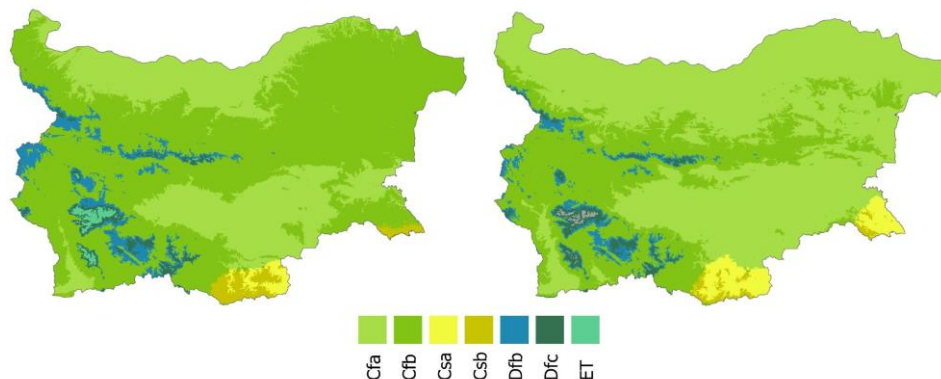
Границите на климатичните области са определени в съответствие с преобладаващия тип валежен режим (континентален или средиземноморски), климатичните подобласти са обособени части от климатичните области с по-специфични характеристики, а разделянето на всяка подобласт на климатични райони е направено въз основа на значимите разлики в количествените характеристики на валежа и температурата. В подобластите е включен и планински климатичен район, като за средна долна граница на планинския климат се приема 1000 m надморска височина. В планинските райони валежите запазват режима на прилежащите равнини, но нарастват количествено до около 2000 m.

Континентално-Средиземноморската климатична област, включваща Южнобългарската и Черноморската подобласт, представлява най-северната част на субтропичната климатична зона в Европа – с есенно-зимен максимум на валежите, относително мека зима и горещо лято. Характерни особености на климата в Европейско-континенталната климатична област (включваща Умерено континенталната и Преходно континенталната подобласт) са летният максимум на валежите, относително студена зима и горещо лято. Пролетта и есента са типични преходни сезони, като есента е малко по-топла от пролетта.

Географската ширина, като основен физико-географски фактор, определя принадлежността на страната към районите с по-топъл климат на континента, а инсолационният поток е с добре изразена сезонност. Въпреки непосредствената близост до Черно море проникването на въздушни маси от морето към сушата е ограничено от преобладаващия западно-източен пренос, а влиянието на морето се проявява в някои особености на атмосферната циркулация над страната през студеното полугодие и формирането на специфичен морски климат в сравнително тясна крайбрежна ивица (20-40 km). Отдалечеността от Атлантическия океан и откритостта на Балканския полуостров на север допринасят за по-изразената континенталност на климата – атлантическите въздушни маси достигат до България значително трансформирани, а студените континентални въздушни маси от по-големите географски ширини нахлуват свободно в северните части на страната през зимата. Относително голямата и компактна площ на Балканския полуостров създава благоприятни условия и за формиране на местни въздушни маси. Близостта до Средиземно море и орографските особености на страната допринасят за климатичното многообразие и обособяването на различни климатични условия на север и на юг от Стара планина.

Климатичното райониране на Събев и Станев (1959) не предоставя детайлно дефинирана класификационна схема, която би позволила възпроизвеждането му за друг климатичен период. Въпреки че първата класификация на климата на България по системата на Кьопен е направена още през 1929 г., тя е използвана твърде ограничено, основно за изследване на засушаването. В условията на изменящия се климат класификационният алгоритъм на Кьопен-Гайгер се доказва

като ефективен инструмент за оценка на степента и тенденциите на климатичните промени, благодарение на развитието на глобалната система за събиране, обработка и предоставяне на климатични данни, както и на методите за пространствено-времеви анализ.



Фиг. П.2.1-2. Климатична класификация на Кьопен-Гайгер за периодите 1961–1990 г. (вляво) и 1991–2020 г. (вдясно). Хоризонтална резолюция: 30 arcsec.

Според климатичната класификация на Кьопен-Гайгер в България се разграничават три основни типа климат (фиг. П.2.1-2): 1) *умерен* (C, temperate), който може да бъде със сухо летен сезон (средиземноморски тип) – горещ (Csa) или топъл (Csb), или без сухо лято – горещ (Cfa) и топъл (Cfb); 2) *бореален* (D, boreal), континентален тип – с топло лято (Dfb) или хладно лято (Dfc); 3) *полярен* (E, polar) – алпийски тип тундра (ET). Температурата на най-студения месец определя границата между умерения и бореалния климат, която е -3°C в класическата класификационна схема на Кьопен-Гайгер.

Преобладаващият тип климат през периода 1961–1990 г. е Cfb (61%), следван от Cfa (28.7%). Общо около 93% от територията на страната попада в групата на умерените климати. Средиземноморското влияние е най-силно изразено в най-южните райони – типът Csa (1%) преобладава по поречията на източнородопските реки, а Csb (2.0%) е разпространен основно в ниските части на Източните Родопи и Странджа, вкл. странджанското крайбрежие. В сравнение с по-ранни изследвания, обобщени в Станев и др. (1991), в периода 1961–1990 г. не се проявяват условията на степния климат, а относително по-влажните типове Cfa и Cfb са заместили средиземноморските Csa и Csb (характеризирани се с подчертано сухо лято) в голяма степен или изцяло по долината на Струма, черноморското крайбрежие, Бургаската низина и някои нископланински райони в Югоизточна България. В ниските части на планините (до около 1000 m по северните склонове и до 1500 m по южните склонове), както и в някои затворени котловинни полета е разпространен типът Dfb (4.9%). В средния планински пояс е застъпен типът Dfc (1.8%), а над 2200 m – алпийският тип ET (0.7%).

В периода 1991–2020 г. настъпват съществени промени в разпределението на основните подтипове. Преминаването от по-студен към по-топъл и/или по-сух климат е засегнало около 36% от територията на страната, а относителната промяна при планинските климатични подтипове показва значително намаление (с 60-70%) на районите с алпийски климат (Malcheva&Bocheva, 2023).

Циркулационните условия през първата половина на ХХ век и влиянието им върху климата на страната са обобщени в Станев и др. (1991) на базата на цялостен анализ и класификация на синоптичните обстановки за един относително дълъг период. Активната циклонална дейност над Средиземно море през студената част от годината оказва съществено влияние върху времето и климата на целия регион. Средиземноморските циклони имат най-голяма честота от ноември до май. Когато честотата на циклоните по северни траектории е по-голяма, зимите в България са меки и с поднормени валежи, а когато преобладават циклоните с южни траектории, зимите са студени, с по-големи валежи и продължително задържане на снежната покривка. През топлото полугодие част от атлантическите циклони се отклоняват на юг и се придвижват към Балканския полуостров от северозапад или север. Те носят хладен и влажен въздух, което е свързано с нарастването на валежите в края на пролетта и началото на лятото. Средно около 20% от дните в годината са под влияние на циклонална циркуляция.

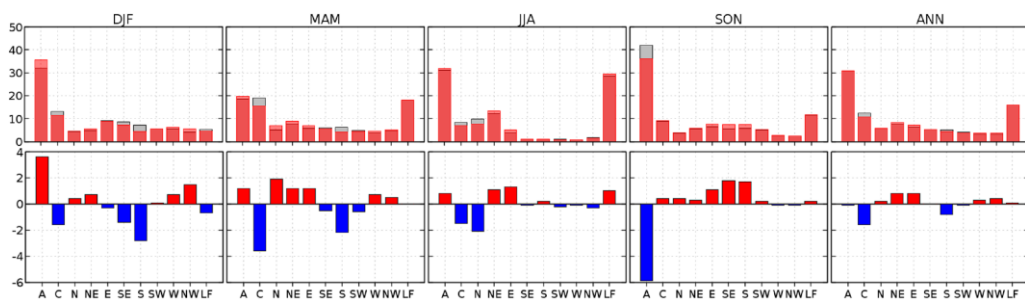
Антициклоните се придвижват към Балканския полуостров основно от северозапад, запад, югозапад и североизток. Регистрирането на много високи температури и засушавания през топлото полугодие е свързано най-често с югозападните антициклони. Проникването на много студен континентален или арктичен въздух над страната, с продължителни снеговалежи (и снежни виелици, главно в Източна България), е свързано най-често с арктичните антициклони, които формират североизточната група. В гребените им често възникват местни антициклони и температурите достигат екстремно ниски стойности.

Около 80 дни в годината (22%) са със слабоградиентно барично поле (най-често през лятото, а най-рядко – през зимата).

За класифициране на атмосферната циркуляция над страната в периода 1961–2020 г. е използван обективният метод на Дженкинсън-Колисън (Jones et al., 1993). Циркулационните обстановки на дневна база са представени от 11 основни типа, които характеризират вида на приземния въздушен поток – два ротационни, циклонален и антициклонален (означени с С и А, съответно), осем адвективни (в осемрумбовата скала за посоката на вятъра: N, NE, E, SE, S, SW, W и NW) и един тип, обхващащ слабо- и безградиентни синоптични обстановки (LF).

На фиг. П.2.1-3 са представени относителните сезонни честоти за всеки циркуляционен тип. Като цяло сезонните разпределения се съгласуват добре с резултатите в Станев и др. (1991). Най-голяма през всички сезони, респективно и на годишна база, е повторваемостта на антициклоналния тип. Повторваемостта на LF типа е с ясно изразен сезонен ход: минимум през зимата и максимум през лятото. През есента и пролетта, както и на годишна база, честотата на LF е съизмерима с тази на циклоналния тип. Честотата на адвективните типове общо е

около 40%, през лятото и есента е по-ниска (30-35%), а през пролетта и зимата достига 45-50%. Честотата на циклонални тип намалява през всички сезони в периода 1991–2020 г. (спрямо 1961–1990 г.) с изключение на есента, като най-съществено е намалението през пролетта (с 3-4%). Този резултат се съгласува добре с някои регионални изследвания, напр. [Lionello et al. \(2016\)](#) установяват значими негативни тенденции през зимата и пролетта над североизточната част на Средиземноморския регион (включващ Югоизточна Европа). Най-голямата по абсолютна стойност разлика между двата периода (~6%) е намалението на антициклоналната циркулация през есента, а най-големите относителни разлики (до $\pm 36\%$) са свързани предимно с адвективните типове. Тези изменения като цяло са в синхрон с резултатите от обширното изследване на [Kučerová et al. \(2017\)](#), в което са анализирани тенденциите в честотата на циркулационните типове въз основа на методиката и данните от COST733 Action „Хармонизация и приложения на класификациите на метеорологичните типове за европейските региони“. Значимите тенденции доминират през зимата и при типовете с относително малък дял (обикновено $< 20\%$), като намаляването е свързано най-често с южния и западния сектор, а нарастването – със северния и източния сектор.



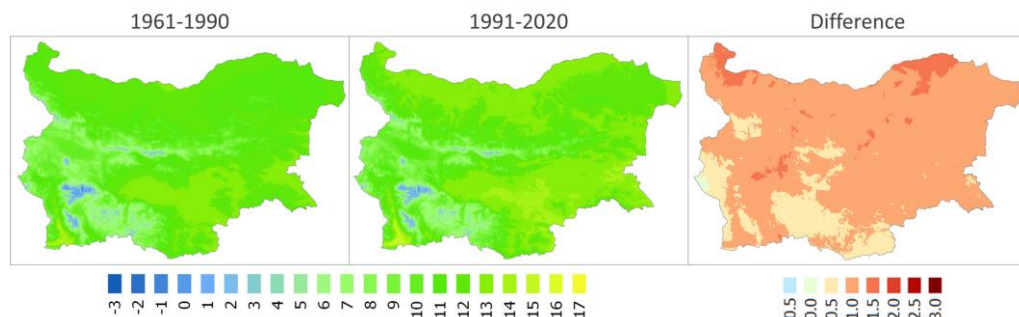
Фиг. П.2.1-3. Първи ред: многогодишна сезонна и средногодишна повторяемост (в %) на 11-те циркуляционни типа за периодите 1961–1990 г. (в сиво) и 1991–2020 г. (в червено). Втори ред: абсолютна разлика между повторяемостите на втория период спрямо първия.

Редица изследвания през последните години разглеждат промените в режима на температурата и валежите в контекста на изменението на циркуляционните условия над Европа. [Otero et al. \(2017\)](#) свързват нарастването на честотата на E и LF типовете през лятото с по-високите температури в Южна Европа, докато през зимата източният пренос води до отрицателни температурни аномалии. Авторите прогнозираят увеличаване на честотата на типовете с източна компонента и на ситуацията със слабоградиентен поток през лятото до края на века, т.е. могат да се очакват повече топли дни. Според [Herrera-Lormendez et al. \(2023\)](#) нарастването на честотата на A, NE, E и SE типовете през лятото благоприятства появата на повече сухи дни. Предвижда се и увеличаване на дните, доминирани от LF типа, което също ще усилва засушаванията над Южна Европа през следващите десетилетия.

II.2.2. Средна температура на въздуха и валежи

В голяма част от страната сезонните температури и валежният режим са се променили значително след средата на XX век. Промените на температурата включват както повишение на средните сезонни температури, така и по-чести температурни екстремуми. При режима на валежите се наблюдават промени и в сезонните количества, и в разпределението на слабите, умерените и силните валежи.

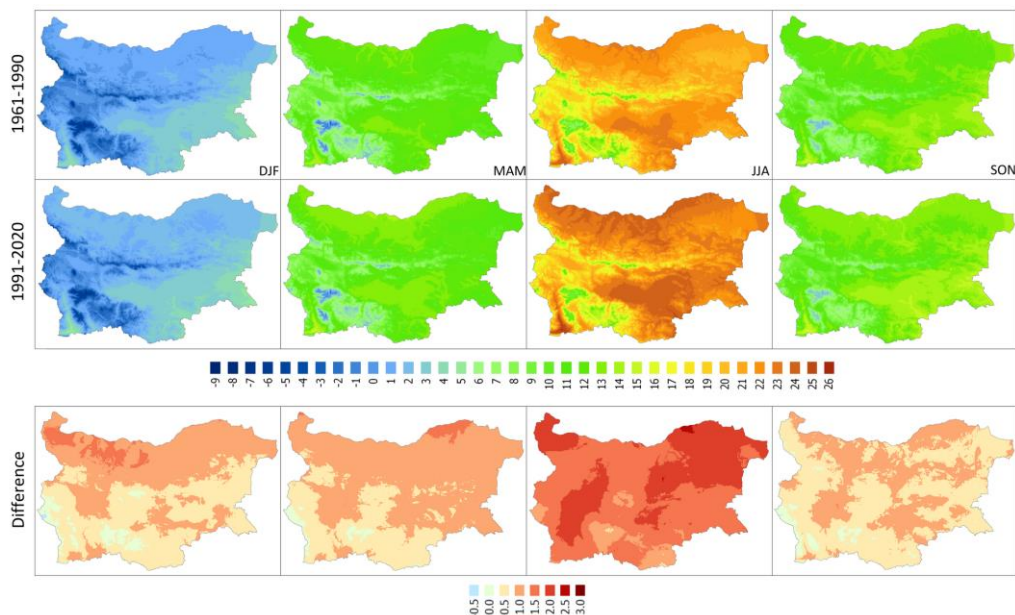
На фиг. II.2.2-1 и фиг. II.2.2-2 е представено пространственото разпределение на годишните и сезонните норми на средната температура на въздуха за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г., както и абсолютната разлика между тях. Температурните условия в периода 1961–1990 г. са близки до тези през първата половина на XX век. Най-студени са планинските райони, със средногодишни температури от $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $8\text{ }^{\circ}\text{C}$, следвани от високите полета в Западна България ($9\text{--}10\text{ }^{\circ}\text{C}$) и районите, изложени на по-интензивни нахлувания на континентални въздушни маси през зимата, припланинските и хълмистите части ($10\text{--}11\text{ }^{\circ}\text{C}$). Районите с по-силно изразено средиземноморско влияние са добре очертани с температури над $12\text{--}13\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Фиг. II.2.2-1. Пространствено разпределение на средната годишна температура за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. и абсолютната разлика между втория и първия период ($^{\circ}\text{C}$).

В районите с континентален климат зимата е най-студена. Средната температура през януари е отрицателна в Дунавската равнина и в по-високите полета на Западна България (от $-2.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ до около $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$), но е положителна в Горнотракийската низина ($0\text{--}1.5\text{ }^{\circ}\text{C}$) и по Южното Черноморие (над $3\text{ }^{\circ}\text{C}$). В планините температурата намалява с надморската височина с $0.3\text{--}0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. През пролетта температурните разлики между северната и южната част на страната намаляват, с изключение на най-южните части. Средната температура през април е $10\text{--}13\text{ }^{\circ}\text{C}$ (под $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в котловините и над $13\text{ }^{\circ}\text{C}$ в най-южните райони). В планинските райони температурата намалява средно с $0.6\text{--}0.7\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$. През лятото температурите на север и на юг от Стара планина са почти изравнени. Средната температура за юли е от порядъка на $21\text{--}24\text{ }^{\circ}\text{C}$ в равнинните райони

(до 24-25 °С по долината на р. Струма) и значително по-ниска във високите полета на Западна България (19-20 °С). Температурата по Черноморието е около 22 °С, а в планините се понижава с надморската височина с около 0.7 °С/100 m. Средната температура през октомври е най-ниска в Дунавската равнина и високите полета на Западна България (10-12 °С). Есента е по-топла в Горнотракийската низина (12-13 °С), по Черноморието и в най-южните райони (13-14 °С). В планинските райони температурата намалява с 0.5 °С/100 m.



Фиг. П.2.2-2. Пространствено разпределение на средните сезонни температури за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. и абсолютната разлика между втория и първия период (°С).

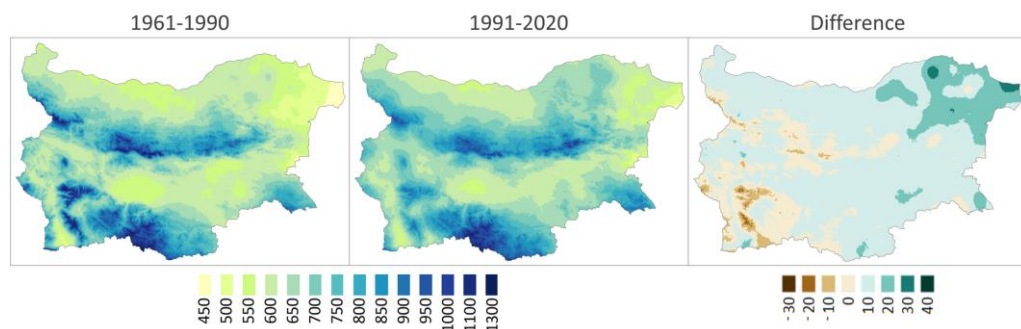
В периода 1991–2020 г. средногодишната температура в България нараства с 0.8 °С в сравнение с периода 1961–1990 г. Затоплянето в планините като цяло е по-слабо, докато в някои високи полета, крайдунавски райони и отделни места по долините на реките (предимно в Северна България) разликата е над 1.0 °С.

Повишението на зимните температури е по-съществено на места в Северозападна и Централна Северна България (с над 1 °С); в останалата северна част на страната, високите полета в Западна България (без Пернишкото поле) и отделни места по долините на по-големите реки в Южна България температурите нарастват с 0.5-1 °С. Увеличението на пролетните температури през втория период е с около 0.7 °С средно за страната. В сравнение със зимата умереното затопляне (0.5-1 °С) обхваща и Югоизточна България, а по-значително затопляне (над 1.0 °С) се установява само в отделни райони около р. Дунав. Лятото е сезонът с най-значимите разлики между двата периода – 1.5 °С средно за страната

(на места, главно в Северна България, над 2 °C), докато есента е сезонът с относително най-малки разлики – в голямата част от страната повишението на температурите е в диапазона 0.1-0.5 °C (само на отделни места надхвърля 1 °C). През всички сезони, с изключение на лятото, се регистрират незначителни отрицателни аномалии в някои припланински и планински райони главно в южната част на страната.

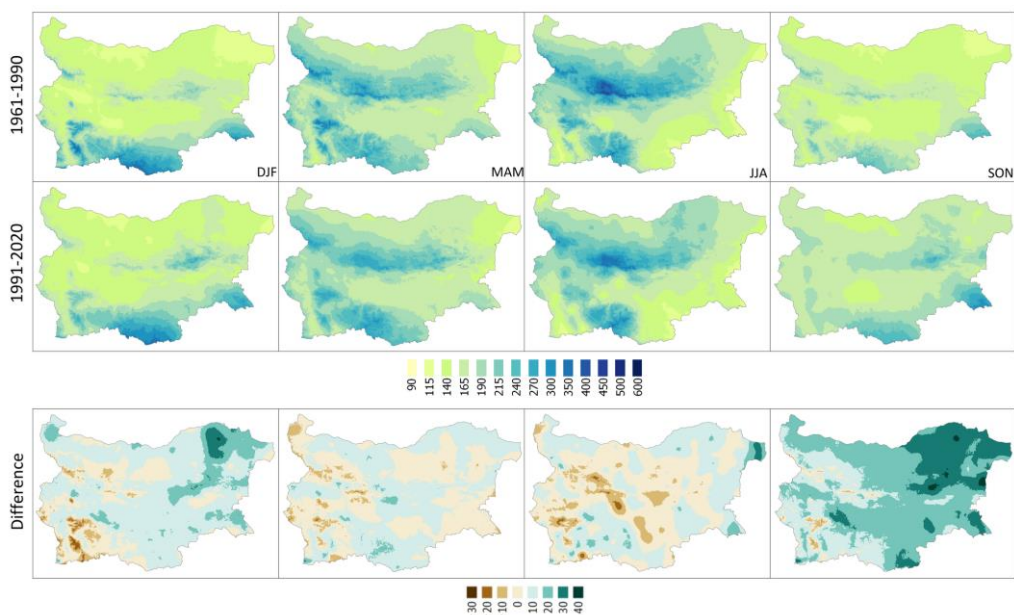
На фиг. П.2.2-3 и фиг. П.2.2-4 е представено пространственото разпределение на годишните и сезонните норми на валежа за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. Режимът на валежите през първия период не се изменя съществено в сравнение с първата половина на XX век. Средногодишните валежи варират значително – от 400-500 mm по Черноморието (с изключение на най-южната му част), отделни райони в североизточната и централната част на Дунавската равнина и Горнотракийската низина до над 1100-1200 mm в планините. Годишната сума на валежите нараства с надморската височина до около 2000 m. Вертикалният градиент зависи основно от изложението на планинските склонове и орографските особености (средно за страната е 20-40 mm/100 m).

В Умерено континенталната климатична подобласт зимните валежи са най-малки (18-20% от годишната сума). Те се изменят от 100-110 mm в низините до 190-200 mm в планините. В Континентално-Средиземноморската климатична област зимните валежи са най-големи – около и над 30% от годишната сума (150-300 mm). През пролетта валежите в районите с континентален режим нарастват до 25-27% от годишната сума, докато в районите със средиземноморски валежен режим те намаляват до около 23-25%. В Умерено континенталната подобласт валежите през лятото са около 30-35% от годишната сума. Увеличаването на валежите с надморската височина е много добре изразено, особено в Стара планина, Рила и Витоша. В районите с континентално-средиземноморски климат летните валежи са най-малки – около 20% от годишната сума. През есента в Континентално-Средиземноморската климатична област валежите са около 25% от годишната сума, а в районите с континентален режим са по-малки в сравнение с лятото и пролетта.



Фиг. П.2.2-3. Пространствено разпределение на годишната сума на валежа (mm) за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. и относителната разлика между втория и първия период в %.

За разлика от средногодишната температура на въздуха, при годишната сума на валежа не се наблюдава значима промяна през периода 1991–2020 г. за страната като цяло поради различните знаци на промяната в отделните райони. Валежите намаляват съществено във високите части на планините (до 30%), докато в Североизточна България увеличението на валежите на места достига до 40%. Все пак след 1990 г. се установяват промени на валежния режим и тенденция за нарастване на приноса на силните, потенциално опасни валежи (≥ 30 mm/24 h) към сумарния годишен валеж, докато приносът на слабите (≤ 5 mm/24 h) и умерените (5-15 mm/24 h) валежи намалява, следвайки общата регионална тенденция (Alpert et al., 2002). Нарастването на проливните, потенциално опасни валежи (≥ 60 mm/24 h) е статистически значимо за Североизточна и Централна Южна България.



Фиг. П.2.2-4. Пространствено разпределение на валежите (mm) по сезони за периодите 1961–1990 и 1991–2020 г. и относителната разлика между втория и първия период в %.

При сезонните суми на валежа, с изключение на есента, разликите между двата периода за голяма част от страната са около $\pm 10\%$. Зимните валежи намаляват във високите части на Рила, Пирин и Стара планина, както и в Югозападна България с над 20% (-40% на Черни връх), но в Североизточна България и по черноморското крайбрежие нарастват с около 10-20%. Летните валежи нарастват през втория период с над 25% в крайните североизточни райони, докато във високите части на планините и някои задбалкански райони намаляват с 10-15% и повече. Есента е сезонът с най-висок ръст на валежите за периода 1991–2020 г. в цялата страна (средно над 15%), с изключение на високите части на планините.

Най-значимо е нарастването на есенните валежи в Североизточна България – между 25 и 40% (до 50-60% на отделни места).

Вероятна причина за намаляването на сезонните валежни количества през зимата, пролетта и лятото е намалената честота през тези сезони на циклонални тип циркулация, който води до валежни обстановки. Същественото намаление на антициклонални тип през есента може да се асоциира с увеличението на сезонната валежна сума.

II.2.3. Агрометеорологични изследвания

Проучванията върху колебанията и измененията на основните метеорологични елементи са определящи за развитието на земеделието чрез промяна на технологиите у нас и по света. Оценката на условията на средата и влиянието им върху растежа, развитието и продуктивността на земеделските култури се извършва спрямо биологичните им изисквания към основните фактори – светлина, топлина и вода. За целта се използват агроклиматични показатели. Те представяват количествен израз на зависимостта между растежа и развитието на растенията и климатичните фактори. Изискванията на растенията към условията на средата се изменят през биологичния им цикъл. Затова показателите се определят както за целия вегетационен период, така и за отделни междуфазни периоди. Условията през периода на покой също са важна част от характеристиката на агрометеорологичните условия. За определянето им се използват паралелни данни от ежегодни, непрекъснати наблюдения върху растежа и развитието на растенията и съпътстващите ги метеорологични условия (WMO, 2010).

II.2.3.1. Топлинни условия и изменение на сумите на валежите през вегетационния период

Топлинният и влажностният режим на средата са едни от най-важните от комплекса метеорологични условия, определящи видовете растения, които могат да достигнат до пълна зрелост на дадена територия, и обуславящи темповете на тяхното развитие. Топлинните условия определят продължителността на вегетационния период, от която зависят растежът, развитието и продуктивността на земеделските култури, както и възможността за получаване на по-голям добив от една реколта. Вегетационният сезон за всяка култура е ограничен между пролетното и есенното устойчиво преминаване на средноденонощната температура на въздуха през биологичния минимум.

Топлинните условия се характеризират чрез средните месечни температури на въздуха през вегетационния период, средните дати на устойчив преход на средните денонощни температури на въздуха над и под биологичните прагове за различните групи земеделски култури, температурните суми през периода със средни температури на въздуха над биологичните прагове и продължителността

на безмразния период. Условието на овлажнение се характеризират чрез сумите на валежа през отделните етапи от развитието на земеделските култури, сумарното водопотребление, относителната влажност на почвата, както и чрез комплексни показатели.

Представените тук резултати се отнасят за периода 1986–2015 г. Използваният в анализа референтен период е 1961–1990 г. Резултатите са обобщени според териториалното деление на България на ниво NUT2 на Eurostat (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/nuts/background>).

За земеделските култури в България, според техните изисквания към температурните условия, са възприети три биологични минимума: 5 °C за слабо чувствителните към по-ниски температури (пшеница, ечемик, овес, грах, леща и др.), 10 °C за умерено чувствителните (слънчоглед, царевица, фасул, соя) и 15 °C за топлолюбивите култури (памук и др.). Изследванията показват, че действителният биологичен минимум на всяка култура е различен, но възприемането на общи стойности по групи култури дава възможност за агроклиматична оценка за всяка група.

През изследвания период средните месечни температури на въздуха се повишават във всички райони на страната от януари до септември. Най-големи отклонения се наблюдават през януари, юли и август. През най-студения месец от годината – януари, средното отклонение варира от 0.5 до 1.5 °C. В Северозападна и Централна Северна България това повишение е в рамките на 1-1.5 °C. Август е месецът с най-големи отклонения за всички региони, 1.5-1.6 °C. В по-голямата част от страната, с изключение на югозападния и част от северозападния район, декември е бил по-студен в сравнение с референтния период (средно с 0.5 °C).

Датите на устойчив преход на температурата на въздуха през 5 °C през пролетта и есента определят продължителността на вегетационния период при зимните житни култури. През периода 1986–2015 г. той настъпва по-рано с 3-9 дни в Северна България и с 3 дни в Южна България. Отклоненията при есенния преход през 5 °C варират между -4 и +4 дни.

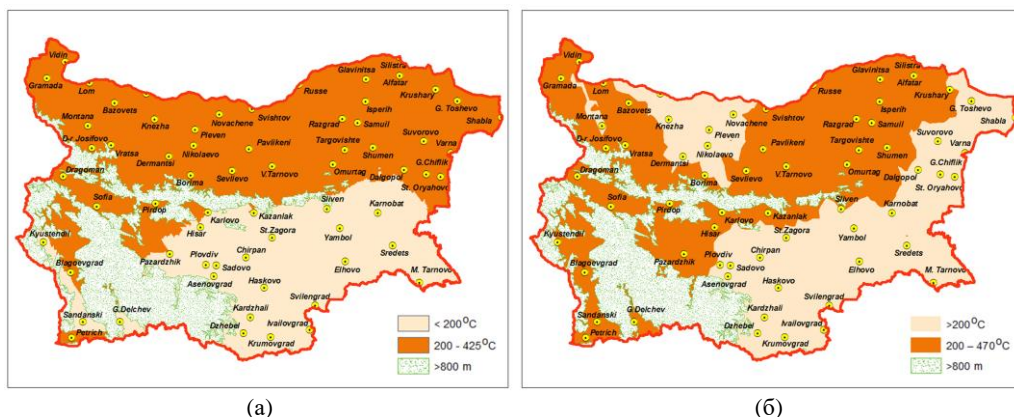
Продължителността на реалния вегетационен период се определя от датата на устойчив преход на средноденонощната температура на въздуха през 10 °C, когато към активна вегетация преминават и пролетните култури. Тенденцията на изпреварване на началото на вегетационния сезон спрямо референтния период се потвърждава и при прехода през 10 °C. Началото на реалния вегетационен сезон в западните и североизточните части на страната настъпва с 4 до 11 дни по-рано, докато в Централна и Югоизточна България се установява незначително отрицателно отклонение. През есента преходът на температурата през 10 °C настъпва по-рано с 4 дни в източната част на страната и по-късно с 1 до 7 дни в западната част.

Периодът с температури над 5 °C в земеделските райони на страната е с продължителност 235-300 дни (най-кратък е в западната част на Предбалкана и Софийското поле, а най-дълъг – в Южна България, с изключение на западната част на Горнотракийската низина). Отклонението спрямо референтния период

показва увеличение от 9 дни, с изключение на отделни райони в Югоизточна България, където има намаление с до 5 дни.

Периодът с температури по-високи от 10 °C варира между 191 и 263 дни. Продължителността му в Северозападна и Североизточна България е между 200 и 220 дни, а в южните части на страната – между 230 и 240 дни. Отклоненията спрямо референтния период показват удължаване на реалния вегетационен период с една седмица. Както може да се види от резултатите, удължаването на вегетационния сезон е свързано с по-ранния преход на температурата на въздуха през биологичните прагове през пролетта.

Топлинните ресурси се изразяват количествено чрез сумата от средноденонощните температури на въздуха през вегетационния период. В периода 1986–2015 г. се наблюдава увеличение на температурните суми с 200-420 °C предимно в северната и югозападната част на страната (фиг. П.2.3-1).

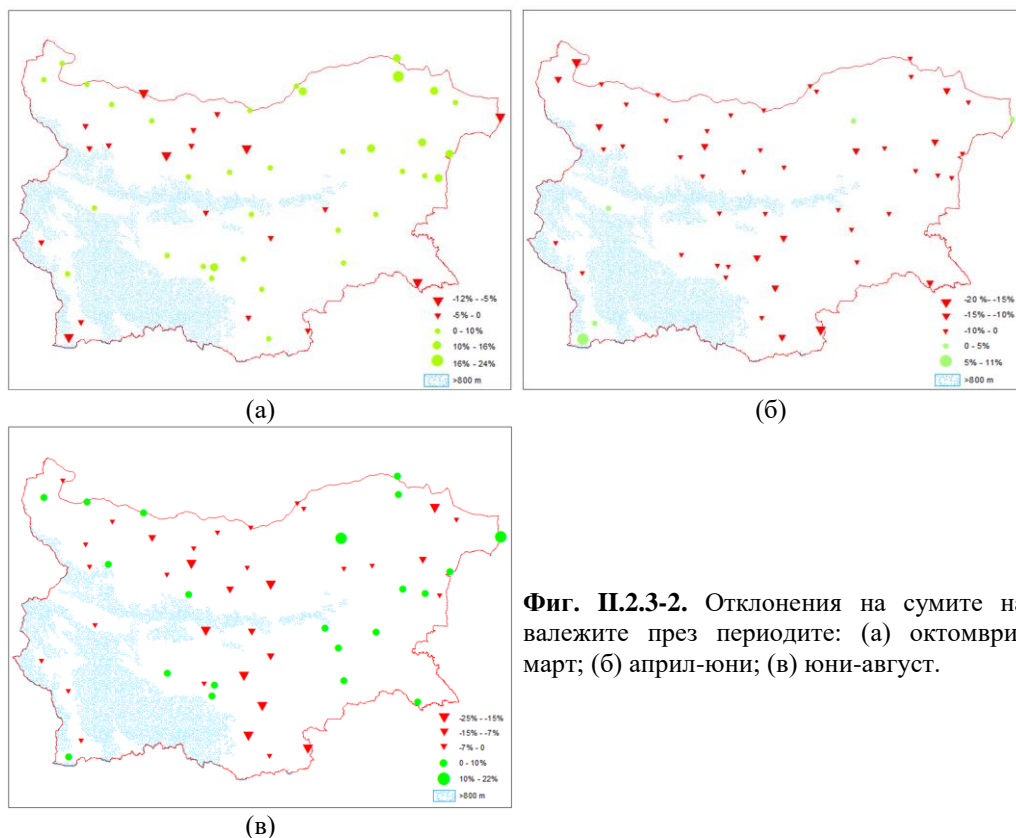


Фиг. П.2.3-1. Отклонения на сумите от активни температури през периода с температури над от 5 °C (а) и над 10 °C (б).

Отклоненията в месечните суми на валежите по време на вегетационния сезон през изследвания период показват значително увеличение през септември и октомври и намаление през април, май и юни. Преобладаващите отрицателни отклонения в месечните суми на валежите и положителните в средномесечните стойности на температурите в четири от шестте района влошават агрометеорологичните условия в тези райони. Изключение в това отношение са Северозападна и Централна Южна България.

От гледна точка на агрометеорологията условията на овлажнение се характеризират чрез сумите на валежите през три периода: октомври-март, април-юни и юни-август. През първия период протича есенно-зимното влагонатрупване в почвата, което осигурява необходимия почвен влагозапас за растеж и развитие на растенията след възстановяване на вегетацията през пролетта. Вторият период, април-юни, характеризира условията на влагоосигуреност за формиране на добива от зимуващите култури. Чрез сумите на валежите през третия период,

юни-август, се характеризират условията на овлажнение при формиране на добивите от пролетните култури.



Фиг. П.2.3-2. Отклонения на сумите на валежите през периодите: (а) октомври-март; (б) април-юни; (в) юни-август.

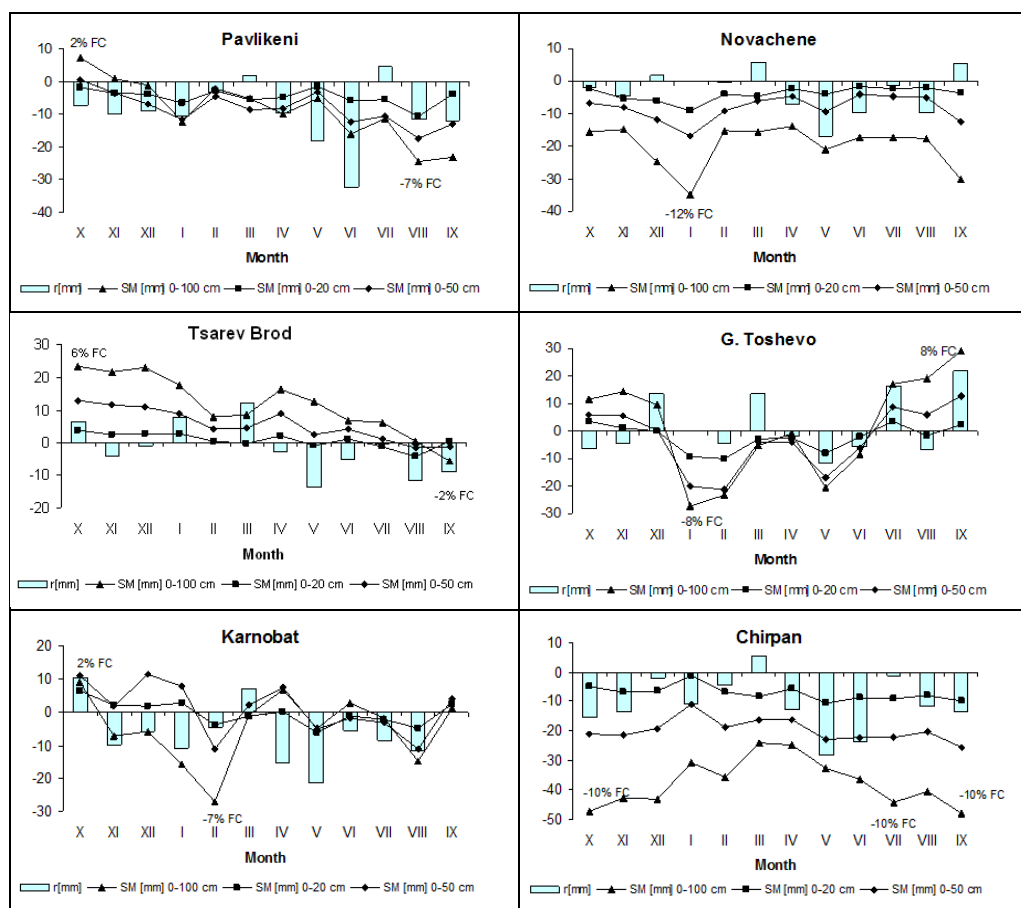
През периода октомври-март е установено увеличение с над 10% на сумите на валежа в Североизточна България. Тази тенденция е благоприятна, тъй като през миналия век районът се характеризира с по-малки валежи и дефицит на почвена влага през периода на влагонатрупване. Намаление на валежните суми се наблюдава в Централна Северна, в Източна и в Югозападна България. Предишните изследвания за периода 1971–2000 г. показват, че в края на периода на влагонатрупване в централната част на Дунавската равнина се достига пълно насищане в коренообитаемия слой. Намаляването на валежите с 5-12% може да доведе до 5-7% намаление на водните запаси в почвата (фиг. П.2.3-2).

През втория период, април-юни, отклоненията на сумата на валежите са предимно отрицателни, като в Централна и Североизточна България достигат 10-15%. Най-голям спад се наблюдава в крайните северозападни райони (Видин, 16%) и в крайните южни райони (Ивайловград, 20%).

Третият период, юни-август, се характеризира със значително намаление на валежите в Централна Южна България и в част от Дунавската равнина. Отклонението варира между 7 и 25%. Увеличение над 10% на сумата на валежите се наблюдава в отделни станции в Североизточна България.

II.2.3.2. Изменение на почвените влагозапаси

Черноземите и смолниците заемат малко над 26% от обработваемата земя на България. Зоната на черноземите е разположена в Дунавската равнина, а смолниците са специфичен почвен тип за Южна България. При изследване на почвените влагозапаси в представителни станции от зоната на черноземите и на смолниците през периода 1981–2010 г. и сравнението им с периода 1951–1980 г., направено за три почвени слоя – 0-20 cm, 0-50 cm и 0-100 cm, е констатирано намаление с до 12% на количествата на почвените влагозапаси (фиг. II.2.3-3).



Фиг. II.2.3-3. Отклонения на средната месечна влагообезпеченост на почвата по слоеве и на месечната сума на валежите през периода 1981–2010 г. спрямо 1951–1980 г.

Това намаление е ясно изразено както в агрометеорологичните станции в Южна България, така и в Северна България. Намалението е най-голямо през месеците януари и февруари, което води до дефицит на влагозапасите в началото на вегетацията през пролетта.

II.2.3.3. Изменение на евапотранспирацията

Евапотранспирацията е сумарното изпарение – физическо (от почвата) и биологично (транспирация на растенията). Потенциалната евапотранспирация (ET_p) се използва широко в метеорологията и хидрологията. Тя характеризира изпарителната способност на атмосферата в зависимост от метеорологичните условия. Еталонната евапотранспирация (ET_0) отразява изпарението от хипотетична референтна култура с определени характеристики (Allen et al., 1998). Затопянето и засушаването на климата се доказва и чрез тенденциите на изменение на евапотранспирацията. По данни от 60 метеорологични станции, представителни за земеделската зона на страната, са изчислени месечните стойности на еталонната евапотранспирация по формулата на FAO Penman-Monteith за периода 1971–2010 г. Анализът по станции чрез теста на Mann-Kendall (Kendall, 1938; Mann, 1945) доказва наличието на тенденция към повишаване на стойностите на евапотранспирацията (при ниво на статистическа значимост $\alpha=0.001$) както за периода юли-август, така и за потенциалния вегетационен период април-септември.

Многогодишните средни стойности на еталонната евапотранспирация за периода 1981–2010 г. се разпределят по територията на страната, както следва: при суха година (75% обезпеченост) – от 560 до 890 mm, при средна година (50% обезпеченост) – от 590 до 860 mm, а при влажна година (25% обезпеченост) – от 590 до 830 mm. Очертава се тенденция на увеличаване на евапотранспирацията от север на юг и намаляване от запад на изток, като по черноморското крайбрежие евапотранспирацията е с най-ниски стойности (Kazandjiev et al., 2022).

Еталонната евапотранспирация е най-голяма в районите с преходно-средиземноморски климат, следвана от районите с преходно-континентален и умерено-континентален климат. Подобни тенденции се регистрират при ET_p . Изпарителната способност на атмосферата нараства през периода 1991–2010 г. в сравнение с 1971–1990 г. Лек спад се наблюдава само в ограничени райони на Северна България. Статистически значимо увеличение на ET_p (при ниво на значимост $\alpha = 0.001$ и $\alpha = 0.01$) се наблюдава през периода юли-август във всички изследвани станции.

II.2.4. Хидроложки изследвания

Водните ресурси на България не са сред най-големите в Европа, но почти всички са формиращи на българска територия, което прави страната независима в това отношение. Речният отток се характеризира с многогодишна и

вътрешногодишна изменчивост, обусловена главно от климатичните фактори и антропогенни въздействия. Разпределението на валежите по сезони и продължителността на задържане на снежната покривка определят до голяма степен отточния режим на повърхностните води като дъждовен и дъждовно-снежен – с максимум през пролетта (поради значителното количество на валежите през този сезон и снеготопенето) и минимум през лятото, който най-често е в периода август-септември. Човешката дейност, свързана с използването на водните ресурси и изграждането на хидротехнически съоръжения, значително нарушава естествения режим на водните източници. Промените в речния отток на територията на страната се установяват след 60-те години на миналия век с развитието на мащабно хидротехническо строителство.

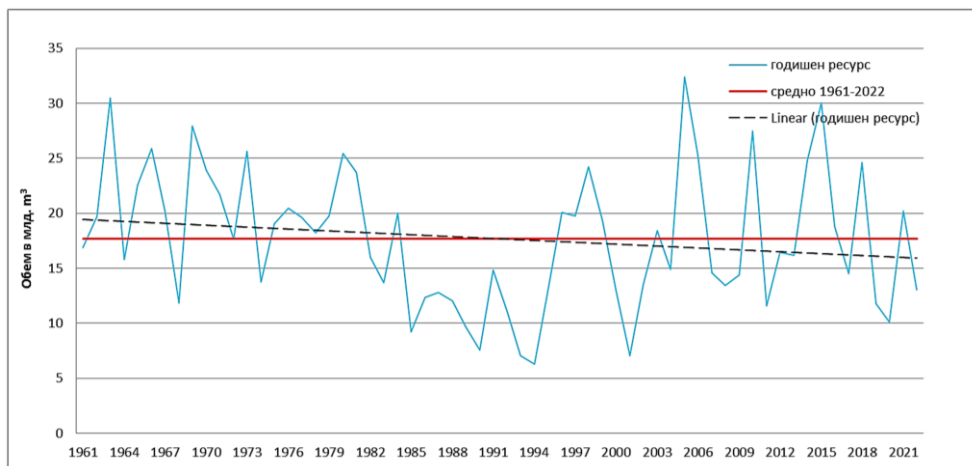
Развитието на методите и технологията за количествена оценка на ресурсите от пресни води за територията на страната е важна задача, свързана с оценката и ефективното управление на водните ресурси. Изследването на пространствената хомогенност, еднородност и повторимост на редиците от хидроложки и метеорологични данни е от съществено значение за получаване на стабилни и устойчиви статистически оценки. Интерес представляват разпределенията на редиците на средногодишните водни количества, които са в основата на ресурсните оценки. Изследванията показват двумодалност в разпределението на емпиричните обезпечености на водните количества, обусловена от добре изразените климатични различия на територията на страната при преобладаващо континентално или средиземноморско влияние (Rankova&Kroumova, 2017).

Пространствената хомогенност е показател за синхронността, с която се реализират времевите колебания на речния отток в отделните поречия и за страната като цяло. Класификацията на годините като сухи, средни и влажни е свързана с водостопанската практика. Тази класификация се изготвя, като за редицата от годишни ресурсни оценки се определят прагове (33% и 66% емпирични квантили), спрямо които се класифицира всяка следваща година. Друга важна особеност е устойчивостта на класификацията на екстремните сухи и влажни години, която потвърждава факта, че при сравнително големи периоди от време, като година и повече, екстремните явления не могат да бъдат локални, а обхващат територията на цели райони или цялата страна.

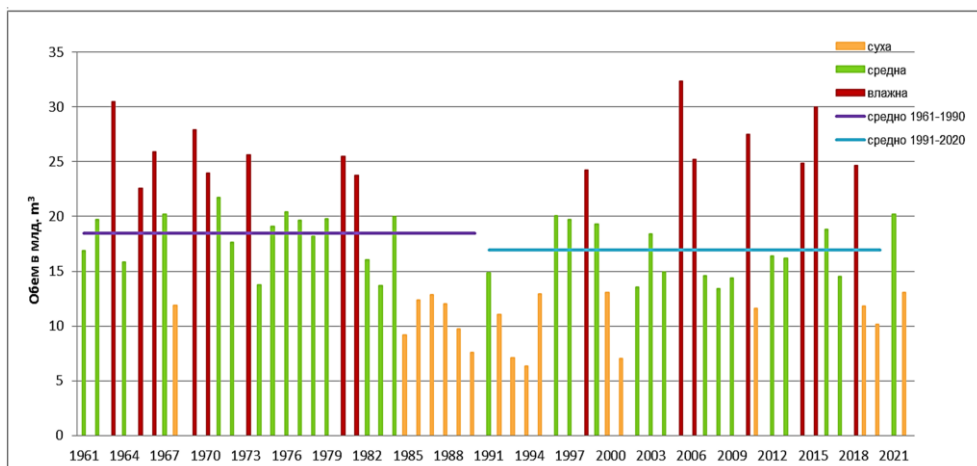
Годишните стойности на ресурса от повърхностни води в България се изменят в много голям диапазон – от $6.41 \times 10^9 \text{ m}^3$ през 1994 г. до $32.37 \times 10^9 \text{ m}^3$ през 2005 г. Многогодишната средна стойност на оттока за периода 1961–2022 г. е $17.67 \times 10^9 \text{ m}^3$, а определените норми са съответно: $18.46 \times 10^9 \text{ m}^3$ (1961–1990 г.) и $16.96 \times 10^9 \text{ m}^3$ (1991–2020 г.). При изследването е избран периодът след 1961 г., когато са установени регулярни наблюдения на речния отток и е достигната оптимална гъстота на мрежата от хидрометрични станции.

Ходографът на годишните обеми на повърхностния отток (фиг. П.2.4-1) показва, че до 1984 г. годишният ресурс е около и над многогодишната средна стойност, след което намалява значително до 1993–1994 г., а през следващите 25 години се редуват много влажни и сухи години. Трендът за периода 1961–2020 г.

е негативен. Разделянето на хидроложките редици по характерни типове години дава възможност за определяне на параметрите на оттока по време на влажни, средни и сухи периоди. За оценка на изменението на ресурса е направено сравнение с нормите за периодите 1961–1990 г. и 1991–2020 г. Както се вижда на фиг. П.2.4-2, средните и много влажните години преобладават в периода 1961–1984 г., който е последван от продължително засушаване – до 1994 г. През следващия период се редуват много влажни (1998, 2005, 2006, 2010, 2014, 2015, 2018), средни и сухи (2000, 2001, 2011, 2019, 2020, 2022) години.

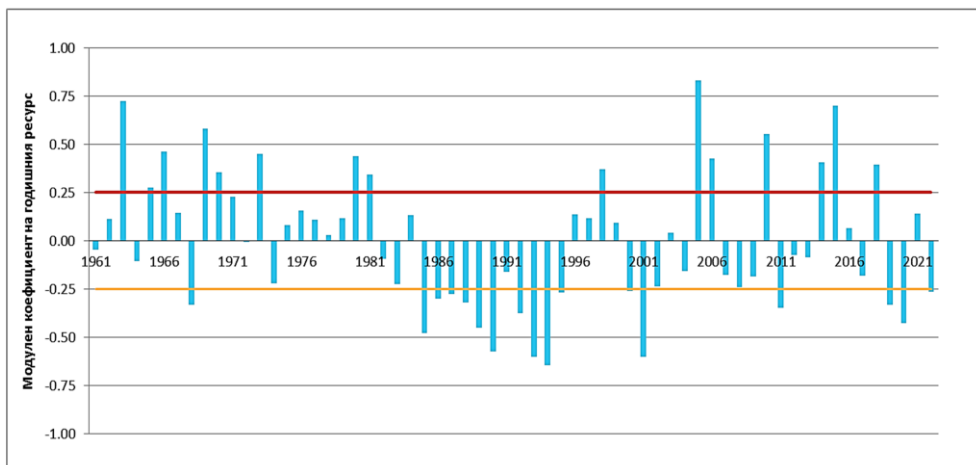


Фиг. П.2.4-1. Ходограф на годишните обеми на повърхностния отток за периода 1961–2022 г.

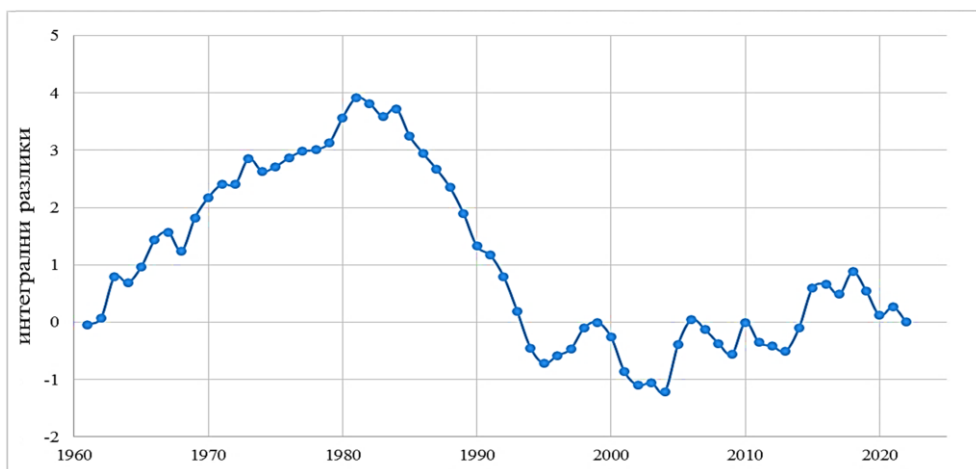


Фиг. П.2.4-2. Хронологичен ред с годишни обеми на повърхностния отток за двата климатични периода 1961–1990 и 1991–2020 г., с определени сухи, средни и влажни години.

На фиг. П.2.4-3 и фиг. П.2.4-4 изменението на оттока през изследвания период е представено чрез модулните коефициенти на годишния ресурс и кумулативната крива на интегралните разлики. Както се вижда от фиг. П.2.4-4, годишният ресурс нараства до 1981 г., след което намалява до 1995 г., а през следващия период нараства бавно, със значителни колебания. Периодът на засушаване 1982–1994 г. е анализиран подробно в Герасимов и др. (2004).



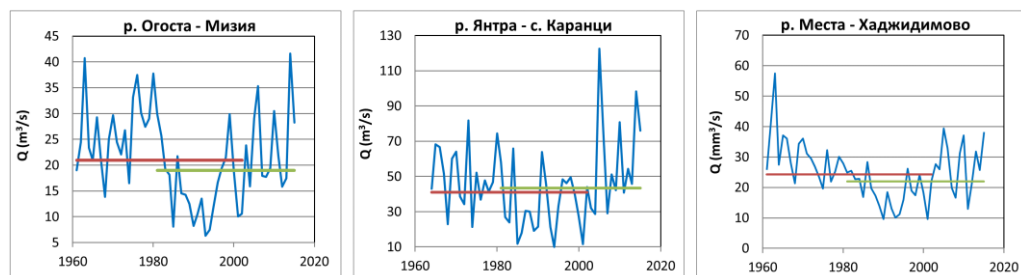
Фиг. П.2.4-3. Изменение на модулните коефициенти на годишния ресурс за периода 1961–2022 г.



Фиг. П.2.4-4. Кумулативна крива на интегралните разлики на модулните коефициенти на годишния ресурс за периода 1961–2022 г.

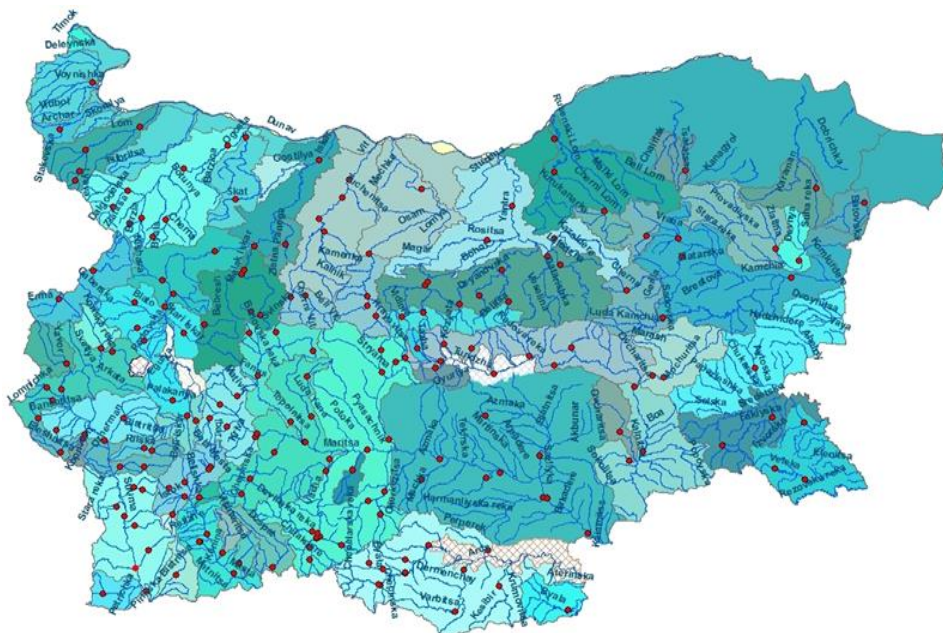
Разработените в НИМХ методични подходи и технологии се прилагат при оценката на водните ресурси в годишен или многогодишен разрез, като се използват реални хидрологични измервания на речен отток (фиг. П.2.4-5),

статистически методи за регионализация, ГИС технологии за концептуален анализ и определяне на площите на различни контури и водосбори (Ninov et al., 2017).

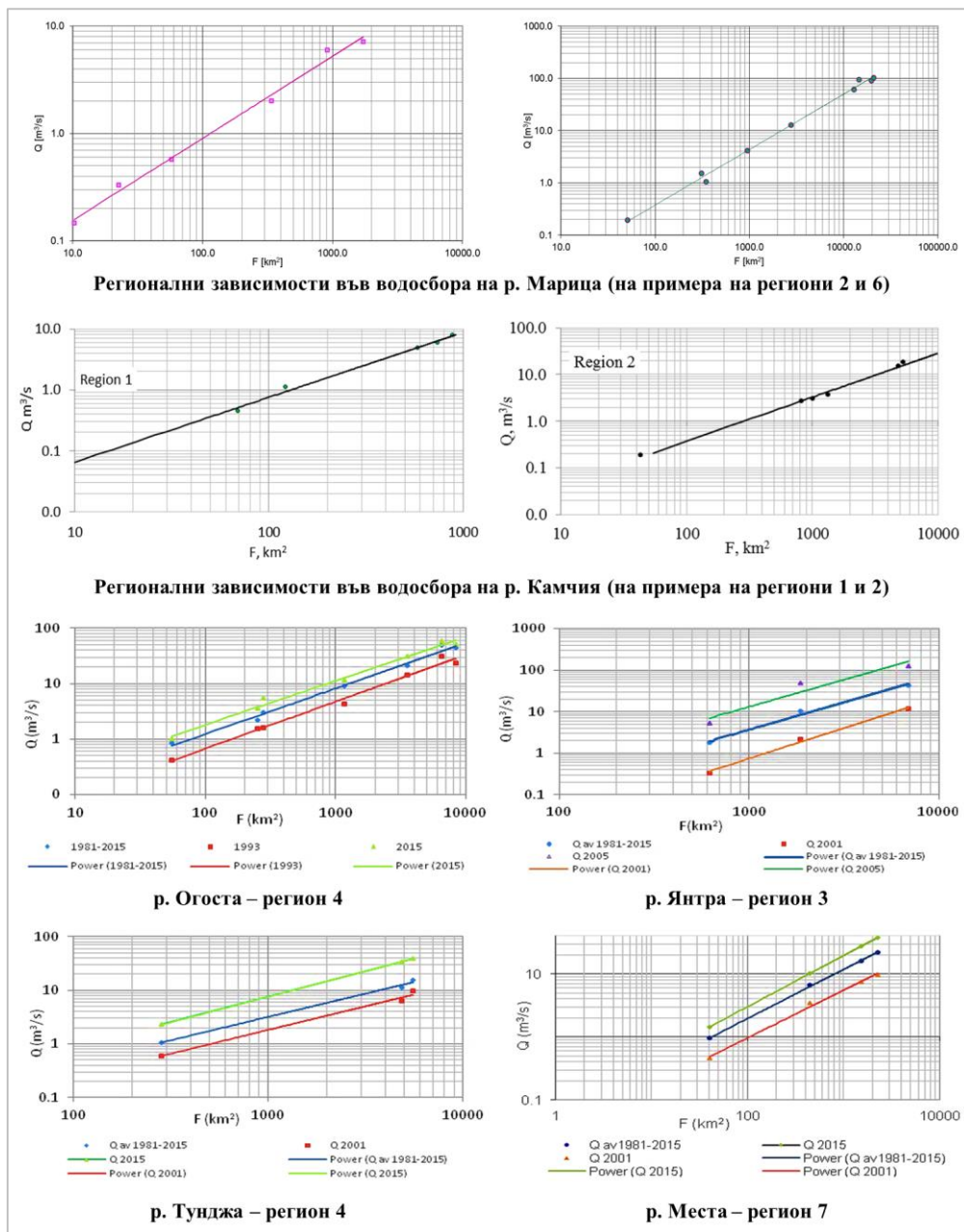


Фиг. П.2.4-5. Промени на средномногогодишния отток на реките Огоста, Янтра и Места за два периода: 1961–2002 и 1981–2015 г.

Методът на хидроложко регионализиране се прилага за всички основни водосбори в страната (фиг. П.2.4-6) за определяне на регионални регресионни зависимости между средномногогодишния речен отток и площта на водосбора в хомогенните хидроложки райони. Надеждността на получените резултати се потвърждава от значимите коефициенти на корелация (над 0.98). На фиг. П.2.4-7 са представени примери за избрани хомогенни региони.



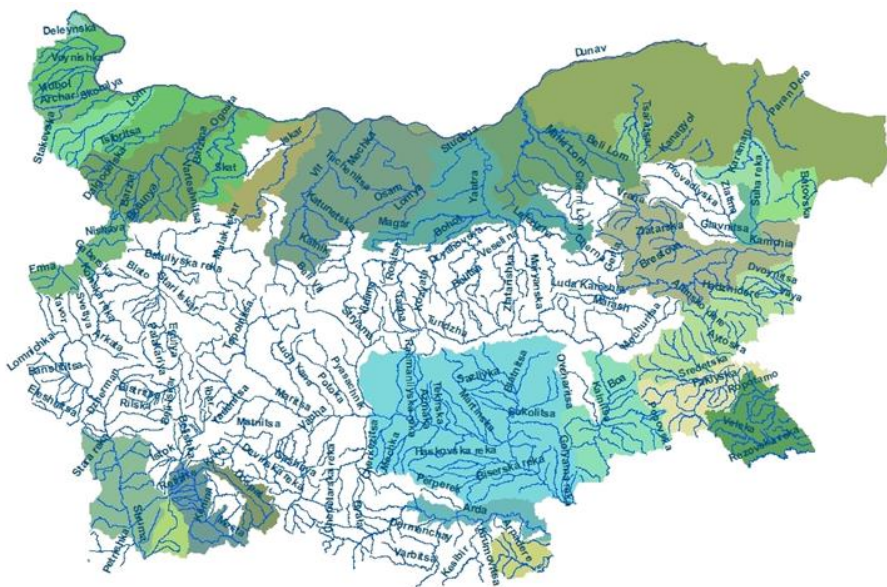
Фиг. П.2.4-6. Карта на хомогенните хидроложки региони в България и хидрометричната мрежа.



Фиг. П.2.4-7. Примери за регионални регресионни зависимости.

Концепцията при определяне на годишния ресурс включва определянето на годишните обеми речни води, използвайки наблюденията в хидроложките станции по главните реки, разположени най-близо до вливането им към водната

(река Дунав и Черно море) или сухопътната граница на България (фиг. П.2.4-8). Резултатите се използват от МОСВ, НСИ и европейските институции за обща оценка на ресурсите на България по години. Използването на информация за регистрирания речен отток в хидрометричните станции дава сигурност за избягване на груби грешки, които са възможни при моделирането на връзката валеж-отток. Получените оценки дават възможност на управляващия орган да администрира остатъчния воден ресурс при съществуващото антропогенно натоварване.



Фиг. П.2.4-8. Водосбори, участващи в определянето на годишния ресурс на България.

При анализа на емпиричните разпределения на динамичните редове с годишен речен отток се търси връзка с вероятностното разпределение на годишните валежни суми. Изследва се пространствената устойчивост на класификацията на речния отток в категориите суха, средна и влажна година, както и корелацията на редиците на речния отток и ресурсните оценки. Търси се обоснован извод за пространствената квазихомогенност на годишния отток и определяне на относителния дял на отделните поречия при формиране на оценки за географски и административни региони. Годишните хидрографи се изследват чрез клъстерен анализ и се търси обоснована хипотеза за формирането на годишната водност на поречията като резултат от преобладаващото климатично влияние в регионите. Тези изследвания дават отговори на някои въпроси за статистическата променливост и хомогенност на годишния речен отток, но трябва да се продължи с търсене на връзка между реализациите на годишния отток и индексите на преобладаващата атмосферна циркулация.

II.2.5. Екстремни явления – анализ и тенденции

II.2.5.1. Климатични индекси

Широко използвани при мониторинга на климатичните промени са индексите, разработени от експертните групи на Световната метеорологична организация (ETCCDI, http://etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml) и ET-SCI, (<https://climact-sci.org/indices/>), които най-общо могат да се разделят на: температурно зависими – използват само данни за температурата на въздуха (средноденоношна, минимална и максимална), и валежно зависими – изчисляват се само по данни за денонощната сума на валежа. От методологична гледна точка климатичните индекси могат да се групират в пет категории (Alexander et al., 2006):

- *Абсолютни индекси:* Те представят абсолютния минимум и максимум на температурата или максимум на валежа за даден период (месец, сезон, най-често година).

- *Прагови индекси:* Дефинират се като брой дни, в които температурата или валежът са над/под фиксирана прагова стойност.

- *Процентилни индекси:* Изчислява се броят дни, в които температурата или валежът са под/над праговата стойност, равна на определен процентил за представителна част от извадката (референтен период).

- *Индекси за продължителност:* Те дефинират периодите на прекомерно студено, горещо, влажно или сухо време. В тази категория попадат и непрекъснатите периоди със специфични климатични условия, като например продължителност на вегетационния период.

- *Други индекси:* Това са индекси, които не могат да се причислят към другите четири категории, но тяхната дългосрочна промяна е важен сигнал за изменение на климата. Типични примери са денонощната температурна амплитуда, средната интензивност и годишната сума на валежа (изчислена понякога само за дните с валеж над 1 mm).

Въпреки че праговите индекси имат някои очевидни недостатъци, те могат да се използват успешно за оценка както на екстремни климатични събития, така и на дългосрочни промени, които не са „екстремни“ сами по себе си. Нещо повече, измененията в режима на праговите индекси могат да послужат като индикатор за критичното въздействие на климатичните промени върху околната среда и здравето на човека (Tye et al., 2022). Тук сме използвали няколко прагови индекса (описани в табл. II.2.5-1) именно като инструмент за диагностика на съществени, но не и екстремни, промени в режима на температурата и валежите.

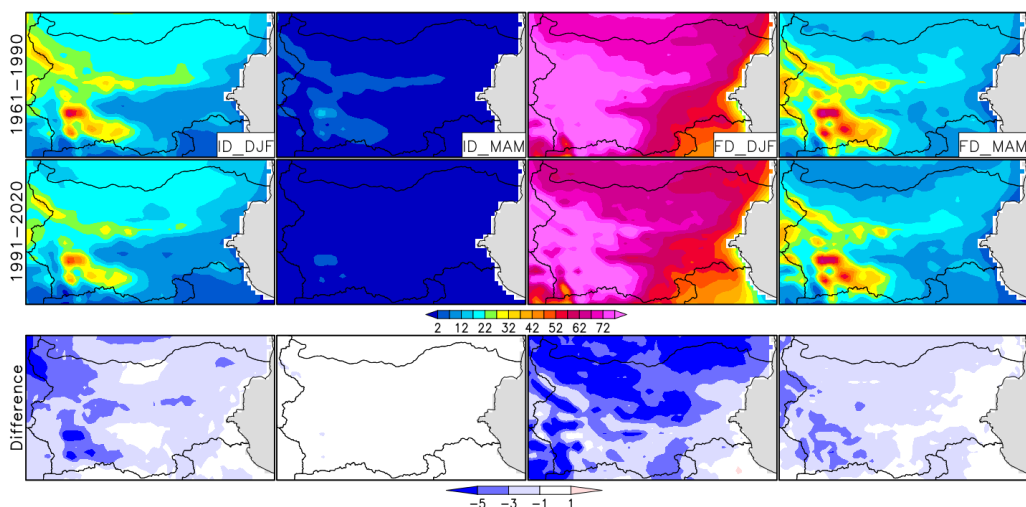
Броят на мразовитите и ледените дни е чувствителен към дългосрочните сезонни промени в разпределението на температурите в посока на ниските стойности, а броят на летните дни и тропическите нощи – към промените в посока на високите стойности. Дневните количества валеж от 5 и 10 mm са приети като прагови стойности при разграничаването на „слаби“, „умерени“ и „силни“ валежи (IPCC, 2021a, b).

Табл. II.2.5-1. Използвани прагови индекси, изчислени по данни за минималната (t_n) и максималната (t_x) денонощна температура и 24-часовото количество валеж (rr)

Тип	Наименование	Дефиниция
Температурни	FD, мразовити дни	Годишен/сезонен брой дни, когато $t_n < 0$ °C
	ID, ледени дни	Годишен/сезонен брой дни, когато $t_x < 0$ °C
	SU, летни дни	Годишен/сезонен брой дни, когато $t_x > 25$ °C
	TR, тропически нощи	Годишен/сезонен брой дни, когато $t_n > 20$ °C
Валежни	R05mm, валеж над 5 mm	Годишен/сезонен брой дни, когато $rr > 5$ mm
	R10mm, валеж над 10 mm	Годишен/сезонен брой дни, когато $rr > 10$ mm

По данни от ERA5 Land (Muñoz-Sabater et al., 2021) и измерванията в климатичните станции са пресметнати многогодишните средни стойности на избрани климатични индекси за двата периода 1961–1990 и 1991–2020 г.

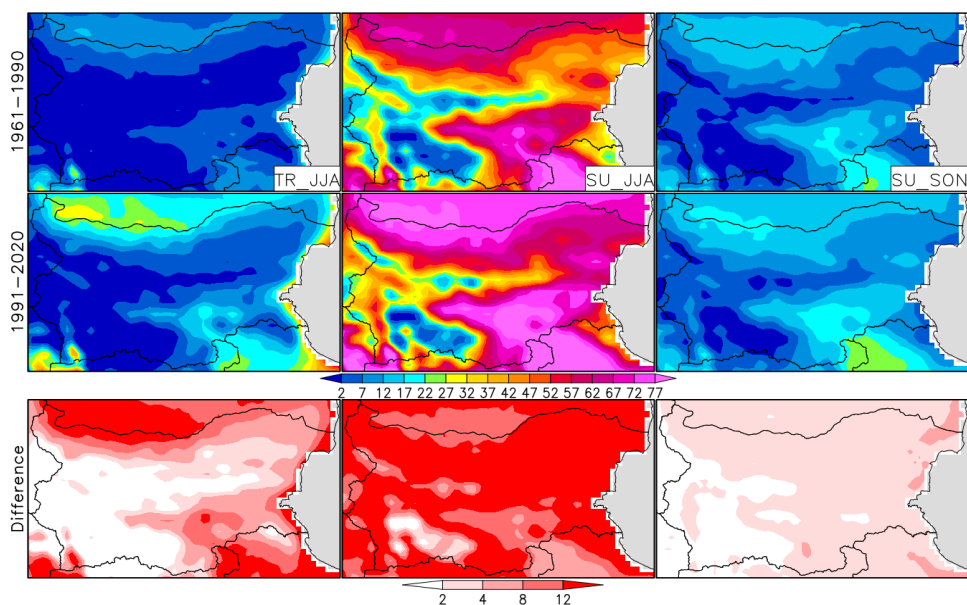
Фигура II.2.5-1 представя сравнение на характерните за студеното полугодие индекси на ледените дни (ID) и мразовитите дни (FD). Пространственото им разпределение се отличава с добре изразен вертикален градиент. Стойностите и на двата индекса са значително по-големи през зимата, отколкото през пролетта.



Фиг. II.2.5-1. Многогодишни средни стойности на ID и FD за сезоните зима (DJF) и пролет (MAM) по данни от ERA5 Land. Абсолютните разлики на втория период спрямо първия са показани на третия ред. Единиците са брой дни.

Ледените дни през зимата са от 1-2 до 20-28 в ниската част и приблизително двойно повече в планинската част от страната (над 70-80 дни по върховете). За мразовитите дни съответните средни стойности са 60 и над 80. Площно осреднените стойности през преходните сезони, и особено през есента, са много малки дори в планинските райони. В периода 1991–2020 г. индексът ID намалява през зимата средно с 2 дни в ниската част и с 4 дни в планините. В 54% от климатичните станции намалението е с повече от 1 ден (9-11 дни на места в Северозападна България). През пролетта изменението е незначително – само в 13% от станциите е повече от 1 ден.

По отношение на мразовитите дни през зимата имаме както значително намаление (при 64% от станциите), така и нарастване (в 17% от станциите). Индексът FD намалява през втория период средно с 4 дни в ниската част и с 2 дни в планините. На места в Северна България разликата надвишава 5 дни. През пролетта FD намалява в 52% и нараства в 19% от станциите, но средно взето промяната в непланинската част е несъществена, за разлика от планините (средно 3 дни по-малко). През есента съотношението намаляване/нарастване на FD по станции е 68% към 6%; FD намалява средно с 2 дни в непланинската част и с 5 дни в планините.

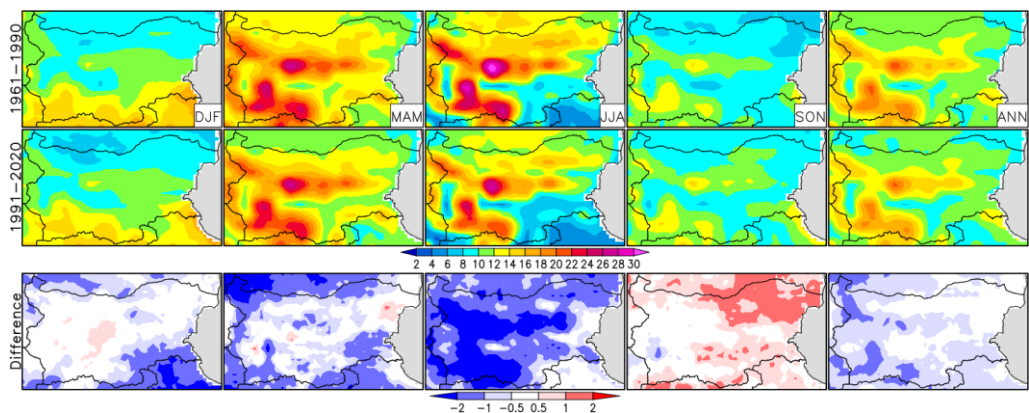


Фиг. П.2.5-2. Многогодишни средни сезонни стойности на TR за лятото (JJA) и на SU за лятото и есента (SON) по данни от ERA5 Land. Абсолютните разлики на втория период спрямо първия са показани на третия ред. Единиците са брой дни.

Фигура П.2.5-2 илюстрира измененията при характерните за топлото полугодие индекси тропически нощи (TR) и летни дни (SU). В периода 1961–1990 г. стойностите на TR са 3-7 дни в северната част на Дунавската равнина

и по-голямата част от Горнотракийската низина, 8-12 дни по поречието на р. Дунав (и на отделни места по поречията на реките Марица и Тунджа), над 20 дни по черноморското крайбрежие и южната част на долината на р. Струма. През втория период установяваме нарастване на индекса TR с 4-12 дни в по-голямата част от тези райони (над 12 дни по Черноморието и долината на р. Струма). Многогодишната средна стойност на SU през лятото е 60-75 дни в равнините и под 10 дни в планините, намалявайки значително с надморската височина. В периода 1991–2020 г. най-съществено е нарастването на SU през лятото, което за голяма част от страната е над 12 дни. През есента SU нараства с повече от 2 дни само в непланинската част (над 8 дни на отделни места). Разликите между двата периода са значими и за двата индекса.

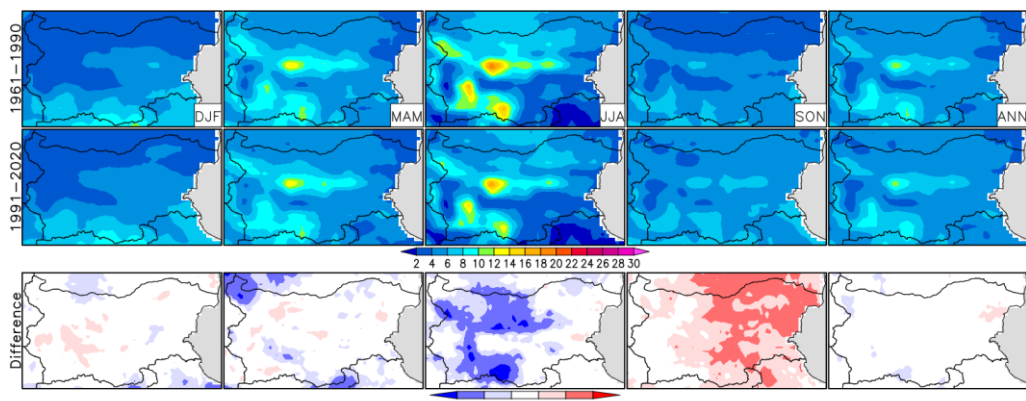
Отличителна особеност на валежно базираните индекси е пространствената им нехомогенност. Вертикалният градиент е добре изразен през пролетта и лятото, когато конвективните валежи са определящи при формирането на сезонните суми. Многогодишната средна стойност на дните с валеж над 5 mm (R05mm) е около 8-15 дни в равнинната част от България и над 20 дни в планините (фиг. II.2.5-3).



Фиг. II.2.5-3. Многогодишни средни стойности на R05mm за сезоните зима, пролет, лято и есен по данни от ERA5 Land, както и на годишна база (ANN). Абсолютните разлики на втория период спрямо първия са показани на третия ред. Единиците са брой дни.

Разликите между двата периода през зимата, пролетта, лятото и годишно са преобладаващо отрицателни, а през есента – положителни. По абсолютна стойност са от порядъка на 1-2 дни за по-голямата част от България. В 25% от станциите R05mm намалява с повече от 1 ден през лятото, докато в 40% от станциите (предимно в източната част на страната) нараства с повече от 1 ден през есента.

Пространствената и сезонната изменчивост на броя на дните с валеж над 10 mm (R10mm) са сходни с тези на R05mm (фиг. II.2.5-4). В 22% от станциите (също в източната част на страната) R10mm нараства с повече от 1 ден през есента.



Фиг. П.2.5-4. Многогодишни средни стойности на R10mm за сезоните зима, пролет, лято и есен по данни от ERA5 Land, както и на годишна база (ANN). Абсолютните разлики на втория период спрямо първия са показани на третия ред. Единиците са брой дни.

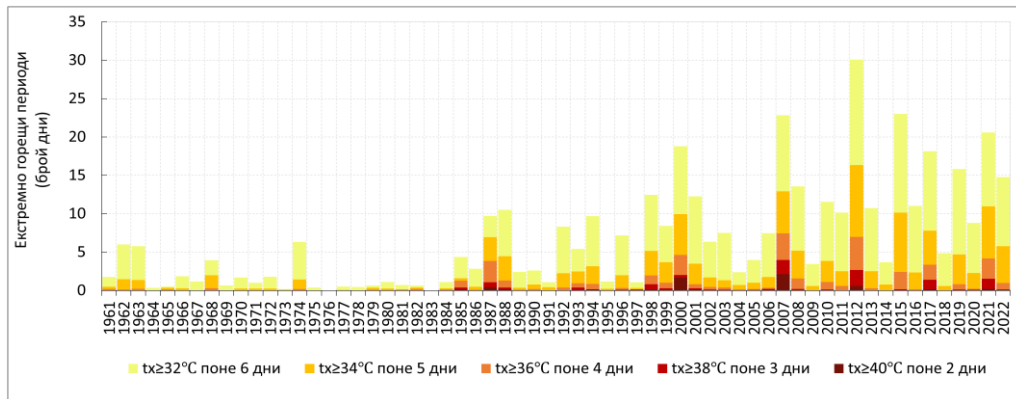
Като цяло не се наблюдават съществени разлики между двата периода на годишна база поради различните знаци на промяната в отделните райони. През есента нарастват случаите на умерени и силни валежи главно в източната част на страната. През лятото, особено в припланинските и планинските райони, приносът на умерените и силните валежи в сезонната сума намалява.

П.2.5.2. Горещи вълни

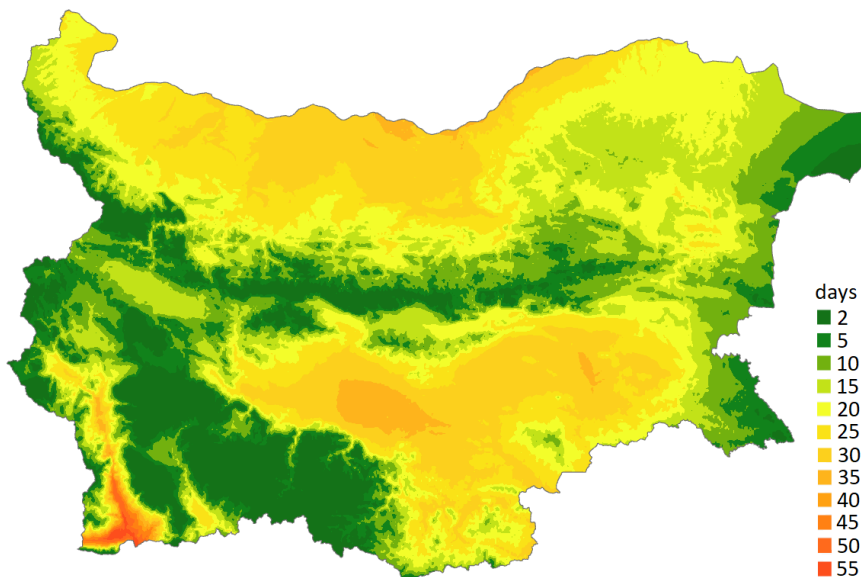
Продължителните горещини в България са свързани най-често с адвекция на тропични въздушни маси над Балканския полуостров и допълнително радиационно прегряване при наличието на слабоградиентно приземно барично поле. Максималните температури над 42-43 °C са сравнително рядък, но възможен температурен екстремум. В съответствие с получените статистически оценки на високите температури, характерни за климата на ниската част от страната през топлото полугодие, горещите периоди могат да се дефинират като периоди с максимална температура на въздуха $\geq 32, 34, 36, 38$ и 40 °C при съответна продължителност от поне 6, 5, 4, 3 и 2 последователни дни. Този климатичен индикатор описва добре тежестта на горещините в страната като комбинирана оценка на тяхната интензивност и продължителност (Malcheva et al., 2021).

Има ясно изразена тенденция на нарастване на честотата на горещите периоди в последните десетилетия (фиг. П.2.5-5). Всички изключително горещи периоди с максимални температури ≥ 38 °C и ≥ 40 °C и около 90% от горещите периоди при прагови стойности 32, 34 и 36 °C се появяват след средата на 80-те години на миналия век. В някои райони на Източна България и високите полета на Западна България почти всички горещи периоди са регистрирани след 1985 г. Явлението е характерно за месеците юли и август, но относителната му честота през юни и септември нараства след 1985 г., достигайки до 5-8% от общия брой случаи. Най-

тежките горещини, свързани с продължителното задържане на много високи температури, са регистрирани през 2007 г., следвани от тези през 2000 и 2012 г. Най-горещото място в страната е долината на р. Струма до Кресненското дефиле, където индикаторът достига максимуми при всички температурни прагове. В отделни години се наблюдават екстремни горещини с температури $\geq 40^{\circ}\text{C}$ в 6-8 последователни дни. Анализите за периода 1961–2020 г. показват, че средният многогодишен брой горещи дни (с максимални температури $> 32^{\circ}\text{C}$) в този район е 40-55 (фиг. II.2.5-6).



Фиг. II.2.5-5. Многогодишно изменение на средната за страната сумарна продължителност на регистрираните горещи периоди при различни прагови стойности (1961–2022 г.)



Фиг. II.2.5-6. Пространствено разпределение на средния многогодишен брой горещи дни (1961–2020 г.)

В планинските райони и някои отделни крайбрежни зони (особено по Северното Черноморие) горещите дни са от 0 до 2-3 годишно, следвани от високите полета в Западна България, хълмистите и нископланинските райони и Черноморието (до 10-11 дни). В Северна България, главно в централната част на Дунавската равнина, те достигат 25-35 дни, а в Тракийската низина, ниските части на Източните Родопи и Странджа и по долините на реките Струма и Места са най-много и варират от 20-25 до над 50 дни.

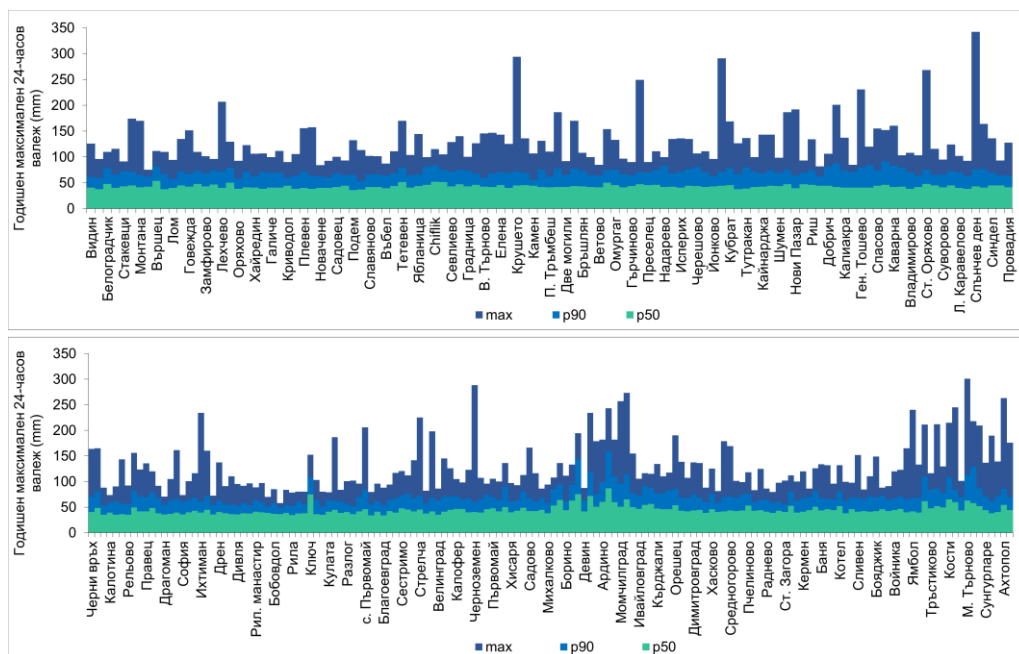
II.2.5.3. Екстремни валежи

Максималният 24-часов валеж, изчислен на месечна или годишна база, е включен в основната група от 27 индекса на ETCCDI за оценка на изменението на климата и представлява една от основните характеристики на екстремните валежи, често използвана при анализа на риска от наводнения. От началото на века в България са регистрирани значителен брой екстремни 24-часови валежи (особено през 2005 и 2014 г.), довели до значителни щети и човешки жертви. Като цяло годишният ход на максималните 24-часови валежи следва особеностите на валежния режим в страната. В районите с континентален климат броят на дъждовните дни, както и случаите на обилни валежи се увеличават значително през втората половина на пролетта, с отчетлив пик в началото на лятото. През втората половина на есента валежите са предимно фронтални. В районите, повлияни по-силно от средиземноморския климат, 24-часовите валежи достигат максимални стойности през втората половина на есента и началото на зимата. Въпреки че количеството и интензивността на валежите намаляват през пролетта, в началото на лятото се наблюдава втори максимум. По Черноморието най-дъждовният сезон е есента.

Годишните максимални 24-часови валежи са определени на базата на ежедневните измервания на валежа в метеорологичната мрежа на НИМХ в 7.30 ч. местно време. Оценката на многогодишното изменение на средния за страната годишен максимален 24-часов валеж за периода 1961–2020 г. показва почти равни стойности за северната и за южната част на страната – около 47-48 mm, но вариацията на този показател в Северна България е около 1.5 пъти по-голяма (https://bulletins.cfd.meteo.bg/bull/Godishen_buletin_NIMH_2020.pdf). От средата на 90-те години на миналия век се забелязва нарастваща тенденция (~3 mm/10 г.), която не е статистически значима. В отделни станции и райони обаче се установяват значителни промени в режима на годишния максимален 24-часов валеж – в над 9% от станциите (предимно в Източните Родопи, Източната Горнотракийска низина и Североизточна България) тенденцията е нарастваща, а в около 5% от станциите – намаляваща (предимно в Югозападна България и високите части на планините).

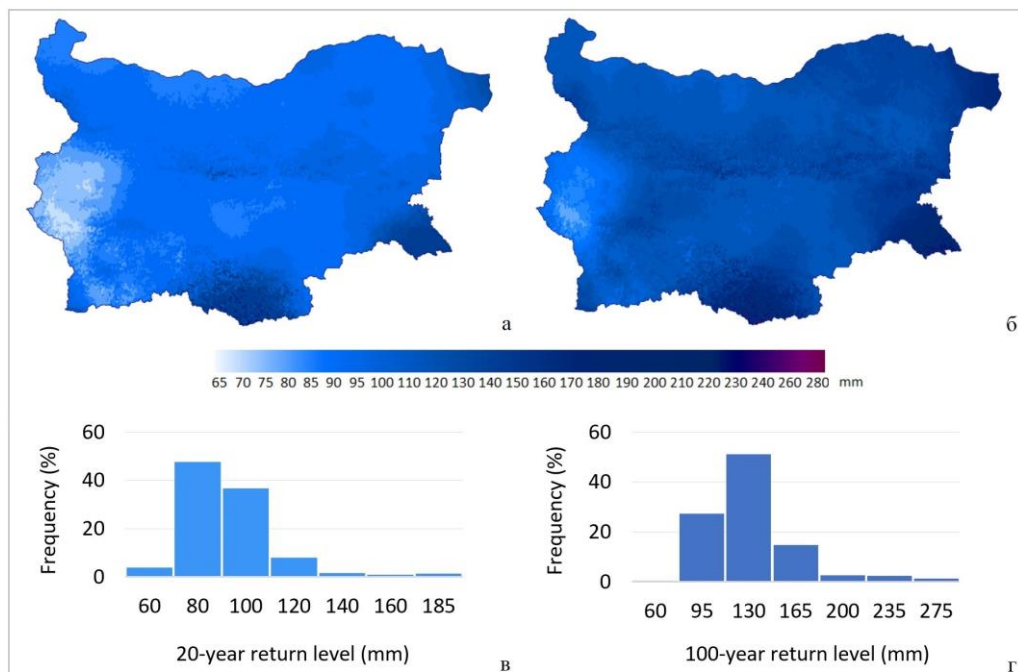
Особеностите на териториалното разпределение на максималния 24-часов валеж се обуславят както от широкомащабните процеси на атмосферна циркулация над Европа и Балканския полуостров, така и от локални процеси,

често свързани с екстремни извалявания. Анализът на редиците от годишните максимуми по станции (за целия период на наблюдение) показва, че при 87% от станциите стойностите на 90-ия перцентил попадат в категорията на потенциално опасните валежи (≥ 60 mm/24 h). При около 5% от станциите в тази категория попадат и стойностите на 50-ия перцентил. Медианата на регистрираните максимуми е 111.5 mm. Най-ниските максимални стойности (60-80 mm) преобладават в централните части на Западна България и по горното поречие на р. Струма, а най-високите (над 200 mm) – в Източните Родопи, Странджа, източната част на Дунавската равнина и северното черноморско крайбрежие (фиг. П.2.5-7).



Фиг. П.2.5-7. Статистически характеристики на годишния максимален 24-часов валеж в Северна България (горе) и в Южна България (долу) по станции (за целия период с наблюдения) – максимална стойност (max), 50-и перцентил (p50) и 90-и перцентил (p90).

Пространственото разпределение на характеристикните стойности (*return levels*) на максималния 24-часов валеж с вероятност за превишение 5% и 1%, т.е. период на повторение 20 и 100 години е представено на фиг. П.2.5-8. Средните за страната стойности са съответно 79.5 mm и 109.3 mm. По-ниските стойности преобладават в централната част на Западна България и горната част от долината на р. Струма, докато по-високите стойности (в отделни райони и над 200 mm) са характерни за южните части на Родопите, Странджа, централната част на Стара планина, най-северната и най-южната част на черноморското крайбрежие (Malcheva et al., 2020).



Фиг. П.2.5-8. Разпределение на характеристичните стойности на максималния 24-часов валеж с период на повторение веднъж на 20 години (а, в) и веднъж на 100 години (б, г).

Въпреки че няма ясно изразена тенденция за изменение на годишната сума на валежите в страната, както беше показано по-горе, в някои райони на Централна Южна България (най-вече Родопите) и в Североизточна България се установява статистически значимо нарастване на приноса на потенциално опасните валежи (≥ 60 mm/24 h) към годишната сума (Bocheva, 2015). Пространственото разпределение на тези екстремни събития като цяло съвпада с представеното на фиг. П.2.5-8 разпределение на 24-часовите валежи с голям период на повторение и до голяма степен следва разпределението на годишните валежи (колкото по-голяма е сумата на валежите, толкова по-висока е честотата на потенциално опасните валежи). Най-голямата разлика се наблюдава в Североизточна България, където честотата на екстремните валежи е сравнително висока, докато средно многогодишните валежи са едни от най-ниските в страната (Bocheva&Malcheva, 2020).

II.2.5.4. Наводнения

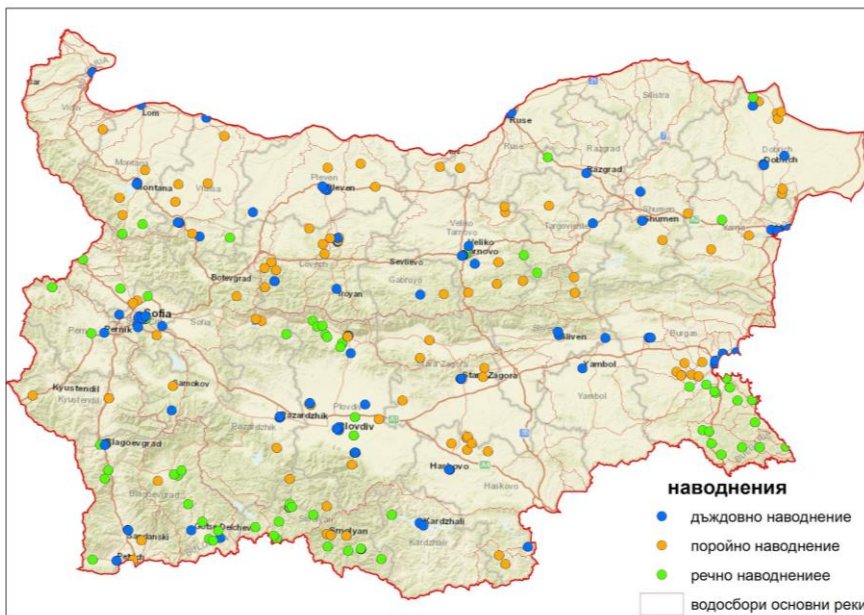
Наводненията като екстремни хидрологични събития са били и продължават да бъдат една от най-важните природни опасности, причиняващи човешки жертви и икономически загуби. Свързването на изменението на климата с наводненията е много трудно. Не само много метеорологични, но и свързани с човека фактори влияят върху това дали ще се случи наводнение или не. Информацията за амплитудата и честотата на минали екстремни хидрологични събития в нашата страна е твърде малко, за да се оценят адекватно потенциалните размери и честотата на повторение на тези явления. В някои райони случилите се наводнения могат да бъдат отдалечени назад във времето и за тях да не се запазила надеждна информация. От 2016 г. в НИМХ се създава архив на регистрирани наводнения (Balabanova et al., 2019). Той съдържа важна информация за определянето и характеризирането на наводненията в хронологичен ред, включително синоптична, метеорологична и хидрологична, а където е налична – и информация за последиците от наводнението. Това е от голямо значение при оценката на потенциалните размери и честотата на случване на наводненията, както и за по-доброто анализиране и по-доброто разбиране на факторите, които водят до екстремни хидрологични събития в България.

Основните типове наводнения, характерни за нашата страна, са:

- Речни наводнения – характеризират се с повишаване на водните нива в резултат на продължителни, значителни валежи в горните части на водосборите и разливане над естествените брегове или диги на река или поток.
- Поройни наводнения – наводнения с малка продължителност и голям пик на водното количество. Това са бързо развиващи се явления (обикновено до 6 часа от започването на интензивните валежи) върху сравнително малка площ. Тези наводнения могат да се случат и в малки райони, които обикновено са сухи и без постоянна речна мрежа.
- Дъждовни (повърхностни) наводнения – случват се, когато интензивните валежи надвишат инфилтрационния капацитет на почвата или капацитета на градските отводнителни мрежи.

На фиг. II.2.5-9 е представена карта на регистрирани наводнения, разпределени по тип, за периода 2016–2022 г., а в табл. II.2.5-2 е показано процентното разпределение на типовете наводнения за всяка година. Поройните и дъждовните наводнения, които са в резултат на интензивни валежи и настъпват до няколко часа от започването на валежа, са 77% от всички наводнения. Останалите 23% от регистрираните наводнения са речни. Дори през сухата 2019 г. в базата данни са регистрирани 59 наводнения, по-голямата част от които през месеците май и юни.

На фиг. II.2.5-10 е представена карта на регистрирани наводнения в периода 2016–2022 г., разпределени по сезони, а в табл. II.2.5-3 е показано процентното разпределение на типовете наводнения по сезони.



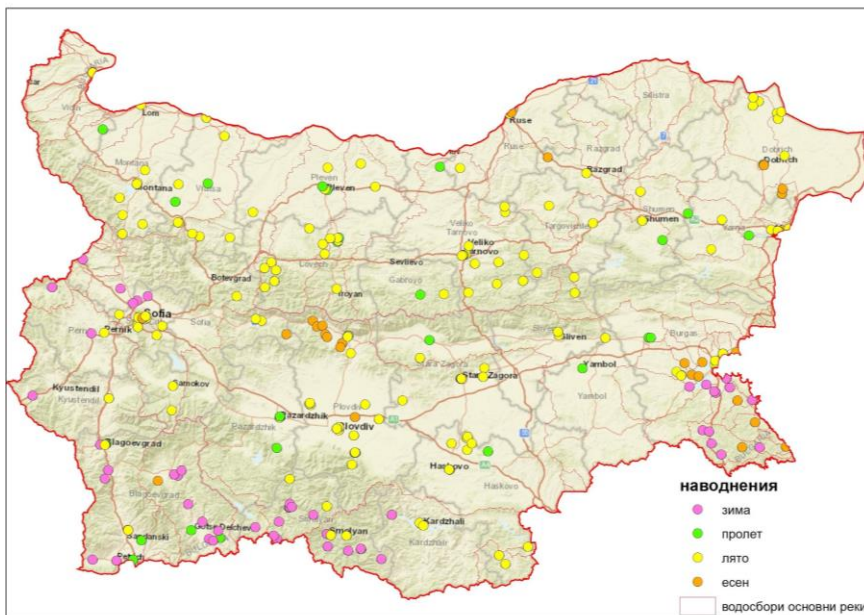
Фиг. П.2.5-9. Регистрирани наводнения в периода 2016–2022 г. в България.

Табл. П.2.5-2. Разпределение на типовете наводнения по години в %

Година	Дъждовни наводнения,	Поройни наводнения,	Речни наводнения,
	%	%	%
2016	55	45	-
2017	24	68	8
2018	45	47	8
2019	44	51	5
2020	67	22	11
2021	26	9	65
2022	45	16	39
Общо, %	42	35	23

В резултат на повишаването на температурите през зимните месеци и по-ранното снеготопене характерното за България пролетно пълноводие на реките и рискът от речни наводнения се изместват в зимните месеци – декември и януари.

Интензивните валежи са следствие на конвективни процеси в атмосферата, които са характерни за летния сезон. От друга страна, летните засушавания ограничават инфилтрационната способност на почвата и са предпоставка за възникване на поройни наводнения. В последните години 93% от случилите се през лятото наводнения са поройни и дъждовни.



Фиг. П.2.5-10. Регистрирани наводнения в периода 2016–2022 г. по сезони.

Табл. П.2.5-3. Разпределение на типовете наводнения по сезони в %

ЗИМА			ПРОЛЕТ			ЛЯТО			ЕСЕН		
Дъждовни, %	Поройни, %	Речни, %	Дъждовни, %	Поройни, %	Речни, %	Дъждовни, %	Поройни, %	Речни, %	Дъждовни, %	Поройни, %	Речни, %
0.3	1.4	14.0	8.0	5.0	0.3	30.0	25.0	4.0	4.0	3.0	5.0
15.7			13.3			59.0			12.0		

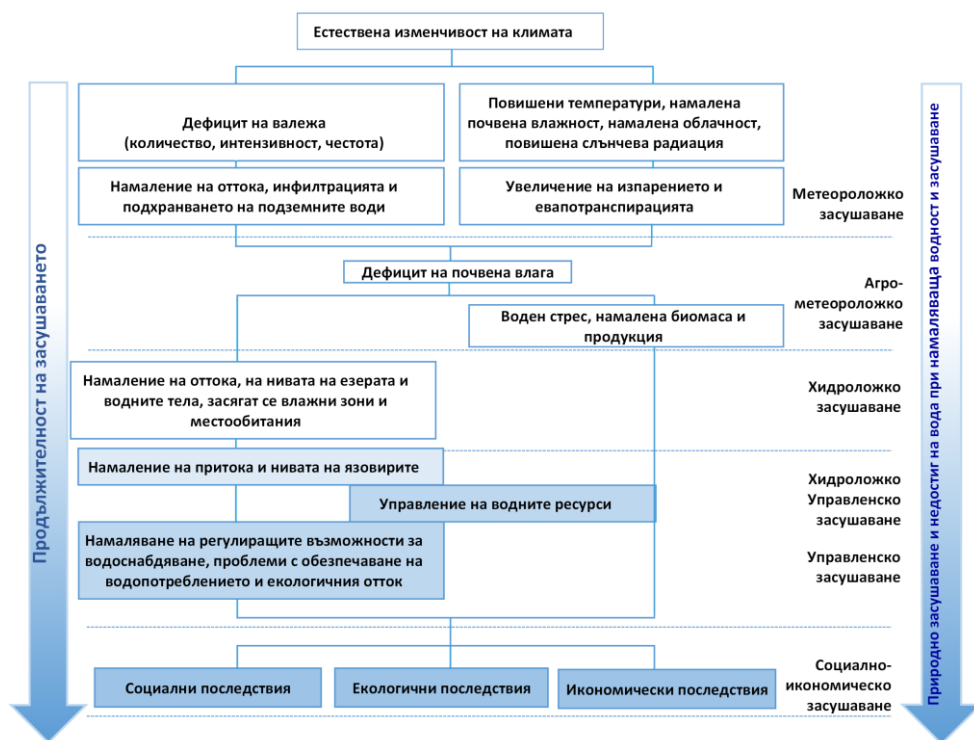
П.2.5.5. Суша

Сушата е едно от най-комплексните и мащабни климатични явления с негативно въздействие върху хората, околната среда и икономиката. Дефиницията за суша, възприета от IPCC, е: „Период на необичайно сухо време, достатъчно дълъг, за да предизвика хидроложки дисбаланс“. Според засегнатите от засушаването елементи на хидроложкия цикъл могат да се определят следните типове суша: метеорологична, агрометеорологична, хидрологична и социално-икономическа суша (фиг. П.2.5-11). Сушата се определя като триизмерно явление, характеризиращо се със своята суровост, продължителност и засегнатата територия.

Хидрологичната суша обикновено е фазово отместена и изостава от появата на метеорологичната и агрометеорологичната суша, защото е необходимо повече време, за да се прояви недостигът на валежи в хидроложката система (Rossi, 2011; Yordanova et al., 2022). Може да изминат дни и месеци, преди дефицитът на валежи да доведе до намаление на оттока в реките, спадане на нивата на подземните води, намаление на притока и на нивата на язовирите и дефицит във водоснабдяването. Хидрологичната суша е свързана с общо редуциране на

природните водни ресурси, а възстановяването на нормалното им състояние след засушаване е по-бавно. Сушата винаги засяга социално-икономическите и природните системи, но суровостта и последствията от засушаването зависят и от предприетите мерки.

Разработването на индикатори за оценка на засушаването е залегло в европейското и националното законодателство и е част от Плановите за управление при засушаване (*Drought Management plans, 2007*). Индикаторите са полезен инструмент, подпомагащ лицата вземащи решения (ЛВР) на национално, басейново и местно ниво, при оперативния анализ на засушаванията и предприемането на съответните мерки (незабавни, тактически и стратегически).

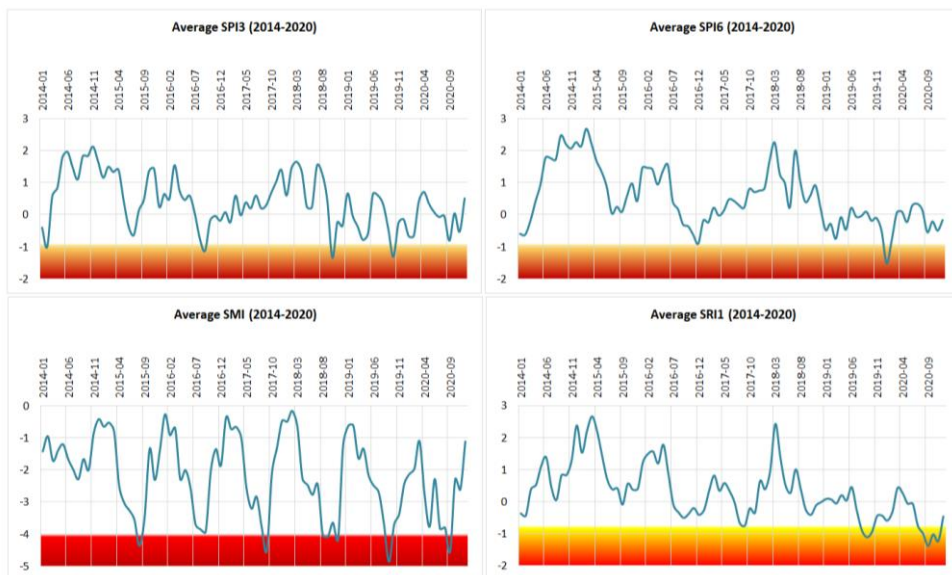


Фиг. П.2.5-11. Връзка типове – продължителност на засушаването (адаптирано по: Monzonis et al.)

НИМХ подпомага внедряването и използването на индекси на засушаване в оперативната практика на Министерството на околната среда и водите и Басейновите дирекции, като предоставя ежемесечна оценка на пространственото разпределение на три индекса на засушаване (вж. на <http://hydro.bg>):

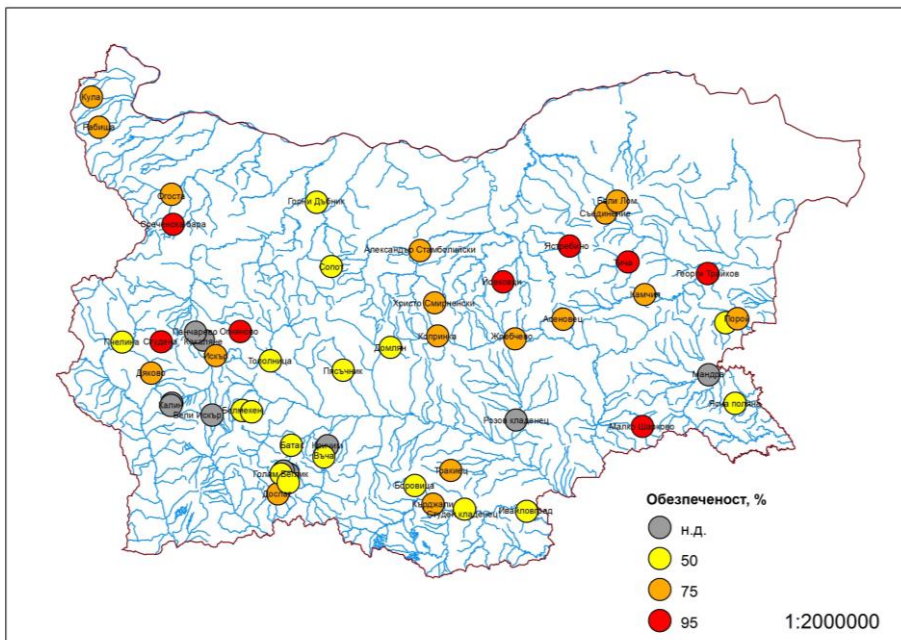
- *Стандартизиран индекс на валежите* – Standardized Precipitation Index (SPI): трансформира сумарното количество валеж за даден период (обикновено от 1 до 24 месеца) в стандартизирано нормално разпределение (McKee et al., 1993).

- *Индекс на почвеното засушаване* – Soil Moisture Index (SMI): определя интензивността на засушаването чрез оценка на наличната достъпна за растенията вода в почвата (Hunt et al., 2009), отнесена към максималното ѝ количество за даден почвен тип.
- *Стандартизиран индекс на оттока* – Standardized Runoff Index (SRI): служи за определяне на наличието и степента на засушаване в определен речен басейн (Shukla&Wood, 2008). Изчислението на SRI се извършва на база данните за речния отток.

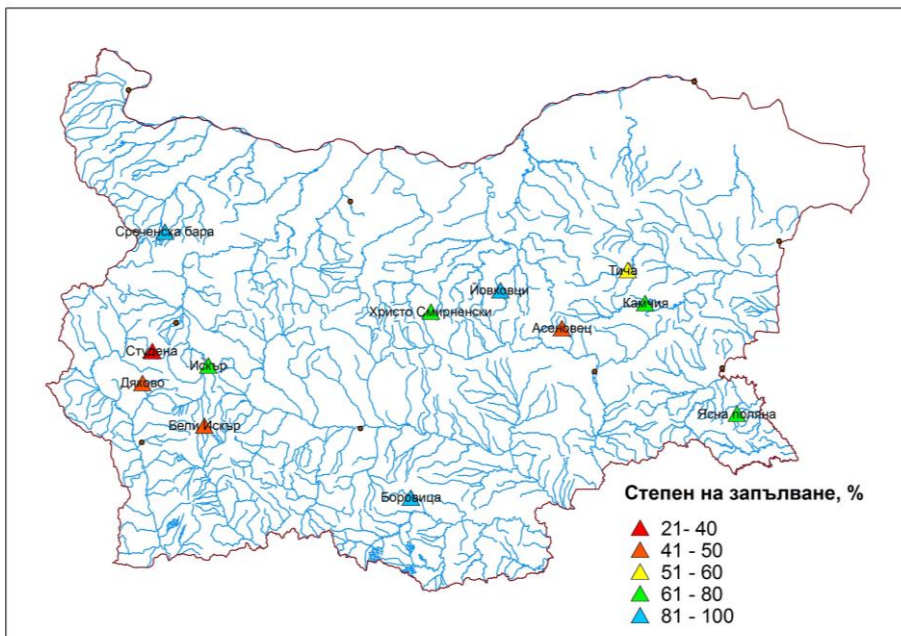


Фиг. П.2.5-12. Многогодишно изменение на средните за страната стойности на индексите, изчислени по точкови данни за периода 2014–2020 г. Степента на засушаване се определя по скала в зависимост от достигнатите прагови стойности.

Многогодишното изменение на средните за страната стойности на индексите, изчислени по точкови данни за периода на съвместен анализ 2014–2020 г., е представено на фиг. П.2.5-12. По-значителното хидроложко засушаване през 2019–2020 г. е добре отразено от SRI. То е резултат от натрупания дефицит на валежите (метеорологично засушаване, идентифицирано от SPI) и последвалото почвено засушаване, идентифицирано от SMI. Засегнати са всички водосбори (с изключение на р. Огоста), а продължителността варира от 1-2 до 11 месеца. Общият годишен обем на речния отток в страната през 2019 г. е с 52% по-малък от този през 2018 г., а в сравнение с нормите за периодите 1961–1990, 1971–2000 и 1981–2010 г. намалението е съответно 36.1%, 27.3% и 24.3%. За 2020 г. сравнението с нормите за същите три периода показва намаление на общия обем на речния отток съответно с 45.2%, 37.7% и с 35.0%. Спрямо предходната 2019 г. маловодието е нараснало с 14.2%.



Фиг. П.2.5-13. Сумарен приток към комплексните и значими язовири, юли 2019 г.



Фиг. П.2.5-14. Степен на запълване на язовирите за питейно-битово водоснабдяване, септември 2019 г.

Най-значително е намалението на оттока за Черноморския водосборен басейн, следван от Западнобеломорския, Източнобеломорския и Дунавския водосборен басейн. И през двете сухи години запасите на подземни води се понижават, като в над 70% от хидрогеоложките пунктове на територията на цялата страна е регистрирано намаление на нивата и дебитите спрямо нормите през отделни месеци. Освен това и през двете години има преобладаваща тенденция на намаляване (над 80% от наблюдаваните случаи) на запасите на подземни води през есенно-зимния период (Drumeva-Antonova et al., 2022). Налице е и недостиг на вода и социално-икономически въздействия в условията на продължително засушаване.

Чрез съвместен анализ на индикаторите за хидрологично, метеорологично и агрометеорологично засушаване и индикаторите, използвани от МОСВ (приток и нива на язовирите), се идентифицират т.нар. *горещи точки* и *критични райони* – язовири, водосбори и речни басейни, чиито регулиращи възможности са с намаляващ потенциал и са в риск при продължително засушаване (Ilcheva et al., 2022). По този начин, още преди юли 2019 г., се идентифицират рисковите поречия и водосбори и рисковите язовири „Студена“, „Дяково“, „Асеновец“, „Тича“ и др. (фиг. II.2.5-13 и фиг. II.2.5-14). Критични са две последователни сухи години и есенно-зимното засушаване.

За определяне на степента на засушаване в агрометеорологията се използват най-често индексът на Де Мартон (I_{DM}) и индексът за суша (A_{UNEP}).

Индексът на Де Мартон (De Martonne, 1925) е един от първите комплексни показатели, намерили приложение в агрометеорологичната практика за оценка на хидротермичните условия и пригодността на селскостопанските райони за развитие на земеделско производство. Изчислява се по следната формула:

$$I_{DM} = \frac{12 \times P}{T + 10}$$

където: P – месечна сума на валежите в mm; T – месечна температура на въздуха в °C.

Анализът е направен по агроклиматични групи, като метеорологичните станции са обединени в пет групи на базата на сумата на активните температури за периода от датата на устойчивото повишаване на средната денонощна температура на въздуха над 5 °C, 10 °C и 15 °C през пролетта до датата на трайното ѝ понижаване през есента, съответно под същите температурни граници (Захариев и др., 1986). По данни за потенциалния вегетационен период април-септември през периода 1981–2010 г. е показано, че през април, май и юни в страната преобладава полусух климат, на отделни места е умерено сух и само в ограничени райони е частично влажен (табл. II.2.5-4).





През юли и август преобладава полусух климат, който преминава в сух в ограничени райони на страната. През месец септември в по-голямата част от страната преобладава полусух климат и само на отделни места той е умерено сух.

Сравнението на месечните стойности на индекса на Де Мартон за два последователни тридесетгодишни периода: 1951–1980 г. и 1981–2010 г., показва, че климатът през втория период е станал по-сух в сравнение с предходния.

Табл. П.2.5-4. Характеристика на климата по месеци и агроклиматични групи (АКГ) за потенциалния вегетационен период

АКГ	Април	Май	Юни	Юли	Август	Септември
I	22	19	17	13	13	13.5
II	25	23	21	18	14	19
III	28	26	26	23	16	23
IV	26	24	24	20	16	25
V	32	31	32	19	20	24

Легенда

 Сух	 Умерено сух
 Полусух	 Частично влажен

За определяне на районите, засегнати от засушаване през периода 1981–2010 г., е използван индексът за суша, Aridity Index (AI), който представлява отношение между сумата на валежа (P) и потенциалната евапотранспирация (ET_p), определена по модифицираната формула на Penman-Monteith. Индексът за суша (AI_{UNEP}) е получен чрез прилагане на формулата, препоръчана от авторите на методологията за идентифициране на районите с естествени ограничения (Terres et al., 2016):

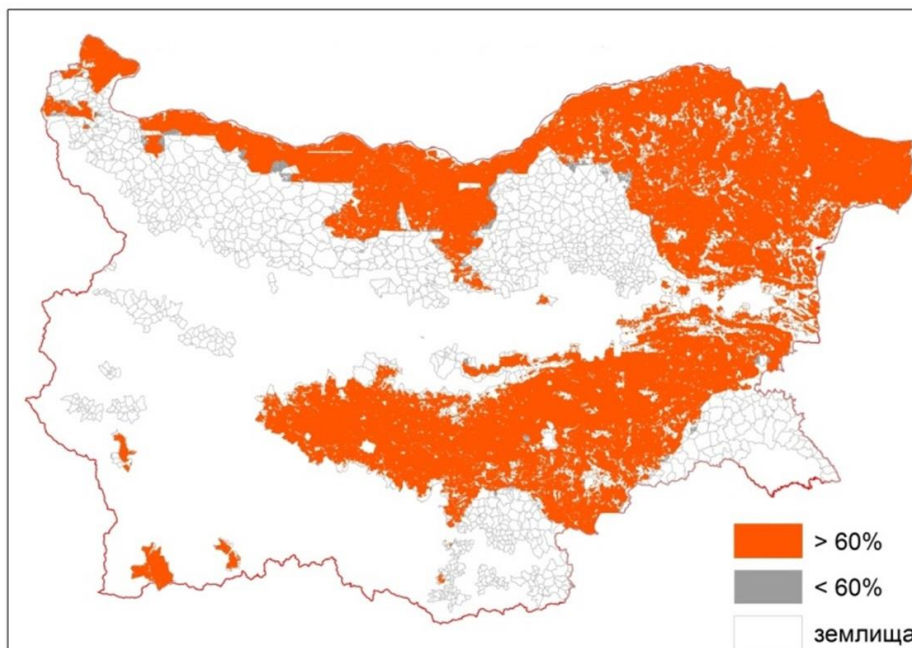
$$AI_{UNEP} = \frac{P}{ET_p}$$

където AI_{UNEP} е индексът за суша, P е годишният валеж в mm, ET_p е годишната потенциална евапотранспирация в mm.

Според методиката, представена в “Updated Guidelines for Applying Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Constrains”, JRC Technical Report (Terres et al., 2016), годините са определени като сухи, влажни и средни, в зависимост от стойността на индекса и броя на станциите, в които тези стойности преобладават. Той трябва да е > 50% от общия брой станции, за които се извършва пресмятането. За да бъде определен даден район за засегнат по критерия „суша“, той трябва да отговаря на стойност на AI ≤ 0.5 в повече от 20% от годините на периода на изследване (в случая 7 и повече). Площта на засегнатите по критерия „суша“ земеделски земи във всяко землище трябва да бъде ≥ 60%.

В изследване за периода 1981–2010 г. са идентифицирани регионите с ограничения по критерия „суша“ по землища (фиг. П.2.5-15). Те обхващат поречието на река Дунав, а в централните северни райони достигат до Предбалкана. Най-засегната от сушата е Североизточна България, включително и Добруджа. В Южна България са засегнати отделни места по долините на р. Струма (около Благоевград и Петричко-Санданския район) и р. Места. Все по-често ще се усеща недостигът на вода в Горнотракийската низина, някои райони

в областите Ямбол и Бургас. Резултатите от това изследване са използвани като един от критериите за определяне на необлагодетелстваните райони в България при изготвянето на Постановление № 25 от 20 февруари 2020 г. за изменение и допълнение на Наредбата за определяне на критериите за необлагодетелстваните райони и териториалния им обхват, приета с ПМС № 30 от 2008 г. (ДВ, бр. 20 от 2008).



Фиг. II.2.5-15. Земеделски земи с ограничения по критерия „суша“ за периода 1981–2010 г. по землища.

II.2.5.6. Слани

От агрометеорологична гледна точка появата на слана е свързана с неблагоприятно въздействие върху растенията и увреждане на селскостопанската продукция. Това явление е едно от най-важните екстремни събития за земеделието в умерените географски ширини, особено за страните от Югоизточна Европа (Malinovic-Milicevic et al., 2018; Papagiannaki et al., 2014; Micu et al., 2018). Най-опасни са късните пролетни и първите есенни слани. Най-големи щети пролетните мразове причиняват в началните фенологични фази – набъбване и разпукване на пъпките и цъфтеж при костилковите дървета като бадем, кайсия, праскова, череша и вишна. Те увреждат пъпките, цветовете и завръзките, което значително намалява добивите от посочените овощни видове. През 15 от първите 23 години на този век на територията на страната са наблюдавани щети от измръзване през месеците март и април предимно по костилковите насаждения от

кайсии, череша и праскови, а при по-късни слани (април-май) и на семковите – ябълки и круши. От 2015 г. всяка следваща година се регистрират студове с много висок интензитет и огромни загуби.

От полските култури най-уязвими към измръзване са средноранните и късните култури – слънчоглед, цвекло, соя, царевица, памук, ориз, дини, пъпеши и др. Всички зеленчукови култури също са чувствителни към пролетни и ранни есенни слани.

Датите на последните пролетни и първите есенни слани ограничават потенциалния вегетационен период в различна степен. Неговата продължителност зависи от датите на траен преход на средноденонощната температура на въздуха над и под 10 °С. През този период всички културни растения, с изключение на топлолюбивите, са в активна вегетация (Georgieva et al., 2023). С редици от данни за регистрирани слани по време на вегетационния период са направени вероятностни оценки за поява на мраз и е определен безмразният период. За различните региони на страната преходът се извършва в рамките на един месец. Най-рано се случва в северните крайдунавски райони, Централна Южна България и най-южните райони – до 20 март. В по-голямата част от страната температурите на въздуха през последното десетдневие на март трайно се повишават над 10 °С. Най-късно, през първото десетдневие на април, това се случва в крайните североизточни райони, Софийското поле и част от Предбалкана.

Най-ранната дата на регистриран мраз е в най-южната част на страната (Петрич, 16 март), а най-късната дата е в Дупница – 18 април. Най-често средната дата на пролетна слана е през първото десетдневие на април. Предвид средните дати на регистриране на чувствителните фенологични фази – разпукуване на пъпките и цъфтеж, нормалното развитие на костилковите дървета в някои райони е застрашено поради настъпването на фазите в рисков период. Най-чувствителни към късните пролетни слани са кайсиевите дървета. Обикновено цъфтежът в Горнотракийската низина и Кюстендилския район съвпада с периода с мраз. В сравнение с резултатите от последното подобно изследване, представено в Агроклиматичния атлас на България (1982 г.), площите със средна дата на слана от 20 март до 5 април са се увеличили и обхващат цяла Северна България, с изключение на най-източните части.

Най-късните дати на пролетните слани варират в широк диапазон. През първите две десетдневия на април е последната пролетна слана по западното поречие на река Дунав и в някои отделни райони (Монтана, Асеновград и Бургас). През третото десетдневие на април са най-късните пролетни слани в Централна Северна България, част от Западна и в Южна България. Първото десетдневие на май е периодът на късните пролетни слани в Горнотракийската низина и Североизточна България, с изключение на Черноморието. През второто десетдневие на май пролетни мразове се наблюдават по Черноморието, а през третото десетдневие – по високите полета на Западна България и в районите на Елхово и Крумовград.

Съпоставката на датите на късните пролетни мразове в периода 1931–1960 г. (Събев и др., 1963) и съвременния период 1961–2020 г. потвърждава тенденциите, докладвани от Menzel (2003) за Германия. Авторите отбелязват, че датите на последните пролетни мразове през периода 1951–2000 г. се изместват с +0.24 дни/година. В нашето изследване установихме, че в 62% от изследваните станции последните пролетни мразове настъпват по-късно в сравнение с предходния период, а средните дати на пролетната слана са 8 дни по-рано. Тези резултати показват нарастването на екстремния характер на времето и нарастващия риск за селското стопанство.

Средните дати на първите есенни слани са през последното десетдневие на октомври и първото десетдневие на ноември. Есенните слани настъпват по-рано в Северна България, с изключение на станциите по поречието на река Дунав, както и в някои райони на Горнотракийската низина, а в останалата част на Южна България – през първото десетдневие на ноември.

Най-ранните есенни слани са най-опасни за селското стопанство. Най-ранната поява на слана е през първото и второто десетдневие на септември в районите на Кнежа и Видин, крайните североизточни райони и високите полета на Западна България. В централната северна и североизточна част на страната най-ранната дата на поява на есенна слана е през третото десетдневие на септември. През първото десетдневие на октомври е датата на настъпване на ранните слани в останалата част от страната.

Продължителността на безмразния период е един от основните агроклиматични показатели за характеризиране на условията в обработваемите земи. Средната му продължителност варира от 187 до 232 дни. Югозападна България е районът с най-дълъг безмразен период, а с най-кратък са високите полета в Западна България.

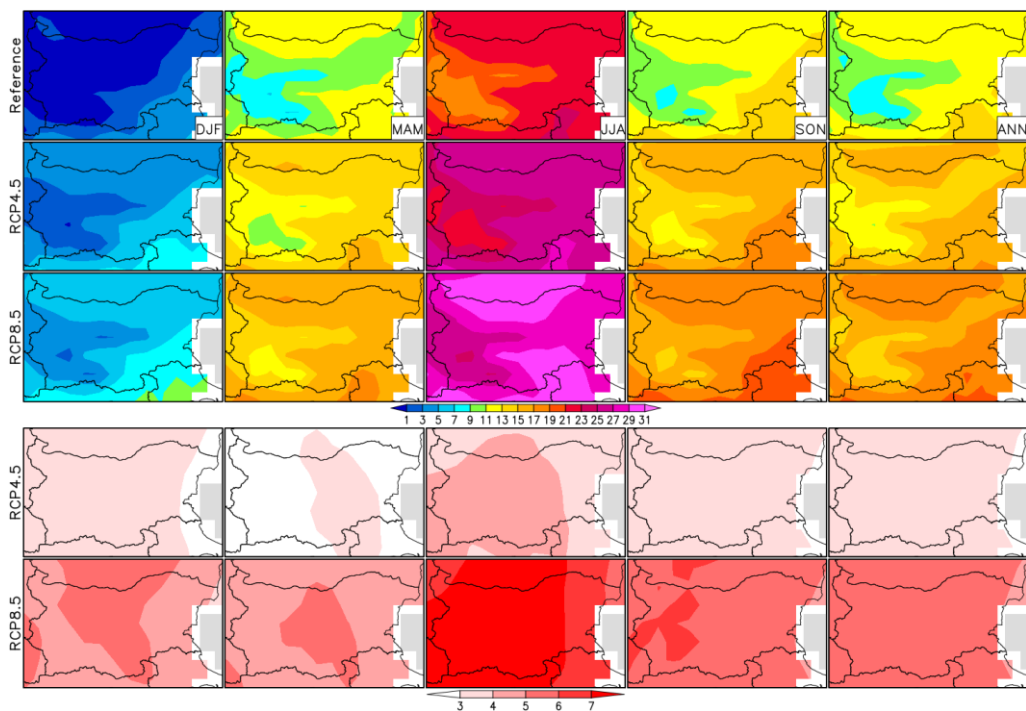
Предвид повишаването на температурата на въздуха през зимата и по-ранното започване на вегетационния сезон, продължителността на рисковите периоди по време на активната вегетация, когато растенията са в чувствителни фази от своето развитие, се увеличава. Периодът от средните до най-късните дати на поява на мраз за 70% от станциите е повече от 30 дни, като достига и до 56 дни. При овощните градини този период обхваща основните фенологични етапи, а при пролетните култури – поникването и листообразуването. Това е допълнително ограничение за потенциалния вегетационен период.

ГЛАВА III. КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ ДО КРАЯ НА ВЕКА

III.1. Очаквани промени на средната температура на въздуха и валежите

Очакваните сезонни промени на средната температура и валежите до края на века са оценени според два основни климатични сценария (RCP4.5 и RCP8.5) на базата на резултати от първия симулационен кръг на Проекта за взаимно сравнение на междусекторни модели на въздействие (ISIMIP Fast Track), който включва данни за над 20 климатични индикатора в равномерна мрежа с резолюция $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ от пет глобални циркулационни модела на CMIP5 за периода 1950–2099 г. Референтният период за дългосрочна оценка на климатичните изменения е 1981–2010 г. (<https://cds.climate.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/sis-agroclimatic-indicators?tab=overview>).

Сезонните и годишните стойности на средната температура и валежите са изчислени по многомоделната медиана от наличните в ISIMIP Fast Track модели.

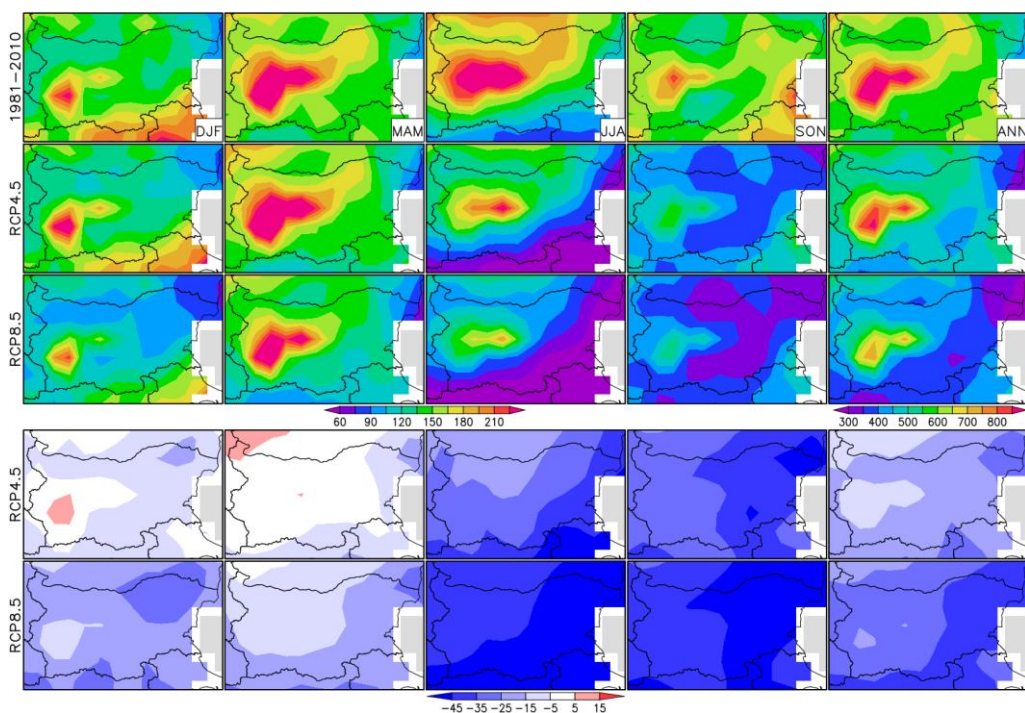


Фиг. III.1-1. Многогодишни средни стойности на температурата по сезони и годишно (ANN) за референтния (1981–2010 г.) и далечния бъдещ (2070–2099 г.) период, съгласно сценариите RCP4.5 и RCP8.5. На четвърти и пети ред са показани абсолютните разлики в бъдещия период спрямо референтния за двата сценария. Единиците са °C.

Фигура III.1-1 показва разпределението на средната температура на въздуха за територията на България по сезони и годишно за референтния и бъдещия период

съгласно данните от реанализа и климатичните симулации с двата сценария. Основният и най-отчетлив резултат е еднозначността на очакваното изменение – и при двата сценария за територията на цялата страна разликата е положителна. През всички сезони и на годишна база повишението на температурата е по-голямо за песимистичния, отколкото за реалистичния сценарий. То се изменя в зависимост от сезона, като е най-съществено през лятото (при RCP8.5 надхвърля 6 °C почти за цяла България). Очакваното нарастване на средногодишната температура (последната колона на фиг. III.1-1) е 3-4 °C за RCP4.5 и 5-6 °C за RCP8.5.

Изменението на разпределението на валежа както в пространството, така и във времето, особено в дългосрочен план, е значително по-разнородно от това на температурата. Разликите между симулационните резултати, получени чрез отделните модели, както и дисперсията в многомоделния ансамбъл са сравнително големи. Фигура III.1-2 представя разпределението на количеството валеж за референтния и за бъдещия период. Макар че пространствената резолюция е сравнително груба за локална климатична оценка, ясно се очертават сезонните особености в плътното разпределение на валежа за районите с различен валежен режим – континентален или средиземноморски тип.



Фиг. III.1-2. Многогодишни средни стойности на сумарния валеж по сезони и годишно (ANN) за референтния (1981–2010 г.) и далечния бъдещ (2070–2099 г.) период съгласно сценариите RCP4.5 и RCP8.5. Единиците са mm. На четвърти и пети ред са показани относителните разлики (в %) в бъдещия период спрямо референтния за двата сценария.

Като цяло в проектния бъдещ климат се очаква намаляване на количеството валеж, по-силно изразено при песимистичния сценарий и в Източна България. Изменението на годишната сума на валежа е от -5 до -25% при RCP4.5 и от -10 до -30% при RCP8.5. Редукцията на сезонните валежи достига най-големи стойности през лятото (30-35% средно за страната при RCP8.5). При симулациите със сценария RCP4.5 не се установява съществена промяна при зимните и пролетните валежи, дори в отделни райони те нарастват с около 5-10%.

Тези резултати се съгласуват добре с установените и очакваните дългосрочни изменения на температурата и валежите в континентален и регионален мащаб (напр. [Georgoulis et al., 2022](#); [Gadzhev et al., 2021](#)).

Таблица III.1-1 обобщава резултатите от анализа на очакваните изменения на температурата и валежите според двата сценария за близкото (2021–2050 г.) и далечното (2070–2099 г.) бъдеще ([Bocheva et al., 2023](#)). Наред със средногодишните стойности на минималната, средноденонощната и максималната температура (означени като TN, TG и TX) са анализирани седем ETCCDI индекса, изчислени на годишна база: абсолютна максимална температура (TXx), абсолютна минимална температура (TNn), максимален брой последователни мразовити дни (CFD), максимален брой последователни летни дни (CSU), сума на валежите (RR), брой дни с обилни валежи (RR10 mm) и максимален брой последователни сухи дни (CDD).

Табл. III.1-1. Изменение на климатичните индекси според RCP4.5 и RCP8.5 сценарии за близко (2021–2050 г.) и далечно (2070–2099 г.) бъдеще

Период	Сценарий	TN, °C	TG, °C	TX, °C	TNn, °C	TXx, °C	CFD, дни	CSU, дни	RR, %	RR10mm, дни	CDD, дни
2021-2050	RCP4.5	+1-2	+1-3	+1-4	+2-3	<+2	-7-14	+14-21	-5-8	-1-2	+4-6
	RCP8.5	+1-2	+1-3	+1-3	+3-4	+2-3	-7-14	>+21	-5-8	-2-3	+6-7
2070-2099	RCP4.5	+2-3	+3-4	+3-4	+3-5	+1-3	-18-30	+42-54	-10-15	-2-5	+10-15
	RCP8.5	+4-5	+5-6	>+6	+7-9	+5-7	-18-30	>+54	<-20%	-4-8	>+15

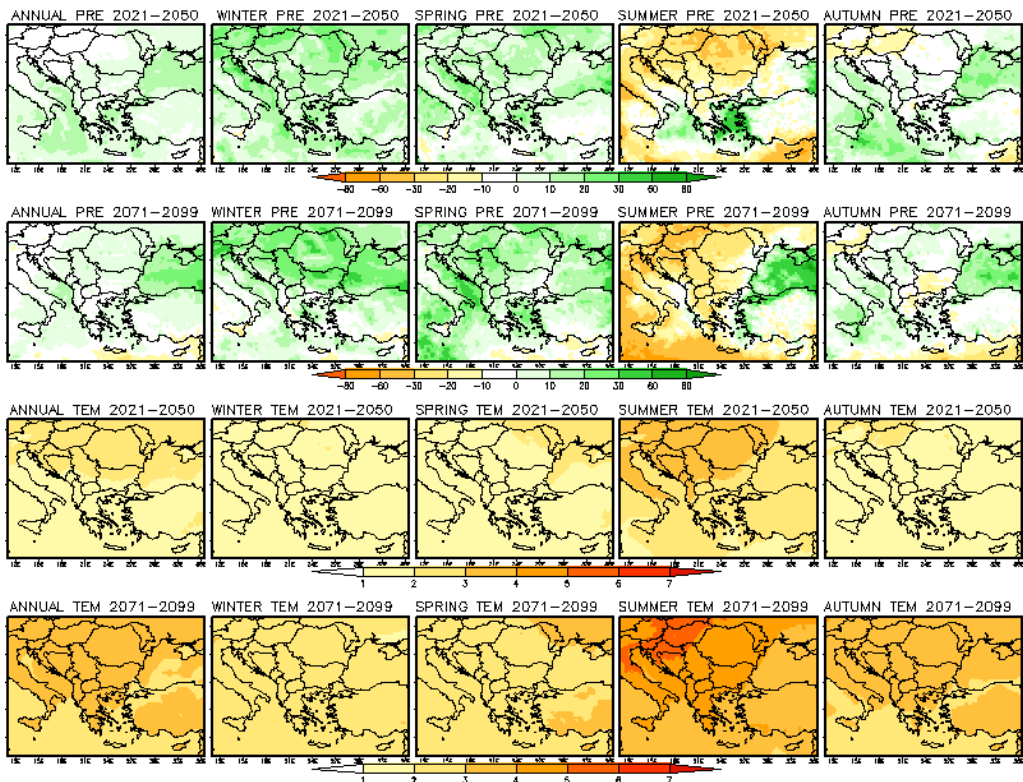
Отчетливото затопляне, изразено в пространствените модели и времевата еволюция на всички разглеждани температурни индикатори, е в съответствие с тенденциите на средноденонощната и екстремните температури. Открива се „асиметрия на затопляне“ (т.е. TNn нараства по-бързо от TXx, но намаляването на CFD е по-бавно спрямо нарастването на CSU). По отношение на индексите, базирани на валежите, резултатите потвърждават очакваното намаляване на валежите до края на века, но също така разкриват промени във валежния режим – по-малко обилни валежи и по-продължителни сухи периоди.

Изменението на средногодишната и на сезонните температури е симулирано и с регионалния климатичен модел RegCM4 с хоризонтална резолюция от 20 km (<https://github.com/ICTP/RegCM>) при същите сценарии (RCP4.5 и RCP8.5) за два бъдещи периода: 2021–2050 г. и 2071–2099 г. ([Valcheva&Spiridonov, 2021](#)). Избраният референтен период е 1975–2004 г. Резултатите потвърждават, че

затопяването ще продължи през всички сезони, и особено през лятото. Според сценария RCP4.5 се очаква средногодишната температура в България да се повиши с 1.8-2.1 °C в периода 2021–2050 г. и с 2.9-3.2 °C в периода 2071–2099 г. През първия период най-голямо затопяване може да се очаква през лятото (2.6-3.2 °C); през останалите сезони повишението е по-малко (1.5-1.9 °C). През втория период очакваното повишение на температурата по сезони е: 2.2-2.4 °C през зимата, 4-4.4 °C през лятото и 2.5-3.5 °C през пролетта и есента. Съгласно сценария RCP8.5 средногодишната температура ще нарасне с 2.1-2.2 °C през първия период и с 4.5-5.4 °C през втория. В периода 2021–2050 г. най-голямо затопяване може да се очаква през лятото (3-3.2 °C). През останалите сезони повишението на температурата е по-малко – 1.6-2.4 °C. В периода 2071–2099 г. се очаква сезонните температури да нараснат с 3.5-4.5 °C, с изключение на лятото, когато повишението на температурата може да достигне 6 °C.

Симулирането на валежите с регионалния модел RegCM4 съгласно сценария RCP4.5 (фиг. III.1-3) не показва значителна промяна в годишната им сума за периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1975–2004 г. – изменението варира от -5 до +10%. Нарастване на валежите с 10-15% се очаква през зимата (в по-голямата част от страната) и през пролетта (в отделни райони, предимно в Северна България). Значително редуциране на валежите, главно в районите с континентален климат, ще има през лятото (до 30% на места), с изключение на най-източните части (+5%). При есенните валежи изменението е в границите на $\pm 10\%$, като по-големите положителни отклонения са основно в източната и северозападната част на страната, а по-големите отрицателни отклонения – в югозападната (Valcheva, 2021; Valcheva&Spiridonov, 2023). В периода 2071–2099 г. изменението на годишния валеж е отново в границите $\pm 10\%$. Увеличението на зимните валежи е с около 20% в Северна България. През пролетта се очаква повишение с до 10% в северните и северозападните части на страната. Наблюдава се намаление на есенните валежи с около 10% в централните и южните части на страната, а на летните валежи с до 30% в западните райони. През лятото се наблюдава увеличение на валежите с 20% в най-източните части на страната.

Съгласно сценария RCP8.5 през периода 2021–2050 г. намалението на валежа през лятото и есента е между 10 и 20%, като през лятото то е най-голямо в североизточните части на страната. През втория период (2071–2099 г.) увеличение на валежа се наблюдава през зимата (с 20%) и пролетта (с 10%) предимно в северните части на страната. През лятото валежите намаляват в централните и югозападните части с до 30%, но нарастват по черноморското крайбрежие (с 20%). През есента може да се очаква намаление на валежа с до 20% в Централна и Южна България и увеличение в крайбрежната зона с около 10%.



Фиг. III.1-3. Симулирани средногодишни и сезонни промени на валежите (в %) – първите два реда, и на температурата (в °C) – вторите два реда, с регионалния климатичен модел RegCM4 по сценария RCP4.5 за периодите 2021–2050 и 2071–2099 г. спрямо референтния период 1975–2004 г. (Valcheva, 2021).

III.2. Изменение на агроклиматичните условия в близкото бъдеще

Изменението на климата поставя практически въпроси пред земеделието, които могат да бъдат решени само ако се разполага с информация за бъдещото развитие на тези изменения. Това е важно и предвид разработването на планове и политики за адаптация на сектора, а също така и за намаляване на приноса на селскостопанските дейности към антропогенното форсиране на климатичните промени. Тези познания ще дадат реалистична представа при определяне на приоритетите и насоките за усъвършенстване и промяна на общата селскостопанска политика (ОСП).

За оценка на въздействието на бъдещите климатични изменения и отражението им върху агроклиматичните условия са използвани ежедневни данни, получени чрез симулации от регионалния климатичен модел ALADIN по сценария за бъдещ климат SRES A1B за периода 2021–2050 г. за 56 представителни от земеделската зона на страната метеорологични станции. В изследването са използвани данни

за средните денонощни, минималните и максималните температури и 24-часовата сума на валежите. Извършена е съпоставка и са изчислени отклоненията на средните многогодишни температури и валежи за периода 2021–2050 г. спрямо периода 1961–1990 г. (Kazandjiev et al., 2023).

Отклоненията на януарската температура през разглеждания период са положителни в почти цялата страна и достигат до 1.2 °C, с изключение на северозападните и крайните югоизточни части на страната, където средните януарски температури се очаква да бъдат по-ниски с до 0.7 °C. Отрицателни средномесечни температури за януари (до -1.7 °C) се очакват само във високите котловини на Западна, в Северозападна и част от Централна Северна България и в областите Русе и Силистра. В останалата част на страната прогнозните стойности варират от 0 до 4 °C. Очакваното повишение на януарските температури влошава условията на покой на зимуващите култури и особено на овощните видове.

Стойностите на средната температура на въздуха през март се очаква да бъдат 7-8 °C в по-голямата част от страната. По-ниски температури се очакват в североизточните и северозападните райони, както и във високите котловини на Западна България (4-6 °C), а по-високи – в централните северни и южни райони на страната. Отклоненията на температурите показват затопляне, най-слабо изразено в Северозападна България и Софийското поле (с 0.3-1.0 °C). В останалата част от земеделската зона на страната през март се очаква да бъде по-топло средно с 1-2.2 °C, а в южната част на Добруджа и крайните южни райони на Централна Южна България повишението е с над 1.5 °C. Тези тенденции ще доведат до по-ранно начало на потенциалния вегетационен период.

През месец юли се очаква средните температури да достигнат 28 °C, като най-топло ще бъде в крайдунавските райони, Централна Северна България, както и в Тракийската низина (25-27 °C). Затоплянето продължава и през август – прогнозираното отклонение на средните месечни температури е в диапазона 1.2-3.7 °C, а в района на Петрич се очаква средната температура през август да бъде 27-29 °C. Повишаването на средните месечни температури през пролетните и летните месеци, когато протичат процесите на растеж, развитие и формиране на добивите при повечето земеделски култури, овощни насаждения и лозя, води до нарастване на сумите от активните температури. Те определят темпа на тяхното развитие, тъй като настъпването на всяка фаза е свързано с достигане на определено, характерно количество активни (ефективни) температури. В резултат на посочените тенденции средната сума от активни температури за периода 2021–2050 г. в Петричко-Санданския район се очаква да достигне 4800-5120 °C, а в централните части на страната – 4500-4800 °C. Увеличението на сумите на активните температури през периода март-октомври е от запад на изток и е в границите 300-660 °C.

Повишението на средните денонощни температури е свързано и с увеличение на максималните температури. Максимални температури на въздуха над 32-34 °C

предизвикват топлинен стрес при растенията, забавят растежа, влияят неблагоприятно на процесите на оплождане и опрашване и редуцират добивите.

Разпределението на годишната сума на валежите в земеделските райони на страната е неравномерно и се изменя в широки граници (от 360 до 770 mm). Очаква се количеството на валежите до 2050 г. да намалее средно с 10-25% спрямо референтния период 1961–1990 г. Това се отразява и на количеството на валежите във важните за земеделието периоди. В периода октомври-март, между сеитбата на есенниците и началото на вегетативното им развитие през пролетта, се извършва и есенно-зимното натрупване на вода в почвата. В западните и централните части на Тракийската низина, част от Подбалкана и почти цялата североизточна част на Дунавската равнина и Лудогорието, без Южна Добруджа, се очаква сума на валежите между 200 и 250 mm, което не осигурява достатъчна влагозапасеност при започването на пролетната вегетация (Дилков, 1959; 1960). Значително под оптималната сума ще бъдат валежите през периода на влагонатрупване в Северна Добруджа (средно 100-200 mm). Най-осезаемо, от 17 до 27%, се очаква да бъде намалението на валежите през есенно-зимния период в Североизточна, Югоизточна и Централна Южна България. Прогнозира се тяхното количество в северозападните, централните северни и югозападните райони на страната да остане същото или да се увеличи с до 10%.

Повишаването на температурите на въздуха през периода април-юни води до увеличаване на потреблението на вода от растенията. Очакваното количество на валежите през пролетно-летния период за територията на страната варира от 100 до 260 mm – най-малка е сумата на валежите (100-120 mm) в крайните североизточни и югозападни райони, докато в Предбалкана и в централната част на Северна България тя достига 200-260 mm. През следващите 30 години се очаква намаляване на валежите през пролетта и началото на лятото с до 10% в североизточните, югоизточните и централните райони на страната. В отделни райони на Източна България намалението ще достигне до 15%, а в крайните югозападни райони – до 30%. В същото време се прогнозира увеличение на валежите в крайните северозападни райони с до 30%.

Периодът юни-август се характеризира със завършване на вегетативното развитие и преминаване в репродуктивен стадий на повечето пролетни култури. През този период достигат беритбена зрелост и много сортове череша, кайсии, круши, ябълки, праскови и десертни сортове лозя, дини и пъпеши. Това се отнася и за всички сортове средно ранно полско производство на зеленчуци – домати, пипер, тиквички, патладжан, краставици, боб, бамя, картофи, моркови и др. През периода на формиране на добивите от посочените култури необходимостта от вода е значителна. При достигане на беритбена зрелост е препоръчително прибирането на продукцията да става в по-сухо време. Разпределението на валежите през този период формира две зони в посока изток-запад. Едната обхваща Черноморската климатична подобласт и част от Централна и Южна България (с валежи от 80 до 150 mm), а другата включва останалата част от страната (с валежи 150-260 mm). Отклонението на количеството на валежите през

летните месеци на периода 2021–2050 г. спрямо периода 1961–1990 г. се прогнозира да бъде от +20 до -45%. В Западна и Централна България се очаква валежите да бъдат с до 10% по-малко, а в източните райони с до 20% по-малко, като на отделни места намалението на валежите може да достигне 30-40%.

Посочените тенденции на изменение на температурите и на валежите и тяхното разпределение в различните земеделски райони се доказват и чрез индексите за комплексна оценка на агрометеорологичните условия. С данните, получени от климатичния модел ALADIN (при сценарий SRES A1B) за близко и далечно бъдеще (2021–2050 и 2051–2070 г.), са пресметнати индексът на засушаване на Де Мартон, хидротермичният коефициент на Селянинов – ХТК (Selyaninov, 1937), и стойностите на потенциалната евапотранспирация по Торнруейт (Thornthwaite, 1948).

България се намира в сравнително суха зона (стойностите на I_{DM} са между 20 и 40). В такива райони е необходимо през определени сезони недостигът на влага да се компенсира чрез напояване.

Хидротермичният коефициент на Селянинов е пресметнат по формулата:

$$ХТК = \frac{\sum R}{0.1 \times \sum T}$$

където: $\sum T$ е сумата на температурите през месеците от април до октомври, когато средноденонощната температура на въздуха е по-висока от 10 °С, а $\sum R$ е сумата на валежа за същия период.

ХТК е по-малък от 1.0 за повечето земеделски райони на България, което определя условията като засушливи до сухи (Slavov&Moteva, 2002).

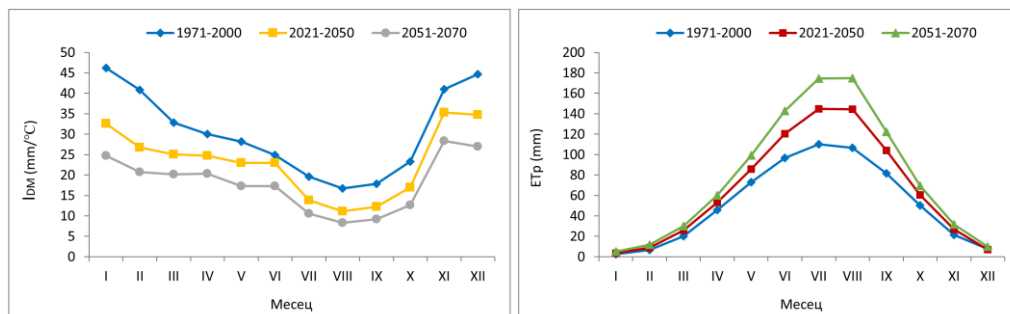
Тенденциите на изменение и на трите изследвани индекса за периода 1971–2010 г. са основателна причина и предпоставка да се прогнозира затопляне и засушаване в България в бъдеще (Eitzinger et al., 2008; Moteva et al., 2009; Kazandjiev et al., 2010). Съпоставянето на стойностите на индексите и тенденцията на промяната им в близкото и далечното бъдеще спрямо референтния период показва влошаване на хидротермичните условия за развитие на земеделие у нас (табл. III.2-1).

Според индекса на Де Мартон референтният период 1971–2000 г. се характеризира като влажен до умерено сух, но с тенденция към влажен ($I_{DM} = 29.7 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1}$). Условията в близко бъдеще се характеризират като умерено сухи ($I_{DM} = 21.3 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1}$), а тези в далечно бъдеще – като полусухи ($I_{DM} = 16.4 \text{ mm } ^\circ\text{C}^{-1}$).

Табл. III.2-1. Средни стойности на индексите за референтен период (1971–2000 г.), близко бъдеще (2021–2050 г.) и далечно бъдеще (2051–2070 г.)

Индекси	1971–2000 г.	2021–2050 г.	2051–2070 г.
I_{DM} , mm °C ⁻¹	29.7	21.3	16.4
ET_P по Торнруейт, mm	552	712	845
$ХТК$, mm °C ⁻¹	1.0	0.5	0.4

Стойностите на потенциалната евапотранспирация (ET_p), пресметната по формулата на Торнруейт, се променят от 552 до 845 mm, което е увеличение от 53%. Хидротермичният коефициент на Селянинов потвърждава прогнозата на I_{DM} . Ако водосъдържанието на почвите в периода 1971–2000 г. се характеризира като недостатъчно ($XTK = 1.0$), водният дефицит в периода 2021–2050 г. ($XTK = 0.5$) ще доведе до сериозен спад на добивите и деградация на агрокосистемите. Сериозни последствия за почвите се очакват в периода 2051–2070 г., предизвикани от силно нарушения им воден баланс ($XTK = 0.4$); в някои части на страната ще се наблюдават процеси на деградация на почвите, което следва да се смята за начало на опустиняване.



Фиг. III.2-1. Месечна динамика за различни периоди: 1971–2000, 2021–2050 и 2051–2070 г., на индекса на засушаване на Де Мартон (ляво) и на потенциалната евапотранспирация (ET_p) по Торнруейт (дясно).

Месечните стойности на индекса на Де Мартон се променят средно с 34% от първия към втория период и средно с 28% от втория до третия период. Най-големите промени се очаква да бъдат регистрирани през месеците юли, август и септември. Повишаването на средните температури през зимните месеци – декември, януари и февруари, и увеличаването на броя на периодите от последователни дни с температури, по-високи от 5 °C (5-12 дни), ще предизвикат увеличена консумация на вода от почвата както чрез изпарение, така и чрез транспирация. Освен това месечните стойности на ET_p се увеличават общо с 47.4% от първия до последния период. През месеците юли и август стойностите на ET_p се изменят от 105.0-108.5 mm (референтен период) на 144.6-145.0 mm (близко бъдеще) и 174.9-175.5 mm (далечно бъдеще). Разликата между граничните стойности през летните месеци на отделните периоди е равна приблизително на една месечна поливна норма (фиг. III.2-1).

Освен индексите на Де Мартон, ET_p и XTK , които са били използвани през първата половина на XX век, в анализа са включени някои индекси за стандартизиране на оценките на климатичните промени, разработени от ETCCDI:

ID – годишен брой дни, когато $TX < 0$ °C;

GSL – продължителност на вегетационния сезон (GSL), определен като брой дни между първото събитие в годината (начало, от 1 януари) от пет

последователни дни с $TG > 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ и първото събитие в годината (край, след 1 юли) от пет последователни дни с $TG < 5.0\text{ }^{\circ}\text{C}$;

CDD – максимален брой последователни дни с валеж $< 1\text{ mm}$;

CWD – максимален брой последователни дни с валеж $\geq 1\text{ mm}$.

Резултатите за периода 1961–2050 г., представени в [Kazandjiev et al. \(2021\)](#), са получени на базата на данни от наблюдения (за периодите 1961–1990 и 1971–2000 г.) и числена симулация с модела ALADIN (за периода 2021–2050 г. при сценарий SRES A1B) за 55 метеорологични станции от земеделската зона на страната (табл. III.2-2). Анализът показва, че:

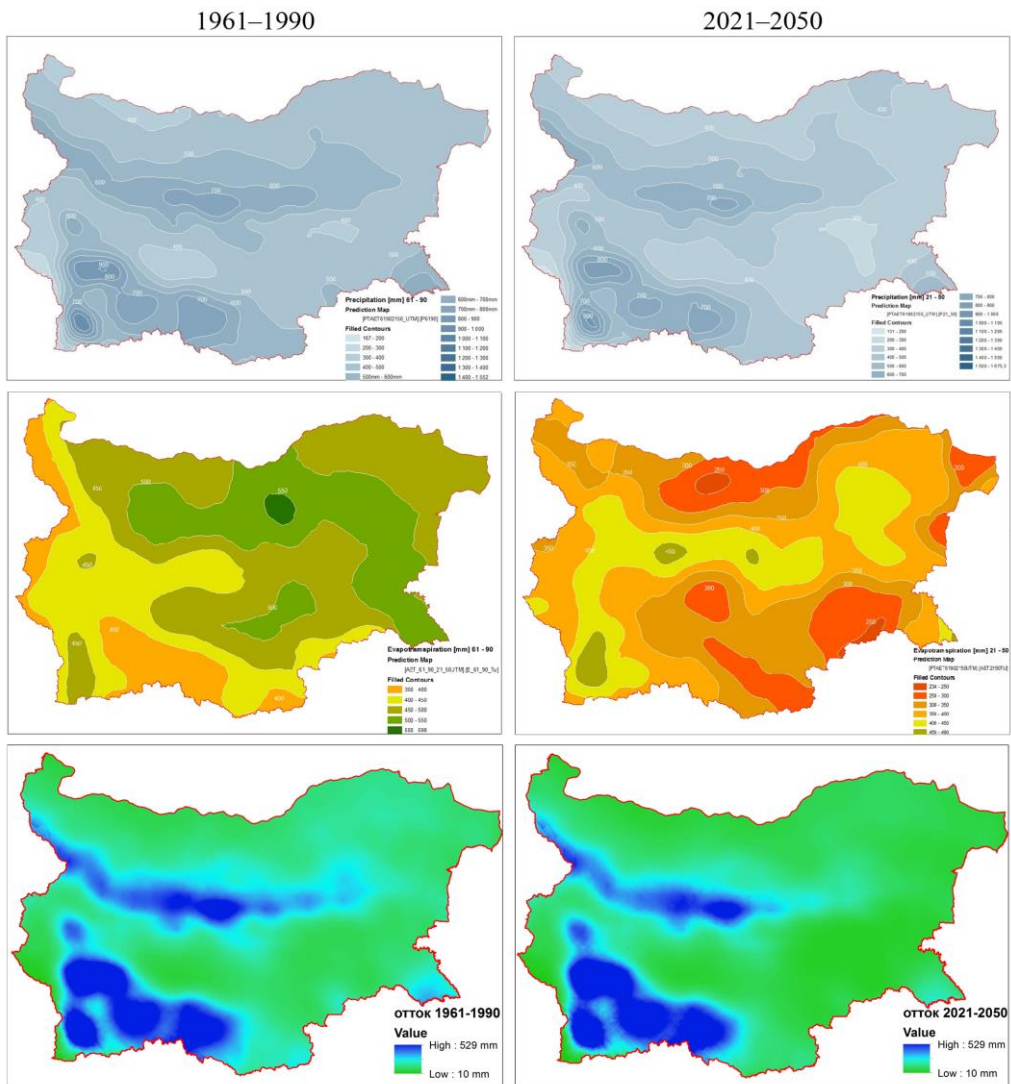
- броят на дните с максимална температура под $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ за периода 1961–2000 г. не се променя средно за страната, но с времето ще намалява, като до средата на този век се очаква да намалее с 5-8 дни в Северна България, което ще влоши условията на покой на земеделските култури;
- продължителността на вегетационния период за последните 30 години на XX век се е увеличила само с 8 дни в сравнение с 1961–1990 г., но това увеличение се очаква да достигне 31 дни през 2021–2050 г.;
- при видимо завишените стойности на температурните показатели се получават относително постоянни стойности на дните със и без валежи.

Табл. III.2-2. Стойности на индексите за стандартизиране на оценките на климатичните промени, разработени от ETCCDI, за два периода: 1. 1971–2000 г.; 2. 2021–2050 г.

СТАНЦИЯ	ID		GSL		CDD		CWD	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Г. Тошево	21	14	260	292	30	32	5	5
Хасково	10	6	273	313	35	34	5	5
Карнобат	10	7	273	307	36	36	5	5
Кнежа	24	17	247	282	30	32	6	6
Петрич	3	2	293	341	34	35	5	5
Пловдив	7	5	276	316	32	34	5	5
Русе	20	12	266	300	32	33	6	5
София	21	14	252	281	31	32	6	6
Варна	8	5	306	334	33	35	5	4
Видин	19	13	259	288	33	34	6	6
В.Търново	16	11	271	297	27	29	6	6
Ямбол	5	4	277	314	34	35	5	5

III.3. Влияние на климатичните промени върху водните ресурси

Хидрологичната система е много чувствителна към измененията на климата. Промените на количеството на валежите и на тяхното пространствено и времево разпределение, промяната на температурата на въздуха и на евапотранспирацията имат пряк ефект върху всички компоненти на хидроложкия цикъл и хидроложкия режим. Оценката на оттока е направена с прилагане на балансовия метод.



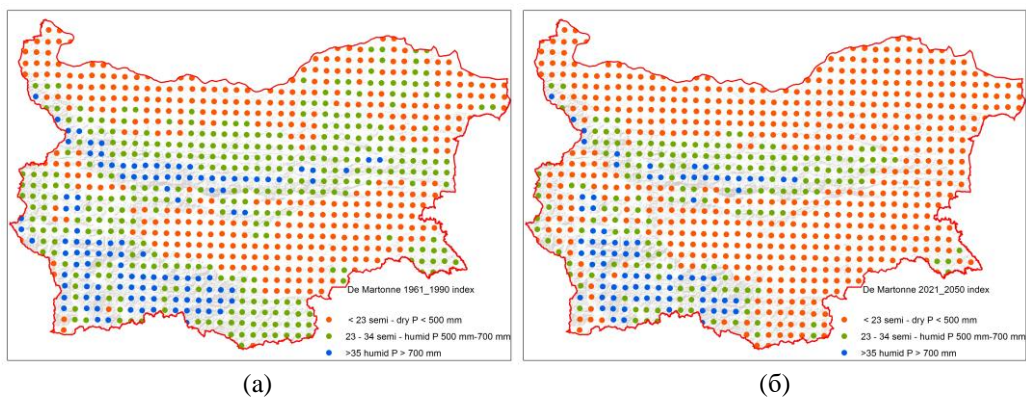
Фиг. III.3-1. Разпределение на годишната сума на валежите (първи ред), актуалната евапотранспирация (втори ред) и годишния отток (трети ред) за периода 1961–1990 г. (ляво) и за 2021–2050 г. (дясно).

Повърхностният отток се определя от водобалансовото уравнение: $R = P - АЕТ$, където R (mm) е повърхностният отток, P (mm) е валежът, $АЕТ$ (mm) е актуалната евапотранспирация, изчислена по метода на [Turc \(1954\)](#). В многогодишен разрез инфилтрацията и подземното подхранване на речния отток се пренебрегват. В модела не се отчита ретензионното действие на язовирите, водопотреблението във водосбора и прехвърлените води ([Балабанова, 2010](#)).

Оттокът е моделиран на базата на пространственото разпределение на валежите, температурата и изчислената актуална евапотранспирация през референтния период 1961–1990 г. и симулациите за бъдещия период 2021–2050 г. от регионалния климатичен модел ALADIN (с резолюция 10 km) при сценарий SRES A1B.

Евапотранспирацията е основен компонент на водния баланс. При повишаване на температурите в бъдеще се очаква нарастване на евапотранспирацията. Но увеличаването на температурите не може да компенсира едно по-голямо намаляване на валежите за продължителен период от време и това общо води до по-голямо намаляване на актуалната евапотранспирация в равнинните райони, в сравнение с планинските. Оттокът намалява в резултат на общото редуциране на валежа и повишаване на температурите. Така приходната част на уравнението на водния баланс намалява, а се увеличават загубите от изпарение. Относителното намаление на оттока е по-голямо от това на валежа (фиг. III.3-1).

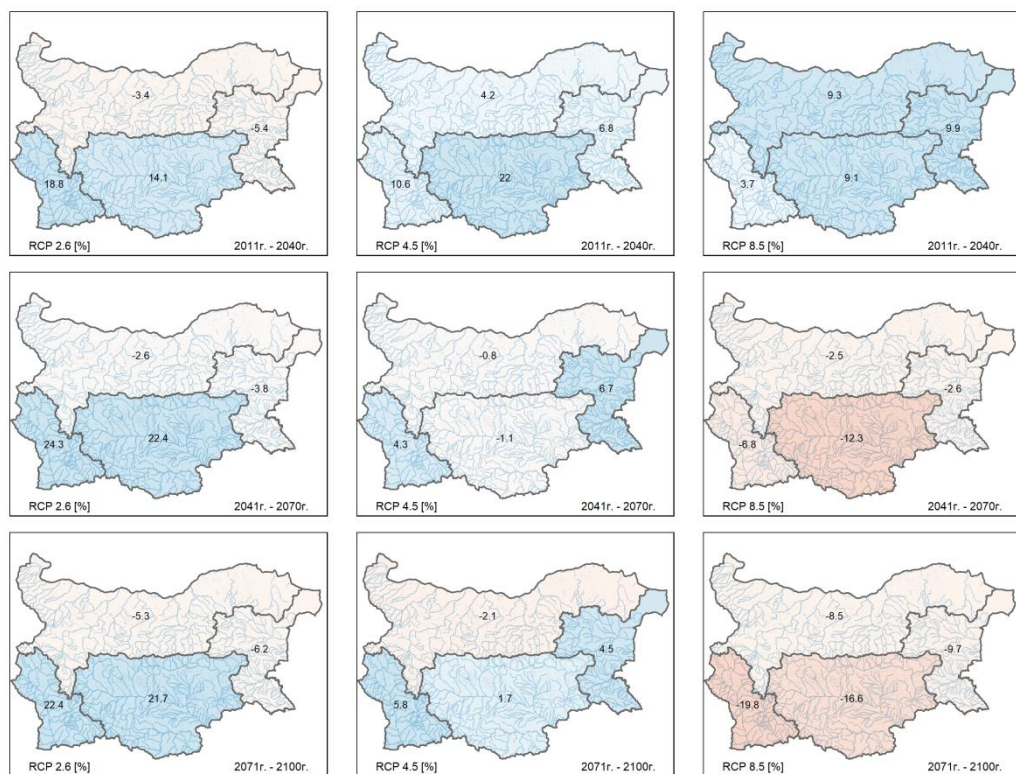
За характеризиране на влиянието на климатичните промени върху степента на засушаване и определяне на области с недостатъчни водни ресурси е приложен индексът на Де Мартон (фиг. III.3-2). Отчетливо се разграничават планинските и припланинските области от останалата част на страната. През симулирания бъдещ период индексът на Де Мартон очертава увеличаващи се полусухи области, докато планинските райони остават във влажните категории.



Фиг. III.3-2. Разпределение на индекса на засушаване на Де Мартон за периодите 1961–1990 г. (а) и 2021–2050 г. (б)

Направена е също оценка на влиянието на очакваните климатични изменения през XXI век върху сумарния годишен речен отток в четирите района за басейново управление според най-често използваните климатични сценарии – RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 (Аргинян и др., 2021). Използвани са индикатори на климатично въздействие и инструментариум, достъпни чрез европейския проект Copernicus Climate Change Service (C3S) (ECMWF, 2017). Избрани са подходящи комбинации от глобален климатичен модел + регионален климатичен модел +

хидроложки модел, за който има резултати от симулации с избраните RCP сценарии, както и подходящ референтен период (1971–2000 г.), за който има национални данни за оттока на четирите басейнови района. В националните данни неявно са включени разходът за напояване и прехвърлянето на води между басейните, които могат да достигнат съответно до 7% и до 4% от оттока в реките (Artinyan et al., 2008). Националните данни са изчислени по измерения отток в хидрометричните станции на НИМХ, екстраполиран чрез статистическо-хидроложки подход (Нинов&Карагъзова, 2015), за да се отчетат ненаблюдаваните водни течения и безотточните райони. Приспаднат е притокът от външни за територията на България басейни, основно в Западнороманския район.



Фиг. III.3-3. Относително изменение на средно многогодишната сума на оттока (в %) при сценариите RCP2.6 (лява колона), RCP4.5 (средна колона) и RCP8.5 (дясна колона) в четирите района за басейново управление за трите 30-годишни периода: 2011–2040, 2041–2070 и 2071–2100 г., спрямо референтния период 1971–2000 г.

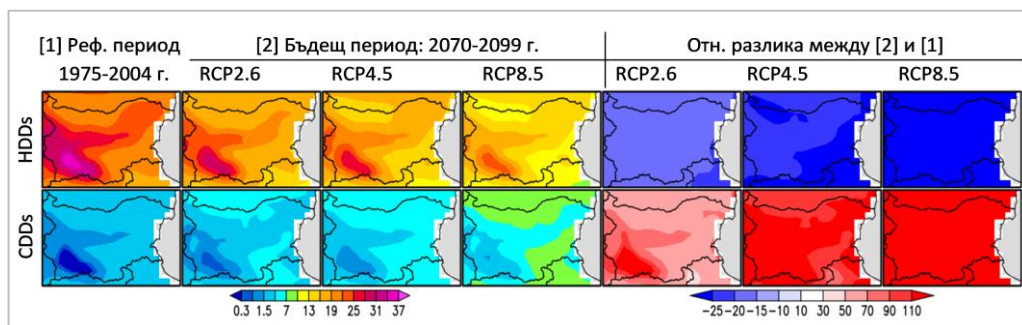
При сценарий RCP2.6 се прогнозира относително увеличение на годишната сума на оттока за беломорските райони (14 до 24%) и намаление за Дунавския и Черноморския район (от -2.6 до -6.2%) до средата на века. При другите два сценария се очаква относително увеличение през първия период (2011–2040 г.).

По-отчетлива е тенденцията на относително намаление на оттока за периода 2041–2070 г., но при сценарий RCP4.5 тя остава слаба (под -3%). За периода 2071–2100 г. резултатите според сценария RCP4.5 показват намаляване на оттока в Дунавския район, а за Черноморския и Западнобеломорския район – слабо увеличение. При RCP8.5 има ясна тенденция за намаляване на оттока в двата беломорски района (до -19.8%), докато оттокът в Дунавския и в Черноморския район е редуциран с до -9% (фиг. III.3-3).

Прогнозираните резултати на относително изменение на годишната сума на оттока за територията на четирите басейнови района за управление на водите в България показват забележими, но разнопосочни разлики. Най-съществено е относителното намаление на оттока за беломорските райони от 2041 до 2100 г. при сценарий RCP8.5. За същия период и по трите сценария, се очаква относително малко намаление на годишната сума на оттока за Дунавския район (от -0.8 до -8.5%).

III.4. Влияние на климатичните промени върху енергопотреблението и енергийния потенциал на вятъра и слънчевата радиация

Редица съвременни изследвания показват, че климатичните промени имат пряко и косвено въздействие върху енергийния сектор. Връзката между температурата на въздуха и енергопотреблението за отопление, вентилация и климатизация на сградите може да бъде оценена количествено чрез индикаторите отоплителни и охладителни денградуси (heating and cooling degree-days, HDDs and CDDs), означени с °D. За изчисляване на HDDs и CDDs е използвана методиката на Метеорологичната служба на Великобритания (UK Met Office), описана подробно в [Spinoni et al. \(2018\)](#).



Фиг. III.4-1. Многогодишни средни стойности на HDDs и CDDs за референтния период (1975–2004 г.) и при сценариите RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5 (съответно за периода 2070–2099 г.), както и относителните разлики между двата периода (в %). Единиците на HDDs и CDDs са 100 °D

Необходимите данни за минималната, средноденонощната и максималната температура на дневна база за избрания референтен период 1975–2004 г. и в

условията на проектен бъдещ климат (2070–2099 г.) са получени чрез симулации с RegCM4 при три климатични сценария – RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Сравнени са многогодишните средни стойности на HDDs и CDDs, изчислени за референтния и бъдещия период.

По отношение на площното разпределение на двата индикатора се наблюдава ясно изразен височинен градиент. Над цяла България стойностите на HDDs намаляват, а на CDDs нарастват през втория период спрямо първия, като по абсолютна стойност изменението се увеличава от RCP2.6 към RCP8.5 (т.е. пропорционално на лъчистото въздействие). Съществено е да се отбележи, че относителното изменение на CDDs спрямо това на HDDs е значително по-голямо, като това е по-добре подчертано при RCP4.5 и особено при RCP8.5 (фиг. III.4-1).

Таблица III.4-1 представя средноплещните многогодишни средни стойности на HDDs и CDDs за референтния период и далечното бъдеще за сценариите RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Особено ясно изпъкват разликите в относителното изменение на двата индикатора, като промяната е в пъти по-голяма за CDDs спрямо HDDs. Това потвърждава коментираната по-горе асиметрия на затопляне и очакваното изменение на сезонните температури (виж фиг. III.1-1).

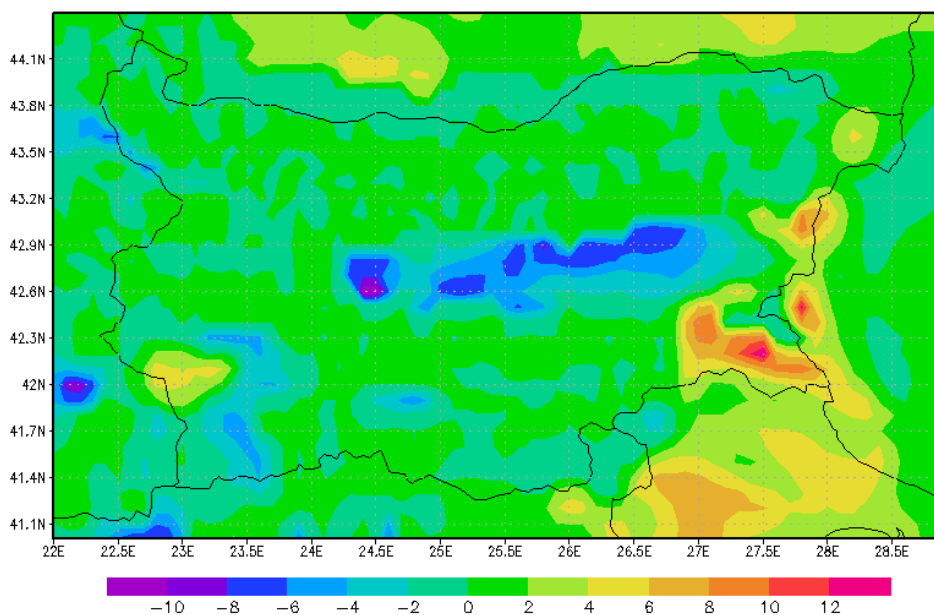
Табл. III.4-1. Средноплещни многогодишни средни стойности на HDDs и CDDs за референтния период и далечното бъдеще за сценариите RCP2.6, RCP4.5 и RCP8.5. Относителните разлики между двата периода са дадени в скоби.

Индикатор	1975–2004 г.	2070–2099 г.		
		RCP2.6	RCP4.5	RCP8.5
CDDs, 100°D	2.05	3.28 (60.1%)	4.36 (113%)	6.64 (224.6%)
HDDs, 100°D	23.59	19.24 (-18.4%)	17.53 (-25.7%)	14.31 (-39.3%)

Многогодишното изменение на тези два индикатора в паневропейски мащаб е изследвано задълбочено от [Spinoni et al. \(2018\)](#). Ключовият извод е, че в условията на проектния бъдещ климат се очаква повсеместно увеличение на CDDs, но в Средиземноморския регион то ще бъде значително. Същевременно се очаква съществено намаление на HDDs над Южна Европа.

Получените от нас резултати за Югоизточна Европа, изложени по-подробно в [Ivanov et al. \(2020\)](#) и [Chervenkov et al. \(2021\)](#), са в принципно съгласие с изводите и от други регионални изследвания. Очевидно те следват установения в [Chervenkov et al. \(2020\)](#) статистически значим тренд на HDDs и CDDs през последните десетилетия, както и общите регионални тенденции на дългосрочно изменение на минималната, средноденонощната и максималната температура в условията на проектен бъдещ климат. Очакваните дългосрочни промени на HDDs и CDDs показват, че изменението на климата има потенциала да окаже съществено и трайно въздействие върху структурата и сезонността на енергопотреблението.

Използването на вятъра и слънчевата енергия като възобновяеми енергийни източници (ВЕИ) ще нараства в средносрочен план. Влиянието на очакваните изменения на климата в близкото бъдеще върху енергийния потенциал на ВЕИ е анализирано във [Вълчева \(2019\)](#). За оценка на промяната на ветровия енергиен потенциал е пресметната номиналната (*rated*) мощност за референтния (1961–1990 г.) и за бъдещия (2021–2050 г.) период. Оценката е направена за височина на мачтата 100 m. На фиг. III.4-2 е представено пространственото разпределение на очакваните промени (в %) на енергийния потенциал на вятъра на годишна база. Изменението варира в границите от -12% до +14%, като най-значимо е повишението в Югоизточна България (с около 8-14%). Най-голямо понижение може да се очаква в Централна (с 8-12%) и Югозападна България (4-6%). Причината е в по-ниската ефективност поради очакваното увеличение на скоростта на вятъра по билата на планините. В останалите части на страната изменението на енергийния потенциал на вятъра е в границите на $\pm 2\%$.

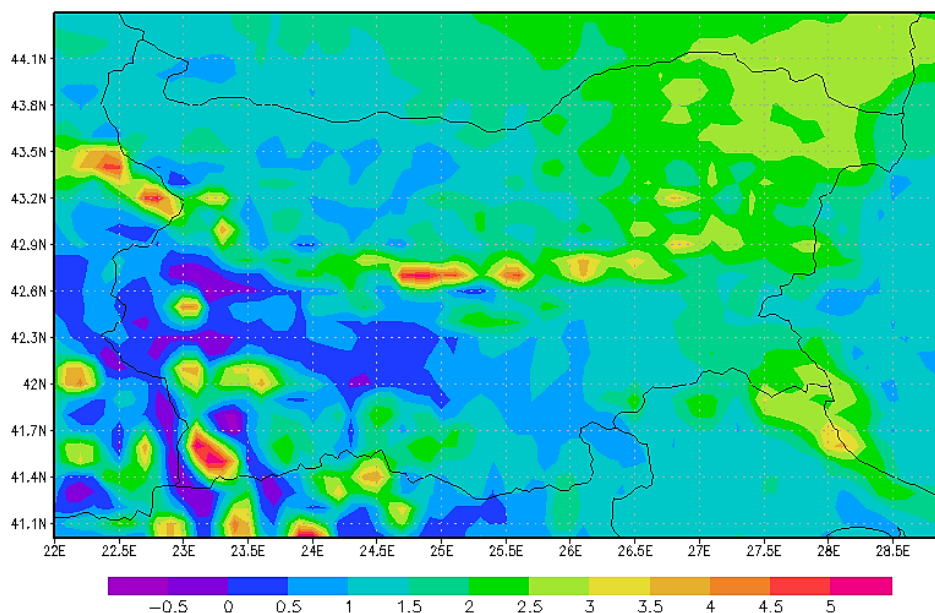


Фиг. III.4-2. Очаквани промени (в %) в годишния енергиен потенциал на вятъра за територията на България за периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1961–1990 г.

Очакваните промени по сезони варират от -50 до +50%. През зимата се прогнозира най-голямо намаление на ветровия потенциал в сравнение с другите сезони (до -50%), особено в планинските райони и крайбрежната зона. В останалите части на страната може да се очаква изменение в границите на $\pm 5\%$. Подобни тенденции се очакват и през есента, но стойностите са по-малки (от -16 до +8%). През лятото се прогнозира повишение на ветровия потенциал (до +50%)

в Югозападна България и крайбрежната зона). През пролетта очакваните промени са в границите от -5 до +30%, като повишението е най-голямо в Югоизточна и Югозападна България (до 30%).

От целия спектър на лъчението от Слънцето от значение за производството на електроенергия е късовълновата радиация. Промяната в бъдещия спрямо референтния период е пресметната аналогично на ветровия енергиен потенциал. На фиг. III.4-3 е представена карта на изменение (в %) на енергийния потенциал на слънчевата радиация за периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1961–1990 г. на годишна база за територията на България.



Фиг. III.4-3. Очаквани промени (в %) в годишния енергиен потенциал на слънчевата радиация за територията на България за периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1961–1990 г.

Промяната на слънчевата енергия варира от -1 до +6%. Повишение се очаква в Североизточна България (2-3.5%), както и по билото на Стара планина и на Пирин (2-6%). В останалите части на страната изменението е между 0 и 2%. Най-голямо повишение на енергийния потенциал на слънчевата радиация (с 4-6 %) се очаква в Югозападна България, където на места има и леко понижение (-0.5%). През зимата промяната в потенциала на слънчевата енергия е положителна в цялата страна, като най-голямо увеличение се очаква в Централна и Североизточна България (8-10%), както и в планинските райони. През лятото се очаква увеличение на слънчевата радиация както в Северна (от 2 до 4%), така и в Южна България (0-2%). През пролетта увеличението е най-голямо в Североизточна България и високите планини (2-4%). През есента слънчевата енергия намалява в

цялата страна, като най-съществено е намалението в южните части на страната (от -2 до -4%).

III.5. Оценка на честотата на бъдещи екстремни климатични явления

Въпреки че продължителното горещо време е типично лятно явление в Средиземноморието и Югоизточна Европа, регионът се смята за един от най-уязвимите на континента, а прогнозираното бъдещо лятно затопляне се очаква да надхвърли глобалните нива с 40% (Cramer et al., 2018). Климатичните прогнози за наводнения и засушавания в Европа при глобално затопляне с +2 °C спрямо прединдустриалната епоха показват нарастващ интензитет и продължителност (Roudier et al., 2015). Очаква се интензивните валежи да се увеличат значително над целия континент, включително и на Балканския полуостров. Сушите в някои райони ще станат по-интензивни и по-продължителни главно поради по-малкото общо количество валежи и по-голямото изпарение. Промените в хидроложкия цикъл ще доведат както до увеличаване на сушите, така и до повече наводнения.

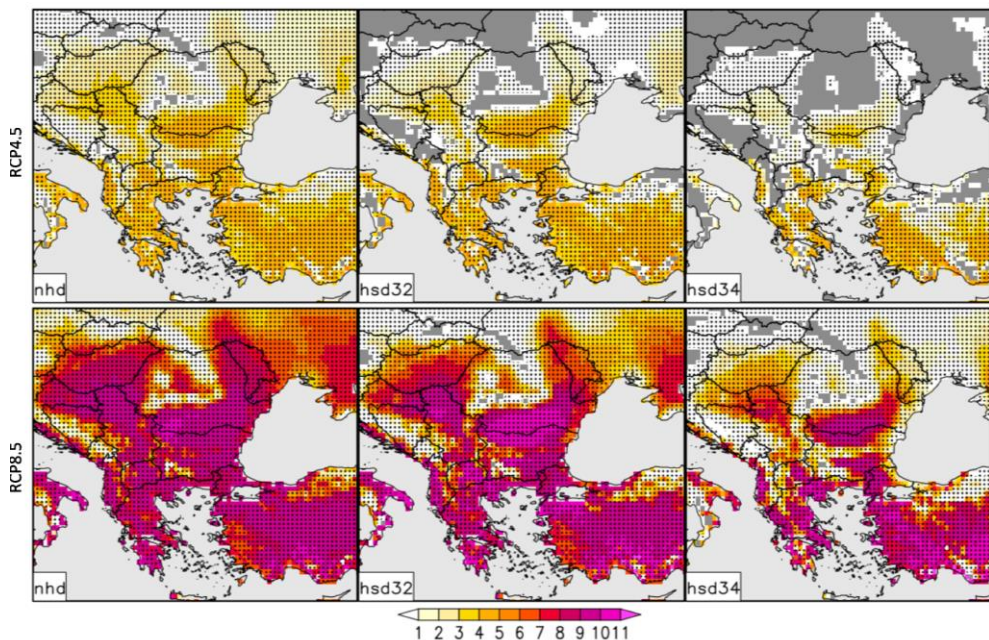
III.5.1. Горещи вълни

Екстремните горещини в Югоизточна Европа са анализирани въз основа на набора от данни NEX-GDDP (NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections, <https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp>), включващ основните климатични променливи TN, TG, TX и RR в равномерна мрежа с резолюция 0.25°×0.25° от 21 глобални циркуляционни модела на CMIP5 за историческия период 1950–2005 г. и за бъдещия период 2071–2100 г. според два климатични сценария – RCP4.5 и RCP8.5.

Изчислени са годишният брой горещи дни и продължителността на горещите периоди за различни температурни прагове по многомоделната медиана от наличните 21 модела в NEX-GDDP (Chervenkov&Malcheva, 2023).

Очаква се продължителността и пространственият обхват на екстремните горещини да се увеличат значително до края на века. Средната за региона продължителност на горещите периоди с максимална температура ≥ 32 °C и 34 °C ще се увеличи от почти нула през периода 1976–2005 г. до 60 и 45 дни, съответно, към края на века според песимистичния сценарий RCP8.5.

В прогнозирания бъдещ климат Балканският полуостров ще стане по-податлив на екстремни горещи вълни (фиг. III.5.1-1). В по-голямата част от региона индикаторите за екстремно горещо време нарастват с 2-5 дни/10 г. при сценария RCP4.5 и с 5-10 дни/10 г. при RCP8.5.



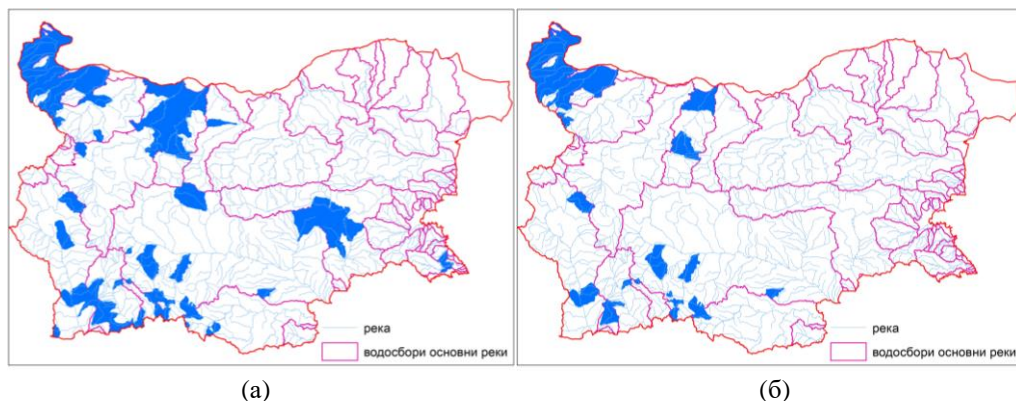
Фиг. III.5.1-1. Величина на тренда (дни/10 г.) за периода 1950–2100 г. на индикаторите за екстремно горещо време: годишен брой горещи дни (nhd), годишен брой дни на горещи периоди с максимална температура ≥ 32 и 34 °C при съответна продължителност от поне 6 и 5 последователни дни (hsd32 и hsd34). Точките показват клетките от мрежата, в които трендът е статистически значим на ниво 5%.

III.5.2. Наводнения

Наводненията са били и продължават да бъдат една от най-важните природни опасности, причиняващи икономически загуби и човешки жертви в България (Балабанова и др., 2015). Обилните валежи, разбира се, не водят непременно до наводнения, но увеличават вероятността за тяхното случване. Дори и умерени количества валеж могат да причинят наводнение, особено в градски зони (населени места). В районите, където сезонното снеготопене влияе значително на речния отток, по-високите температури могат да предизвикат интензивно снеготопене, както и повече случаи на валежи от дъжд върху налична снежна покривка, което също води до по-бързо и по-ранно снеготопене и формиране на значителен отток. Човешката дейност, свързана с изграждането и управлението на хидротехническите съоръжения, промяната в земеползването и урбанизацията (чиито темпове често не съответстват на капацитета на градските отводнителни мрежи), увеличава риска от наводнения с тежки последици.

Очакваните промени в честотата на интензивните валежи като потенциална причина за наводнения в периода 2021–2050 г. са оценени чрез симулации с модела ALADIN за сценария SRES A1B (Спиридонов&Балабанова, 2017). За 1088

водосбора в България е определено увеличението с 5% и 10% на случаите с 6-часов валеж над 10 mm спрямо периода 1961–1990 г.



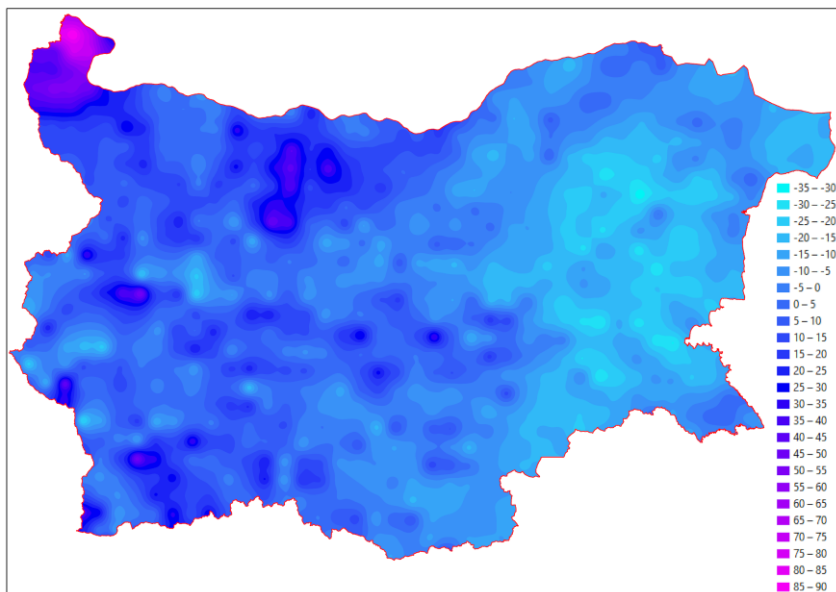
Фиг. III.5.2-1. Водосбори, в които се очаква (а) 5% и (б) 10% устойчиво увеличение на валежите с интензивност над 10 mm/6 ч. за периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1961–1990 г.

Прагът от 10 mm/6 ч. е определен в съответствие с праговете, използвани от Meteoalarm (<http://www.meteoalarm.org>), и хипотезата, че условие за наличие на валежи над 10 mm/6 ч. е наличието на 24-часов валеж от 25-35 mm, отговарящ на жълтия праг за предупреждение. На територията на страната такива валежи се регистрират предимно през топлия период на годината. Водосборите с устойчиво увеличение над 5% и над 10% на броя на случаите с валеж над 10 mm/6 ч. са показани на фиг. III.5.2-1. По-уязвими към наводнения са водосборите на реките западно от р. Огоста, горното течение на р. Огоста, средното и долното течение на р. Искър, средното и долното течение на реките Вит и Осъм, горното и долното течение на реките Струма, Места, Марица и Арда. Устойчиво най-рисковите за възникване на наводнения региони са Северозападна и Централна Северна България.

През периода 2021–2050 г. се очаква случаите на интензивни валежи над 15 mm/6 ч. да нараснат предимно в западната част на страната и в някои припланински и планински райони, докато в източната част броят на случаите с такива валежи намалява в сравнение с периода 1961–1990 г. (Spiridonov & Balabanova, 2021; фиг. III.5.2-2).

В условията на променящ се климат прогнозирането на наводненията е една от основните мерки за намаляване на риска и смекчаване на последиците от тях (Balabanova et al., 2022). Наводненията не признават политически и административни граници и подтикват към международно сътрудничество при управлението на риска от наводнения на ниво речен басейн (Bezák et al., 2021). Дунавският басейн е „най-интернационалният“ речен водосбор, с големи и значими притоци на територията на 14 държави. В рамките на проекта DAREFFORT се създава платформа за стандартизиран международен обмен на

хидрометеорологични данни, посредством която да се повиши качеството на прогнозите и ефективността на националните прогностични центрове (<http://hydro.bg> >Проекти и публикации >DAREFFORT).



Фиг. III.5.2-2. Изменение (в %) на броя на случаите на 6-часов валеж над 15 mm през периода 2021–2050 г. спрямо референтния период 1961–1990 г.

III.5.3. Климатични проекции на опасни явления по кодовете на Meteoalarm

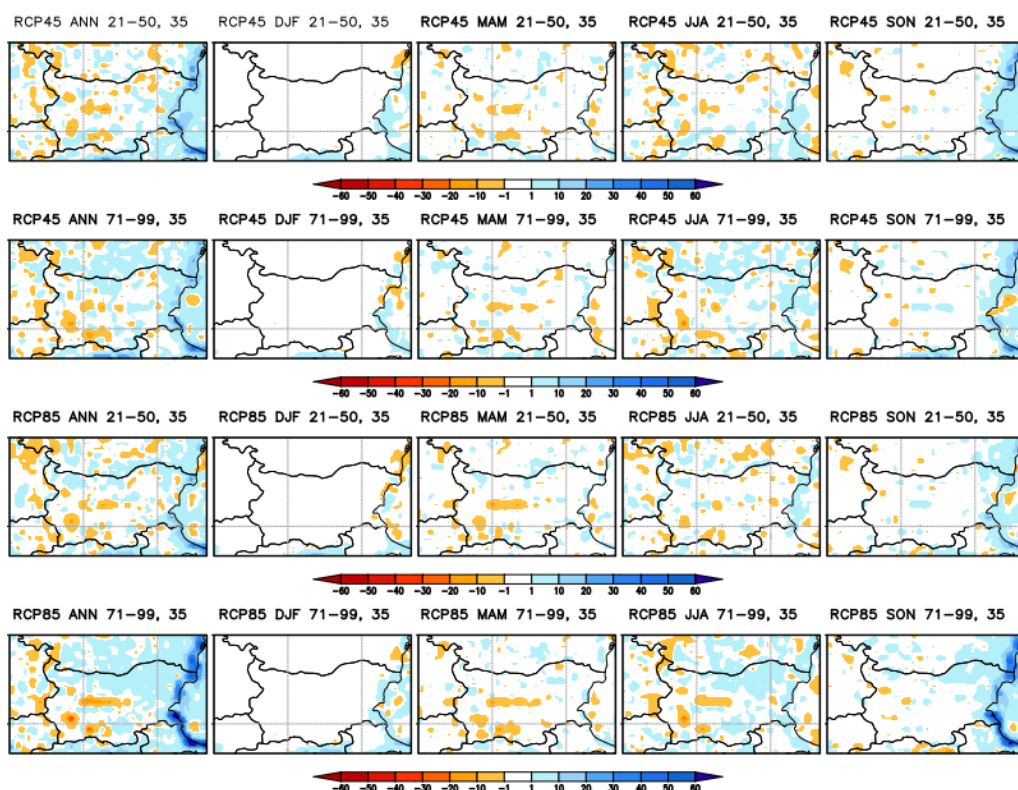
Изследвани са промените в честотата на интензивните конвективни валежи и екстремния вятър за територията на България (Valcheva&Spiridonov, 2021) и Балканския полуостров (Valcheva&Spiridonov, 2023) за два бъдещи периода (2021–2050 и 2071–2099 г.) при два климатични сценария (RCP4.5 и RCP8.5). За тази цел е използван регионалният климатичен модел RegCM4 (с хоризонтална резолюция от 20 km). Референтният период е 1975–2004 г., а промяната в броя на случаите на интензивни конвективни валежи и екстремен вятър се определя, като се използват приетите прагове за България по кодовете на Meteoalarm „жълт“, „оранжев“ и „червен“ (табл. III.5.3-1).

Най-големите промени в броя на случаите на екстремни конвективни валежи се очакват в крайбрежните и планинските райони, като увеличението на броя на случаите не изключва намалението на общото количество на валежите в тези райони. Това може да се обясни с увеличаването на периода, през който са възможни тези валежи, поради повишаването на температурите. Най-големи промени в броя на случаите с екстремен вятър се предвиждат в Северна и Югозападна България и крайбрежните райони.

Табл. III.5.3-1. Приети прагови стойности за страната по кодовете на Meteoalarm

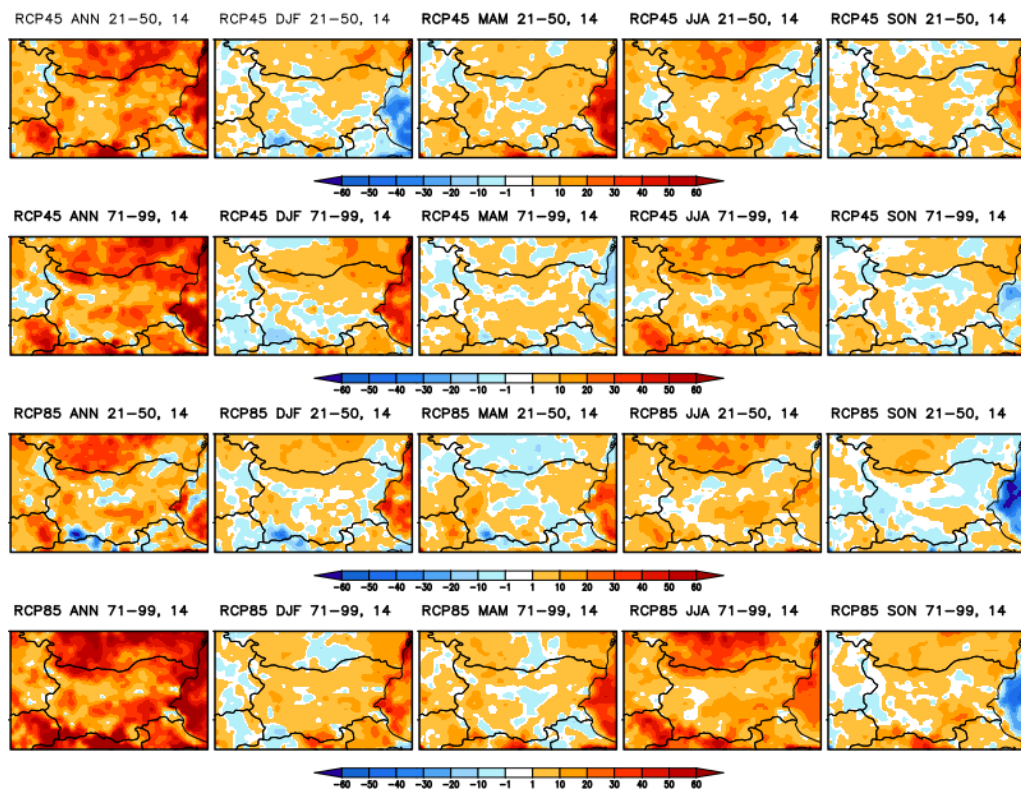
ЕЛЕМЕНТ/КОД	ЖЪЛТ	ОРАНЖЕВ	ЧЕРВЕН
ВАЛЕЖ	Количество валеж: 15-35 mm/24 h или интензивен валеж до 30 mm/6 h	Количество валеж: 35-65 mm/24 h или интензивен валеж над 30 mm/6 h	Количество валеж: > 65 mm/24 h
ВЯТЪР	Силен вятър: скорост 14-19 m/s (50-69 km/h) и/или пориви до 24 m/s (90 km/h)	Бурен вятър: скорост 20-29 m/s (70-100 km/h) и/или пориви до 32 m/s (115 km/h)	Ураганен вятър: скорост \geq 30 m/s ($>$ 100 km/h)

На фиг. III.5.3-1 е показано годишното и сезонното изменение на броя на случаите с конвективни валежи над прага от 35 mm/24 h.



Фиг. III.5.3-1. Симулирана годишна и сезонна промяна в броя на случаите с 24-часов конвективен валеж над фиксирания праг от 35 mm/24 h (оранжев код) за периодите 2021–2050 г. и 2071–2099 г. в съответствие със сценариите RCP4.5 (първите два реда) и RCP8.5 (вторите два реда).

Годишният брой на проливните дъждове и през двата бъдещи периода, и за двата сценария се очаква да намалее в планинските райони (с 20-40 случая за 30 години) и да се увеличи по крайбрежието (с 40-60 случая за 30 години). Анализът по сезони показва увеличение на екстремните валежи през есента по Черноморието с 20-30 случая за периода 2021–2050 г. и с 30-40 случая за периода 2070–2099 г. В планинските райони екстремните валежи намаляват през пролетта и лятото с 10-20 случая за 30 години.



Фиг. III.5.3-2. Симулирано годишно и сезонно изменение на броя на случаите със силен вятър над 14 m/s (жълт код) на 10 m над земната повърхност за периодите 2021–2050 г. и 2071–2099 г. в съответствие със сценариите RCP4.5 (първите два реда) и RCP8.5 (вторите два реда).

По отношение на силния вятър със скорост над 14 m/s на 10 m над земната повърхност се очаква увеличение на годишния брой случаи и по двата сценария с около 20 случая за периода 2021–2050 г. (фиг. III.5.3-2). Според сценария RCP4.5 за периода 2071–2099 г. се очаква нарастване на случаите на силен вятър (до 40-60) над Дунавската равнина, Добруджа, Горнотракийската низина и черноморското крайбрежие, както и в най-южните райони на Рила и Пирин. При сценария RCP8.5 за същия период увеличението в цялата страна е значително –

с 40 случая в северозападните райони, 40-80 случая по черноморското крайбрежие и до 100 случая в Централна и Южна България. Нарастване на броя случаи на силен вятър се очаква през всички сезони над по-голямата част от страната, предимно в равнинните райони и крайбрежната зона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Измененията на климата не са хипотетични, а са част от живота ни. Това е динамичен процес, който изисква изграждането на динамична стратегия за адаптация към климатичните промени.

Тенденцията на нарастване на ГСТ през XX век е извън обхвата на предииндустриалната променливост на температурата. Десетилетието 2011–2020 г. е най-топлото в световен мащаб, като от 80-те години на XX век всяко следващо десетилетие е по-топло от предходното. В региона на Източното Средиземноморие, включващ Балканския полуостров, средногодишните температури през последните десетилетия нарастват значително по-бързо от ГСТ.

В България климатичните преходи от началото на миналия век според класификацията на Кьопен-Гайгер могат да се обяснят до известна степен с естествените климатични колебания, но в периода 1991–2020 г. **редуцирането на планинските климатични подтипове е съществено**, а измененията като цяло засягат по-голяма територия. Преминаването към по-топъл (и сух в някои райони) климат се съгласува както с наблюдаваното в глобален и регионален мащаб дългосрочно повишение на средногодишните и сезонните температури (IPCC, 2014; 2021a), така и с **промените при температурно базираните климатични индекси** (Alexander et al., 2006; Sillmann et al., 2013a). Установено е по-отчетливо намаляване на ледените дни през зимата и на мразовитите дни през преходните сезони в планинските райони, отколкото в ниската част на страната, както и значително нарастване на летните дни в почти цялата страна през периода 1991–2020 г. Тропическите нощи също нарастват значително в районите, за които са типични (с повече от 12 дни по Черноморието и долината на р. Струма). Увеличаването на средногодишния им брой причинява **топлинен стрес** при селскостопанските посеви и изисква все по-ранно започване на поливния сезон за пролетните култури, както и за есенните култури в началото и по време на формиране на добивите.

Колебанията на средногодишната температура на въздуха в периода 1931–2020 г. разкриват **статистически значима тенденция на затопляне**. Въпреки че средните сезонни температури се повишават, величината на тренда и неговата значимост се различават през отделните сезони – зимните температури нарастват най-бързо, но затоплянето през лятото е най-ясно изразено (и за трите летни месеца трендът е статистически значим). До средата на 80-те години на миналия век колебанията на средната годишна температура спрямо нормата (1961–1990 г.) не надхвърлят +1 °C в периодите на затопляне, докато след 2011 г. няма отклонения по-малки от тази стойност. Температурната аномалия от +2 °C през 2019 г. е рекордна за последните над 90 години. В периода 1991–2020 г. средната годишна температура нараства с 0.8 °C спрямо предходния 30-годишен период. Като цяло затоплянето в планините е по-слабо, но в отделни райони от извънпланинската част на страната повишението на температурата надхвърля 1 °C. Затоплянето през зимата е по-отчетливо в Северна България, докато в

южната част на страната повишаване на зимните температури с 0.5-1 °C се регистрира във високите полета на Западна България и на отделни места по долините на по-големите реки. През пролетта затоплянето обхваща и Югоизточна България. Нарастването на летните температури е с 1.5 °C средно за страната (с над 2 °C на места, главно в Северна България), докато през есента в голяма част от страната повишението на температурите е в диапазона 0.1-0.5 °C. През зимата и преходните сезони се установяват отрицателни аномалии в някои припланински и планински райони, предимно в южната част на страната.

Има и ясно изразена тенденция на **нарастване на честотата на горещите вълни** през последните десетилетия. Всички изключително горещи периоди с максимални температури ≥ 38 °C и ≥ 40 °C и около 90% от горещите периоди при прагови стойности 32, 34 и 36 °C се появяват след средата на 80-те години на миналия век. Явлението е характерно за месеците юли и август, но относителната му честота през юни и септември нараства, достигайки до 5-8% от общия брой случаи.

В резултат на по-високите температури през последните десетилетия се наблюдава **удължаване на вегетационния сезон** при селскостопанските култури с една седмица. Резултатите показват, че това е свързано с по-ранния преход на температурата на въздуха през биологичните прагове през пролетта. Предимно в северната и югозападната част на страната температурните суми нарастват с 200-420 °C. Предвид повишаването на температурата на въздуха през зимата и по-ранното започване на вегетационния сезон, продължителността на рисковите периоди по време на активната вегетация се увеличава.

През последните десетилетия на миналия век **климатът е станал по-сух** в сравнение с предходните, според индекса на Де Мартон. Уязвимите от суша региони, установени след пространствен анализ на индекса за суша (AI_{UNEP}) обхващат поречието на река Дунав, а в централните северни райони достигат до Предбалкана. Най-засегнатата от сушата е Североизточна България и особено Добруджа. В Южна България са уязвими отделни места по долините на реките Струма и Места. Все по-често ще се усеща недостигът на вода в Горнотракийската низина и някои райони в областите Ямбол и Бургас.

Очакваните промени в хидротермичните условия показват **нарастващ риск за селското стопанство**. Те предизвикват изменения в динамиката на натрупване и потребление на влага в почвата, интензивността на изпарението, скоростта на натрупване на температурни суми от активни и ефективни температури, скъсяване на междуфазните периоди и покой при някои овощни видове. Липсата на постоянна снежна покривка през зимните месеци ще направи зимните култури все по-уязвими към зимните мразове, особено при понижавания на минималната температура под минус 10-15 °C. По-честото редуване на периоди с резки затопляния и застудявания в края на зимата и началото на пролетта ще направи ранно цъфтящите овощни видове все по-уязвими към ранните пролетни слани. Нарастването на екстремния характер на времето и продължителните летни

засушавания през следващите десетилетия ще имат все по-изразен неблагоприятен ефект.

Колеланията на годишната сума на валежа не следват ясна тенденция в периода 1931–2020 г., главно поради различните знаци на промяната в отделните райони. Колеланията на сезонните валежи подсказват, че е твърде вероятно изменението им до края на века да следва различни модели. В голяма част от страната валежният режим се променя след средата на ХХ век – летните валежи намаляват съществено през последните две десетилетия на миналия век, а от началото на ХХI век се наблюдава нарастваща тенденция главно при есенните валежи. В периода 1991–2020 г. изменението на сезонните суми на валежа е в рамките на $\pm 10\%$ спрямо периода 1961–1990 г. за голяма част от страната. Във високите части на планините валежите през всички сезони намаляват съществено (до 30-40%), докато в Североизточна България увеличението на места достига над 40%, особено през есента и зимата. Зимните валежи намаляват в Югозападна България (над 20%), а летните – в някои задбалкански райони (10-20%). Есента е сезонът с най-висок ръст на валежите в цялата страна (средно с над 15%), с изключение на високите части на планините.

Анализът на **промените в циркулационните условия** в периода 1991–2020 г. показва като цяло добро съгласуване с някои нови регионални изследвания и предишни проучвания за България, което ни позволява да обобщим, че вероятна причина за промените в разпределението на валежите на територията на страната от края на миналия век, свързана с намалението на валежите през зимата, пролетта и лятото, е по-малката честота на циклоналния тип циркулация през тези сезони. Нарастването на есенните валежи може да се асоциира със същественото намаление на антициклоналния тип циркулация през есента.

След 1990 г. **нараства приносът на силните потенциално опасни валежи** към годишния валеж, докато приносът на слабите и умерените валежи намалява, следвайки общата регионална тенденция. Нарастването на проливните валежи е статистически значимо за североизточните и централните южни части на страната. Измененията във валежния режим са отразени в пространствените и сезонни промени на индексите R05mm и R10mm. През есента нарастват случаите на умерени и силни валежи предимно в източната част на страната. През лятото приносът на умерените и силните валежи в сезонната сума намалява, особено в припланинските и планински райони,.

Интензивните валежи, водещи до **поройни и дъждовни наводнения**, са причина за 77% от регистрираните в архива на НИМХ наводнения в периода 2016–2022 г. Останалите 23% са речни наводнения. В резултат на повишаването на температурите през зимните месеци и по-ранното снеготопене характерното за България пролетно пълноводие на реките и рискът от речни наводнения се изместват в зимните месеци – декември и януари. От друга страна, интензивните конвективни валежи са характерни за летния сезон, а летните засушавания ограничават инфилтрационната способност на почвата, което е предпоставка за възникване на поройни наводнения.

Предвид преобладаващите отрицателни колебания в месечните суми на валежите и положителните отклонения в средномесечните температури по време на вегетационния сезон, **агрометеорологичните условия могат да се оценят като неблагоприятни** за по-голямата част от територията на страната. Изключение в това отношение са Северозападна и Централна Южна България. При изследване на почвените влагозапаси в представителни станции от зоната на черноземите и на смолниците е констатирано намаление с до 12% на количествата на почвените влагозапаси. Очертава се тенденция на увеличаване на еталонната евапотранспирация от север на юг и намаляване от запад на изток. Евапотранспирацията е най-голяма в районите с преходно-средиземноморски климат, с изключение на черноморското крайбрежие, следвана от районите с преходно-континентален и умерено-континентален климат.

Трендът на годишните обеми на повърхностния отток в България за периода 1961–2020 г. е негативен. Разделянето на хидроложките редици по характерни типове години дава възможност за определяне на параметрите на оттока по време на влажни, средни и сухи периоди. Средните и много влажни години преобладават в периода 1961–1984 г., който е последван от продължително засушаване до средата на 90-те години на миналия век. Годишният ресурс, включващ измерените обеми речни води в България, нараства до 1981 г., след което намалява до 1995 г., а през следващите години нараства бавно, със значителни колебания.

Симулациите на бъдещите климатични условия при различни сценарии с помощта на глобални и регионални климатични модели показват сходни резултати за района на България до края на века.

- Въпреки прогнозираното дългосрочно повишаване на сезонните температури степента на затопляне варира както в рамките на сезоните, така и между отделните периоди. През всички сезони и на годишна база нарастването на средната температура към края на века е с 1-2 °C по-голямо при песимистичния сценарий RCP8.5 в сравнение с реалистичния RCP4.5, като повишението при летните температури е най-силно изразено – до 5-6 °C. В близкото бъдеще (2021–2050 г.) се очаква нарастване на продължителността на вегетационния период с над 30 дни, както и увеличение на сумите на активните температури през периода март-октомври в границите на 300-660 °C. Тенденцията на индексите на засушаване в близкото и далечното бъдеще показва влошаване на хидротермичните условия за развитие на земеделие у нас.

- Очакваното изменение на годишния валеж в проектния бъдещ климат е от -5 до -25% при RCP4.5 и от -10 до -30% при RCP8.5. Редукцията на сезонните валежи достига най-големи стойности през лятото (30-35% средно за страната при RCP8.5). При симулациите със сценария RCP4.5 не се установява съществена промяна при зимните и пролетните валежи, дори в отделни райони те нарастват с около 5-10%. Хидрологичната система е много чувствителна към измененията на климата. Очаква се оттокът на реките да намалява в резултат на общото редуциране на валежа и повишаване на температурите. Анализът по райони за

басейново управление показва, че към края на века при песимистичния сценарий има ясна тенденция за намаляване на оттока в двата беломорски района (до -19.8%), докато оттокът в Дунавския и Черноморския район е редуциран незначително. При оптимистичния сценарий може да се очаква слабо намаляване на оттока в Дунавския район, а за Черноморския и за Западнобеломорския район – слабо увеличение.

- Оценката на въздействието на очакваните изменения на климата в България върху енергийния сектор показва намаление на отоплителните и нарастване на охладителните денградуси до края на века, като промяната е в пъти по-голяма за охладителните спрямо отоплителните денградуси. Очаква се нарастване на енергийния потенциал на вятъра до средата на века (на годишна база) в Югоизточна България (до 14%) и спад в централните части на страната (с около 12%) и в Югозападна България (до 6%). Прогнозираните изменения на енергийния потенциал на слънчевата радиация са доста по-малки. Може да се очаква нарастване главно в Североизточна България (2-3.5%) и на места по високите части на Стара планина и Пирин (до 6%).

- В условията на променящ се климат се очаква още по-отчетливо нарастване на честотата и екстремността на опасните метеорологични явления през следващите десетилетия. Очаква се продължителността и пространственият обхват на екстремните горещини да се увеличат значително до края на века. В по-голямата част от Балканския полуостров индикаторите за екстремно горещо време нарастват с 2-5 дни/10 г. при сценария RCP4.5 и с 5-10 дни/10 г. при RCP8.5.

- Оценките на очакваните промени в честотата на интензивните валежи като потенциална причина за наводнения в периода 2021–2050 г. очертават районите с нарастващ риск от наводнения: реките западно от р. Огоста, горното течение на р. Огоста, средното и долното течение на р. Искър, средното и долното течение на реките Вит и Осъм, горното и долното течение на реките Струма, Места, Марица и Арда. Устойчиво най-рисковите за възникване на наводнения региони са Северозападна и Централна Северна България.

- Най-големите промени в броя на случаите на екстремни конвективни валежи се очакват в крайбрежните и планинските райони, като увеличението на случаите не изключва намалението на общото количество на валежите в тези райони. Това може да се обясни с увеличаването на периода, през който са възможни тези валежи, поради повишаването на температурите. Анализът по сезони показва увеличение на екстремните валежи през есента по Черноморието с 20-30 случая за периода 2021–2050 г. и с 30-40 случая за периода 2070–2099 г. В планинските райони екстремните валежи намаляват през пролетта и лятото с 10-20 случая за 30 години.

- По отношение на силния вятър най-големи промени в броя на екстремните събития се предвиждат в Северна и Югозападна България и крайбрежните райони. Нарастване на броя случаи на силен вятър се очаква през всички сезони над по-голямата част от страната, предимно в равнинните райони и крайбрежната зона.

ЛИТЕРАТУРА

- Алисов, Б. П. (1936). Географические типы климатов. Метеорология и гидрология, № 6
- Алисов, Б. П. (1950). Климатические районы зарубежных стран. География, Москва, 352 стр.
- Артинян, Е., Царев, П. и Крумова, К. (2021). Изменение на годишната сума на оттока в България до края на 21 век на основата на три климатични сценария, *Bul. J. Meteo & Hydro* 25(1), стр. 20-28
- Балабанова, Сн. (2010). Дисертация на тема: „Оперативно хидроложко моделиране на речния отток и ресурсни оценки с приложение на ГИС“, ВАК, Научно-техническа и педагогическа библиотека
- Балабанова, Сн., Кошинчанов, Г., Стоянова, С., Стоянова, В., Йорданова, В., Филипов, Н. Гърдева, А. и Гълъбова, И. (2015). Наводненията през 2014 г. и обуславящите ги условия, *Bul. J. Meteo & Hydro*, 20(5), стр. 73-104
- Брънзов, Хр., ред. (2020). История на климатичните изследвания в Националния институт по метеорология и хидрология. ISBN 978-954-580-389-5, Херон Прес, 168 стр.
- Вълчева, Р. (2019). Автореферат на дисертация на тема: „Изследване на регионален климат с използване на числени модели с висока разделителна способност“, НИМХ, <https://storm.cfd.meteo.bg/nsad/rvalchevaphd>
- Герасимов, С. и Божилова, Е. (2003). Потенциал на водните ресурси на България и тенденции на изменение, Списание на БАН, кн.1, година СХVI
- Герасимов, С., Генов, М., Божилова, Е. и Орехова, Т. (2004). Водните ресурси на България през периода на засушаването 1982–1994. Вероятни сценарии за бъдещо развитие. София, Херон Прес, 79 стр.
- Дилков, Д. (1959). Върху влагонатрупването и режима на почвената влага при черноземите в България през пролетта, Тр. ИХМ, II, стр. 3-43
- Дилков, Д. (1960). Влагопотребление и влагообезпеченост на пшеницата у нас, Тр. ИХМ, VIII, стр. 3-48
- Държавен вестник, брой 20, 26.2.2008 г., <https://dv.parliament.bg/DVWeb/showMaterialDV.jsp?idMat=4852>
- Захариев, Т., Лазаров, Р., Колева, Ст., Гайдарова, Ст. и Койчев, З. (1986). Райониране на поливния режим на селскостопанските култури, Земиздат, 646 стр.
- Малчева, К., Червенков, Хр. и Бочева, Л. (2023). Значението на сезонните климатични оценки в анализа на съвременния климат на България. *Bul. J. Meteo & Hydro*, 27(1) (приета за печат), http://meteorology.meteo.bg/global-change/bjmh_online_en.html
- Маринов, И., Велизарова, Е., Няголов, И., Николова, К., Илчева, И., Златанов, Ц., Мирчев, П., Захариева, В., Йорданова, А., Николов, И., Павлова, Е. и Митева, С. (2012). Климатични промени и влиянието им върху горските екосистеми и водните ресурси във водосбора на река Струма, ISBN: 978-954-395-081-2, 160 стр.
- Нинов, П. и Карагъзова, Ц. (2015). Актуализация на инструментариума за оценка на ресурсите от пресни води на територията на България. Техн. отчет, НИМХ, София, 2015 г.
- Сантурджиян, О. (2003). Генерални схеми за използване на водите в районите за басейново управление, Списание на БАН, кн.1, година СХVI
- Спасов, В., Стефанов И., Йотов, И., Кехайов, Т., Петров, П., Велковски, Г., Славейков, И., Власковски, И., Бендерев, А., Андреев, А. и Мачкова, М. (2003). Експлоатационни

- ресурси и използване на подземните води в районите за басейново управление в България, Списание на БАН, кн.1, година СХVI
- Спиридонов, В. и Балабанова, Сн. (2017). Влияние на климатичните промени (до 2050 г.) върху интензивните валежи на територията на България, *Bul. J. Meteo & Hydro*, 22(5), стр. 26-37
- Станев, С., Кючукова, М. и Лингова, С., ред. (1991). Климатът на България, Издателство на БАН, София, 499 стр.
- Събев, Л. и Станев, С. (1959). Климатичните райони на България и техният климат. Тр. на ИХМ, том V, Държ. изд. „Наука и изкуство”, София, 176 стр.
- Събев, Л., Станев, С. и Лингова, С. (1963). Върху режима на късните пролетни и ранните есенни мразове в България. Трудове на ИХМ, vol. XV, 45
- Alexander, L.V., et al. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation, *J. Geophys. Res.*, 111, D05109, <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>
- Alexandrov, V., Schneider, M., Koleva, E., et al. (2004). Climate variability and change in Bulgaria during the 20th century. *Theoretical and Applied Climatology* 79: 133-149, <https://doi.org/10.1007/s00704-004-0073-4>
- Alexandrov, V., Gajdusek, M.F., Knight, C.G., & Yotova, A. (Eds). (2010). *Global Environmental Change: Challenges to Science and Society in Southeastern Europe*. Springer, <https://link.springer.com/book/10.1007/978-90-481-8695-2>
- Alexandrov, V., Eitzinger, J., & Hoogenboom, G. (2011). Climate Variability and Change and Related Impacts on Agroecosystems in Southeast and Central Europe as well as Southeast USA. COST Action 734, 232 pp., BOLID-INS, Sofia, Bulgaria; ISBN: 978-954-394-055-4
- Allen, M.R., et al. (2018). Framing and Context. In: *Global Warming of 1.5 °C. An IPCC Special Report*, <https://doi.org/10.1017/9781009157940.003>
- Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., & Smith, M. (1998). Crop evapotranspiration – Guidelines for computing crop water requirements. *Irrigation and Drainage Paper 56*, FAO, Rome, 300 pp.
- Alpert, P., Ben-gai, T., Baharad, A., Benjamini, Y., Yekutieli, D., Colacino, M., Diodato, L., Ramis, C., Homar, V., Romero, R., Michaelides, S., & Manes, A. (2002). The paradoxical increase of Mediterranean extreme daily rainfall in spite of decrease in total values, *Geophys. Res. Lett.*, 29(11), <https://doi.org/10.1029/2001GL013554>
- Artinyan, E., Habets, F., Noilhan, J., Ledoux, E., Dimitrov, D., Martin, E., & Le Moigne, P. (2008). Modelling the water budget and the river flows of the Maritsa basin in Bulgaria. *Hydrology and Earth System Sciences*, 12, <https://doi.org/10.5194/hessd-4-475-2007>
- Balabanova, S., Koshinchanov, G., Stoyanova, V., & Yordanova, V. (2019). Geodatabase for occurred floods to support preliminary flood risk assessment, 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM2019, 19(3.1), pp. 225-232, <https://doi.org/10.5593/sgem2019/3.1/S12.029>
- Balabanova, Sn., Stoyanova, S., Stoyanova, V., Koshinchanov, G., & Yordanova, V. (2022). Hydrological forecasting and activities in Bulgaria in the framework of the DAREFFORT project, 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM2022, <https://doi.org/10.5593/sgem2022/3.1/s12.13>
- Bartolini, G., di Stefano, V., Maracchi, G., & Orlandini, S. (2012). Mediterranean warming is especially due to summer season - evidences from Tuscany (central Italy). *Theoretical and Applied Climatology*, 107(1-2), 279-295, <https://doi.org/10.1007/s00704-011-0481-1>
- Beck, H.E., Zimmermann, N.E., McVicar, T.R., Vergopolan, N., Berg, A., & Wood, E.F. (2018). Present and future Köppen-Geiger climate classification maps at 1-km resolution. *Scientific Data* 5:180214, DOI: 10.1038/sdata.2018.214, <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.214>

- Berger, A., Loutre, M.F., & Tricot, C. (1993). Insolation and Earth's orbital periods. *J. Geophys. Res.*, 98(D6), 10341-10362, <https://doi.org/10.1029/93JD00222>
- Bezák, N., Petan, S., Kobold, M., Brilly, M., Bálint, Z., Balabanova, S., Cazac, V., Csík, A., Godina, R., Janál, P., Klemar, Ž., Kopáčíková, E., Liedl, P., Matreata, M., Korniienko, V., Vladiković, D., & Šraj, M. (2021). A catalogue of the flood forecasting practices in the Danube River Basin, *River Research and Applications*, <https://doi.org/10.1002/rra.3826>
- Bocheva, L. (2015). Comparative analysis of heavy precipitation in non-mountainous regions of Bulgaria. Proceedings of the 15th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, June 18-24, 2015, ISBN 978-619-7105-38-4/ ISSN 1314-2704, Book4, 889-896.
- Bocheva, L., & Malcheva, K. (2020). Climatological assessment of extreme 24-hour precipitation in Bulgaria during the period 1931-2019. Proceedings of the 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 18-24 August, 2020, Vol. 20(4.1), 357-364, <https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.045>
- Bocheva, L., Malcheva, K., & Chervenkov, H. (2023). Recent climate assessment and future climate change in Bulgaria – brief analysis, 23rd International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM2023, <http://dx.doi.org/10.5593/sgem2023/4.1/s19.41>
- Chervenkov, H., Ivanov, V., Gadzhev, G., Ganey, K., & Melas, D. (2020). Degree-Day Climatology over Central and Southeast Europe for the Period 1961–2018 – Evaluation in High Resolution. *Cybernetics and Information Technologies, Special Issue on New Developments in Scalable Computing*: 20(6), pp. 166-174, <https://doi.org/10.2478/cait-2020-0070>
- Chervenkov, H., Ivanov, V., Gadzhev, G., & Ganey, K. (2020a). Assessment of the Future Climate over Southeast Europe Based on CMIP5 Ensemble of Climate Indices – Part One: Concept and Methods. In: Gadzhev, G., Dobrinkova, N. (eds.) *Proceeding of 1st International Conference on Environmental Protection and disaster RISks*, ISBN978-619-7065-38-1, pp. 144-156, <https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.13>
- Chervenkov, H., Ivanov, V., Gadzhev, G., & Ganey, K. (2020b). Assessment of the Future Climate over Southeast Europe Based on CMIP5 Ensemble of Climate Indices – Part Two: Results and Discussion. In: Gadzhev, G., Dobrinkova, N. (eds.) *Proceeding of 1st International Conference on Environmental Protection and disaster RISks*, ISBN978-619-7065-38-1, pp. 157-169, <https://doi.org/10.48365/envr-2020.1.14>
- Chervenkov, H., Gadzhev, G., Ivanov, V., & Ganey, K. (2021). Degree-Days and Agrometeorological Indices in CMIP5 RCP8.5 Future Climate – Results for Central and Southeast Europe. In: Dobrinkova, N., Gadzhev, G. (eds) *Environmental Protection and Disaster Risks. EnviroRISK 2020. Studies in Systems, Decision and Control*, vol 361. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-70190-1_2
- Chervenkov, H., & Malcheva, K. (2023). Extreme Heat Events over Southeast Europe Based on NEX-GDDP Ensemble: Present Climate Evaluation and Future Projections. *Atmosphere*, 14(6), 1000, <https://doi.org/10.3390/atmos14061000>
- Cowtan, K., & Way, R.G. (2014). Coverage bias in the HadCRUT4 temperature series and its impact on recent temperature trends. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 140, pp. 1935-1944, <https://doi.org/10.1002/qj.2297>
- Cramer, W., Guiot, J., Fader, M., Garrabou, J., Gattuso, J.-P., Iglesias, A., et al. (2018). Climate change and interconnected risks to sustainable development in the Mediterranean. *Nature Climate Change*, 8, 972-980, <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0299-2>
- De Martonne, E. (1925). *Aérisme et Indice Artidite*. *Compte Rendu de L'Acad. Sci.*, Paris 182, pp. 1395-1398

- de Wit, M.J. (2007). The Kalahari Epeirogeny and climate change: differentiating cause and effect from core to space. *South African Journal of Geology*, 110 (2-3): 367-392, <https://doi.org/10.2113/gssajg.110.2-3.367>
- Diffenbaugh, N.S., Pal, J.S., Giorgi, F., & Gao, X. (2007). Heat stress intensification in the Mediterranean climate change hotspot, *Geophysical Research Letters*, 34(11), pp. 1-6, <https://doi.org/10.1029/2007GL030000>
- Drought Management Plan Report Including Agricultural, Drought Indicators and Climate Change Aspects (2007). Water Scarcity and Droughts Expert Network, EC
- Drumeva-Antonova, G., Ljubenova, K., Ilcheva, I., Yordanova, A., & Rainova, V. (2022). Characterization of the groundwater affects in the assessment of hydrological drought, *Journal of Balkan Ecology*, ISSN 1311-0527; 2815-3758 (online), vol. 25, № 3, pp. 317-326
- ECMWF (2017). Climate service develops user-friendly data store, *ECMWF Newsletter No. 151*, 04/2017, p. 22, doi:10.21957/h9b197, <https://www.ecmwf.int/node/17181>
- EEA (2017). Report No 1/2017. Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. An indicator-based report, Luxembourg, 419 p., <https://doi.org/10.2800/534806>
- Eitzinger, J., Thaler, S., Orlandini, S., Nejedlik, P., Kazandjiev, V., Vucetic, V., Sivertsen, T.H., Mihailovic, D.T., Lalic, B. Tsiros, E., Dalezios, N.R., Susnik, A., Christian, K., Kersebaum, C., Holden, N.M., & Matthews, R. (2008). Agroclimatic Indices and Simulation Models, in “Survey of Agrometeorological Practices and Applications in Europe, Regarding Climate Change Impacts”, ESF, COST 734, pp. 15-114
- Eyring, V., Bony, S., Meehl, G.A., Senior, C.A., Stevens, B., Stouffer, R.J., & Taylor, K.E. (2016). Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization, *Geosci. Model Dev.*, 9, pp. 1937-1958, <https://doi:10.5194/gmd-9-1937-2016>
- Farda, A., Déué, M., Somot, S., Horányi, A., Spiridonov., V., & Tóth, H. (2010). Model ALADIN as regional climate model for Central and Eastern Europe. *Stud Geophys Geod* 54, pp. 313-332, <https://doi.org/10.1007/s11200-010-0017-7>
- Gadzhev, G., Ivanov, V., Valcheva, R., Ganev, K., & Chervenkov, H. (2021). HPC Simulations of the Present and Projected Future Climate of the Balkan Region. In: Dimov, I., Fidanova, S. (eds.) *Advances in High Performance Computing. HPC 2019. Studies in Computational Intelligence*, 902, 234-248 Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-030-55347-0_20
- Georgieva, V. (2015). Soil water content dynamics and climate change impact. *Journal of Balkan Ecology*, Vol. 18, 3, 239-257
- Georgieva, V., & Kazandjiev, V. (2023). Late Spring Frosts and Their Impact to Agriculture in Bulgaria, *Journal Agriculture & Food*, 14-17 August 2023, Burgas, <https://www.scientific-publications.net/en/open-access-journals/agriculture-and-food/>
- Georgieva, V., Kazandjiev, V., Bozhanova, V., Mihova, G., Ivanova, D., Todorovska, E., Uhr, Z., Ilchovska, M., Sotirov, D., & Malasheva, P. (2022). Climatic Changes – A Challenge for the Bulgarian Farmers. *Agriculture*, 12, 2090, <https://doi.org/10.3390/agriculture12122090>
- Georgoulas, A.K., Akritidis, D., Kalisoras, A., Kapsomenakis, J., Melas, D., Zerefos, C.S., & Zanis, P. (2022). Climate change projections for Greece in the 21st century from high-resolution EURO-CORDEX RCM simulations. *Atmospheric Research*, 271, 106049, <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2022.106049>
- Giorgi, F. (2006). Climate change hot-spots, *Geophysical Research Letters*, 33(8), L08707, <https://doi.org/10.1029/2006GL025734>
- Giorgi, F., Coppola, E., Solmon, F., Mariotti, L., Sylla, M.B., Bi, X., Elguindi, N., Diro, G.T., Nair, V.S., Giuliani, G., Turuncoglu, U.U., Cozzini, S., Güttler, I., O'Brien, T.A., Tawfik, A.B., Shalaby, A., Zakey, A.S., Steiner, A.L., Stordal, F., Sloan, L.C., & Branković, Č.

- (2012). RegCM4: model description and preliminary tests over multiple CORDEX domains. *Climate Research*, 52, 7-29, <https://doi.org/10.3354/cr01018>
- Gray, L.J., Beer, J., Geller, M., Haigh, J.D., Lockwood, M., Matthes, K., Cubasch, U., Fleitmann, D., Harrison, G., Hood, L., Luterbacher, J., Meehl, G.A., Shindell, D., van Geel, B., & White, W. (2010) Solar influences on climate, *Rev. Geophys.*, 48, RG4001
- Haigh, J. (2011). Solar influences on Climate. Briefing paper No 5., Grantham Institute for Climate Change, <https://www.imperial.ac.uk/grantham/publications/briefing-papers/>
- Herrera-Lormendez, P., John, A., Douville, H., & Matschullat, J. (2023). Projected changes in synoptic circulations over Europe and their implications for summer precipitation: A CMIP6 perspective. *International Journal of Climatology*, 1–18, <https://doi.org/10.1002/joc.8033>
- Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., et al. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Q J R Meteorol Soc.*, 146, pp. 1999-2049, <https://doi.org/10.1002/qj.3803>
- Hunt, E.D., Hubbard, K.G., Wilhite, D.A., Arkebauer, T.J., & Dutcher, A.L. (2009). The development and evaluation of a soil moisture index. *Int. J. Climatol.*, 29, pp. 747-759, <https://doi.org/10.1002/joc.1749>
- Ilcheva, I., Yordanova, A., & Raynova, V. (2019). Water resource balance for Vitosha Nature Park and adaptive management under conditions of climate change. *European Journal of Geography*, 10(3), pp. 56-72, <https://www.eurogeojournal.eu/index.php/egj/article/view/196>
- Ilcheva, I., Yordanova, A., Ljubenova, Kr., Drumeva, G., & Rainova, V. (2022). Approach and Indicator system for assessment the impacts of reservoirs and prolonged drought identification in Bulgaria for Water framework directive, *International Multidisciplinary Scientific GeoConference 2022, SGEM*, <https://doi.org/10.5593/sgem2022/3.1/s12.07>
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by J. T. Houghton et al. (Cambridge University Press, Cambridge, UK)
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC*, edited by S. Solomon et al. (Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA)
- IPCC (2014). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by T. Stocker et al. (Cambridge University Press, Cambridge)
- IPCC (2021a). Seneviratne, S.I., X. Zhang, M. Adnan, W. Badi, C. Dereczynski, A. Di Luca, S. Ghosh, I. Iskandar, J. Kossin, S. Lewis, F. Otto, I. Pinto, M. Satoh, S.M. Vicente-Serrano, M. Wehner, and B. Zhou: Weather and Climate Extreme Events in a Changing Climate. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 1513-1766, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.013>
- IPCC (2021b). Annex VI: Climatic Impact-driver and Extreme Indices [Gutiérrez J.M., R. Ranasinghe, A.C. Ruane, R. Vautard (eds.)]. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 2205-2214, <https://doi.org/10.1017/9781009157896.020>
- Ivanov, V., Chervenkov, H., Gadzhev, G., & Ganev, K. (2020). Degree-days and Agrometeorological Indices in Projected Future Climate Over Southeast Europe, *Proceedings of the 20th international multidisciplinary scientific geoconference SGEM 2020*, vol. 20, number 4.1, pp. 373-380, <https://doi.org/10.5593/sgem2020/4.1/s19.047>
- Jones, P.D., Hulme, M., & Briffa, K.R. (1993). A comparison of Lamb circulation types with an objective classification scheme. *Int J Climatol*, 13, pp. 655-663

- Kazandjiev, V., & Georgieva, V. (2006). WOFOST Model Calibration for some Cereal Crops in Bulgaria. Proc. of the 8th Conference on Meteorology, Climatology and Atmospheric Physics – COMECAP, 24-26 May 2006, Athens, vol. C, pp. 97-102
- Kazandjiev, V., Degórski, M., Błażejczyk, K., & Georgieva, V. (2015). Agroclimatic conditions in Bulgaria and agricultural adaptation. *Europa XXI*, 29, pp. 23-42, <https://doi.org/10.7163/Eu21.2015.29.2>
- Kazandjiev, V., Spiridonov, V., Georgieva, V., & Malasheva, P. (2021). Comparative Study of Indices Characterizing Climate Change for the Needs of Agricultural Production, *Journal Agriculture & Food*, pp. 181-190, <https://www.scientific-publications.net/en/article/1002157/>
- Kazandjiev, V., Georgieva, V., Malasheva, P., & Atanassov, Dr. (2022). Evapotranspiration and Drought in Different Agricultural Zones of Bulgaria. *IntechOpen*, <https://doi.org/10.5772/intechopen.102391>
- Kazandjiev, V., Georgieva, V., Ivanov, M., Mihova, G., & Uhr, Zl. (2023). Evaluation of the Productivity of Different Varieties of Winter wheat in the Conditions of the Future Climate Until 2030–2050, *Journal Agriculture & Food*, ISSN 1314-8591, <https://www.scientific-publications.net/en/open-access-journals/agriculture-and-food/>
- Kendall, M.G. (1938). A new measure of rank correlation. *Biometrika*, 30, pp. 81-93
- Koleva, Ek., Boroneant, C., & Bruci, E. (1998). Study on the variability of annual and seasonal precipitation over the Balkan Peninsula. The second International Conference on the Climate and Water, Esoo, Finland 17-20 August, vol. 3, pp.1084-1089
- Koleva, E., & Alexandrov, V. (2008). Drought in the Bulgarian low regions during the 20th century. *Theor Appl Climatol* 92, 113-120, <https://doi.org/10.1007/s00704-007-0297-1>
- Köppen, W. (1936). Das geographischa System der Klimate. In: *Handbuch der Klimatologie*, edited by: Köppen, W. and Geiger, G., C. Gebr, Borntraeger, 1-44.
- Kostopoulou, E., & Jones, P.D. (2005). Assessment of climate extremes in the Eastern Mediterranean. *Meteorol Atmos Phys* 89:69–85, <https://doi.org/10.1007/s00703-005-0122-2>
- Kučerová, M., Beck, C., Philipp, A., & Huth, R. (2017). Trends in frequency and persistence of atmospheric circulation types over Europe derived from a multitude of classifications. *Int. J. Climatol.*, 37: 2502-2521, <https://doi.org/10.1002/joc.4861>
- Lelieveld, J., Hadjinicolaou, P., Kostopoulou, E., Chenoweth, J., El Maayar, M., Giannakopoulos, C., Hannides, C., Lange, M.A., Tanarhte, M., Tyrllis, E., & Xoplaki, E. (2012). Climate change and impacts in the Eastern Mediterranean and the Middle East. *Climatic Change* 114, 667-687, <https://doi.org/10.1007/s10584-012-0418-4>
- Lionello, P., Trigo, I.F., Gil, V., Liberato, M.L.R., Nissen, K.M., Pinto, J.G., Raible, C.C., Reale, M., Tanzarella, A., Trigo, R.M., Ulbrich, S. & Ulbrich, U. (2016). Objective climatology of cyclones in the Mediterranean region: a consensus view among methods with different system identification and tracking criteria, *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68:1, <https://doi.org/10.3402/tellusa.v68.29391>
- Malcheva, K., & Bocheva, L. (2023). Assessment of Contemporary Climate Change in Bulgaria Using the Köppen-Geiger Climate Classification. In: Dobrinkova, N., Nikolov, O. (eds) *Environmental Protection and Disaster Risks. EnviroRISKS 2022. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 638. Springer, Cham, https://doi.org/10.1007/978-3-031-26754-3_12
- Malcheva, K., Bocheva, L., & Chervenkov, H. (2021). Climatology of extremely hot spells in Bulgaria (1961–2019). In: Trofymchuk, O., Rivza, B., Eds. *Proceedings of the 21st International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM 2021, Volume 21*, 237-244.
- Malcheva, K., Marinova, T., & Bocheva, L. (2020). Statistical Assessment of Annual Maximum Daily Precipitation over Bulgaria in the Period 1892-2018. *Proceeding of 1st International*

- Conference on Environmental Protection and Disaster RISks, 2020, pp. 452-466, <https://doi.org/10.48365/ENVR-2020.1.41>
- Malinovic-Milicevic, S., Stanojevic, G., & Radovanovic, M.M. (2018). Recent changes in first and last frost dates and frost-free period in Serbia, *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*, 100:1, 44-58, <https://doi.org/10.1080/04353676.2017.1369048>
- Mann, H.B. (1945). Nonparametric tests against trend. *Econometrica*, 13, pp. 245-259
- McKee, T.B., Doesken, N.J., & Kliest, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology, 17–22 January, Anaheim, CA, 1993, American Meteorological Society: Boston, MA, pp. 179-184, <http://ccc.atmos.colostate.edu/relationshipofdroughtfrequency.pdf>
- Menzel, A. (2003). Plant Phenological Anomalies in Germany and their Relation to Air Temperature and NAO. *Climate Change* 57, pp. 243-263, <https://doi.org/10.1023/A:1022880418362>
- Micu, D., Dragotă, C.S., & Havriș, L.E. (2018). Climatic Parameters of Seasonal Air and Ground Frost in the Romanian Plain Region, *Aerul și Apa: Componente ale Mediului*, pp. 69-76, https://doi.org/10.24193/AWC2018_09
- Monzonís, M., Soleraet, A., Ferrer, J., Estrela, T., & Paredes, J. (2015). A review of water scarcity and drought indexes in water resources planning and management. *Journal of Hydrology*, Volume 527, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.05.003>
- Moss, R.H. et al. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment, *Nature*, Vol. 463, No. 7282, 747-756, <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- Moteva, M., Kazandjiev, V., & Georgieva, V. (2009). Assessment of the contemporary hydro-thermal conditions for crop growing in Bulgaria. *Proc. Int. Conf. "Soil Tillage and Ecology"*, 1-5 Sept., Albena, Bulgaria, pp. 134-141
- Moteva, M., Kazandjiev, V., & Georgieva, V. (2015). Climatological and Meteorological Information for Future Sustainable Agriculture in Bulgaria. In: *Environment, Ecology and Sustainability at the Beginning of 21st Century*, St. Kliment Ohridski University Press, pp. 91-111, ISBN 978-954-07-3999-1
- Muñoz-Sabater, J., Dutra, E., Agustí-Panareda, A., Albergel, C., Arduini, G., Balsamo, G., Boussetta, S., Choulga, M., Harrigan, S., Hersbach, H., Martens, B., Miralles, D.G., Piles, M., Rodríguez-Fernández, N.J., Zsoter, E., Buontempo, C., & Thépaut, J.-N. (2021). ERA5-Land: a state-of-the-art global reanalysis dataset for land applications. *Earth System Science Data*, 13, 9, pp. 4349-4383, <https://doi.org/10.5194/essd-13-4349-2021>
- Nikolov, T. & Petrov, N. (2014). Main factors influencing climate change: A review. *Comptes Rendus de L'Academie Bulgare des Sciences*, 67, pp. 1455-1476
- Ninov, Pl., Karagiozova, Tz., Bojilova, E., Todorova, N., Krumova, K., Dobрева, R., Boeva, A., Ivanova, R., & Rankova, M. (2017). Update of the technological scheme for assessment of surface water resources on the territory of Bulgaria, *Electronic book with full papers from XXVII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management*, pp. 444-451, <https://www.danubeconference2017.org/>
- Otero, N., Sillmann, J., & Butler, T. (2017). Assessment of an extended version of the Jenkinson–Collison classification on CMIP5 models over Europe. *Climate Dynamics* 50(5-6), pp. 1559-1579, <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3705-y>
- PAGES 2k Consortium (2019). Consistent multidecadal variability in global temperature reconstructions and simulations over the Common Era. *Nat. Geosci.* 12, pp. 643-649, <https://doi.org/10.1038/s41561-019-0400-0>
- Papagiannaki, K., Lagouvardos, K., Kotroni, V., & Papagiannakis, G. (2014). Agricultural losses related to frost events: use of the 850 hPa level temperature as an explanatory variable of the

- damage cost, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 14, 2375-2386, <https://doi.org/10.5194/nhess-14-2375-2014>.
- Pedersen, J.S.T., Santos, F.D., van Vuuren, D., Gupta, J., Encarnaç o Coelho, R., Apar cio, B.A., & Swart, R. (2021). An assessment of the performance of scenarios against historical global emissions for IPCC reports. *Global Environmental Change*, 66, Article 102199, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102199>
- Petit, J., Jouzel, J., Raynaud, D., et al. (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399, 429–436, <https://doi.org/10.1038/20859>
- Philandras, C.M., Nastos, P.T., & Repapis, C.C. (2008). Air temperature variability and trends over Greece. *Global Nest Journal*, 10: 273-285, <https://doi.org/10.30955/gnj.000470>
- Poulter, B., Ciais, P., Hodson, E., Lischke, H., Maignan, F., Plummer, S., & Zimmermann, N.E. (2011). Plant functional type mapping for earth system models. *Geoscientific Model Development* 4, pp. 993-1010, <https://doi.org/10.5194/gmd-4-993-2011>
- QGIS Development Team (2018). QGIS Geographic Information System. Open Source Geospatial Foundation Project, <http://qgis.osgeo.org>
- Rankova, M., & Kroumova, K. (2017). Surface water resources characteristics estimation via statistical models, Electronic book with full papers from XXVII Conference of the Danubian Countries on Hydrological Forecasting and Hydrological Bases of Water Management, pp. 444-451. ISBN 978-954-90537-2-2, <https://www.danubeconference2017.org/>
- Riahi, K., Vuuren, D.V., Kriegler, E., Edmonds, J., O’Neill, B.C., et al. (2017). The Shared Socioeconomic Pathways and their energy, land use, and greenhouse gas emissions implications: An overview. *Global Environmental Change – human and Policy Dimensions*, 42, pp. 153-168, <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2016.05.009>
- Rohli, R.V., Joyner, T.A., Reynolds, S.J., & Ballinger, T.J. (2015). Overlap of global Köppen–Geiger climates, biomes, and soil orders. *Physical Geography* 36, pp. 158-175, <https://doi.org/10.1080/02723646.2015.1016384>
- Rossi, G. (2011). Drought risk for water supply systems based on low flow regionalization, Dissertation, Technische Universität Braunschweig, <http://www.digibib.tu-bs.de/?docid=00042961>
- Roudier, P., Andersson, J., Donnelly, C., Feyen, L., Greuell, W., & Ludwig, F. (2015). Projections of future floods and hydrological droughts in Europe under a +2 C global warming. *Climatic Change*, 135, <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1570-4>.
- Selyaninov, G.T. (1937). Methods of Climate Description to Agricultural Purposes. In: *World Climate and Agriculture Handbook*, Leningrad – Moscow
- Shepherd, T.G. (2016). A Common Framework for Approaches to Extreme Event Attribution. *Curr Clim Change Rep* 2, pp. 28-38, <https://doi.org/10.1007/s40641-016-0033-y>
- Shukla, S., & Wood, A.W. (2008). Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought. *Geophys. Res. Lett.*, 35, L02405, <https://doi.org/10.1029/2007GL032487>
- Sillmann, J., Kharin, V.V., Zhang, X., Zwiers, F.W., & Bronaugh, D. (2013a). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 1. Model evaluation in the present climate. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, pp. 1716-1733, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50203>
- Sillmann, J., Kharin, V.V., Zwiers, F.W., Zhang, X., & Bronaugh, D. (2013b). Climate extremes indices in the CMIP5 multimodel ensemble: Part 2. Future climate projections. *J. Geophys. Res. Atmos.*, 118, pp. 2473-2493, <https://doi.org/10.1002/jgrd.50188>
- Sillmann, J., & R ckner, E. (2007). Indices for extreme events in projections of anthropogenic climate change. *Climatic Change* 86(1-2), pp. 83-104, <https://doi.org/10.1007/s10584-007-9308-6>

- Slavov, N., & Moteva, M. (2002). Influence of climate changes on some characteristics of droughts in Bulgaria. *Ecology and Future*. I(2-4), pp. 31-33
- Spinoni, J., Vogt, J.V., Barbosa, P., Dosio, A., McCormick, N., Bigano, A., & Füssel, H.-M. (2018). Changes of heating and cooling degree-days in Europe from 1981 to 2100. *Int. J. Climatol*, 38: e191-e208, <https://doi.org/10.1002/joc.5362>
- Spiridonov, V., Braun, A., Deque, M., & Somot, S. (2004). High resolution climate adaptation of ERA40 data over the Bulgarian domain. Workshop on Regional Climate Modeling, MAGMA EC Project No EVG3-CT-2002-80006, Prague 2004
- Spiridonov, V., Déqué, M., & Somot, S. (2005). ALADIN-CLIMATE: from the origins to present date. *ALADIN Newsletter* 29, pp. 89-92
- Spiridonov, V., & Balabanova, Sn. (2021). The impact of climate change on intensive precipitation and flood types in Bulgaria. In: *Climate and Land Use Impacts on Natural and Artificial Systems: Mitigation and Adaptation*. Nistor, M.M. (Ed.). Chapter 9. Elsevier, <https://doi.org/10.1016/C2019-0-04549-9>
- Taylor, K.E., Stouffer, R.J., & Meehl, G.A. (2012). An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, 485-498, <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-11-00094.1>
- Terres, J-M., Toth, T., Wania, A., Hagyo, A., Koeble, R., & Nisini, L. (2016). Updated Guidelines for Applying Common Criteria to Identify Agricultural Areas with Natural Constraints. Joint Research Centre (JRC), Technical Report JRC101711, ISSN:1018-5593
- Thornthwaite, C.W. (1948). Approach toward a Rational Classification of Climate. *The Geographical Rev.* 38(1), pp. 55-94
- Toreti, A., Desiato, F., Fioravanti, G., et al. (2010). Seasonal temperatures over Italy and their relationship with low-frequency atmospheric circulation patterns. *Climatic Change*, 99, pp. 211-227, <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9640-0>
- Turc, L. (1954). Le bilan d'eau des sols: relation entre les précipitations, l'évaporation et l'écoulement. *Ann. Agron., Série A*, 5, pp. 491-595
- Tye, M.R., Dagon, K., Molina, M.J., Richter, J.H., Visioni, D., Kravitz, B., & Tilmes, S. (2022). Indices of extremes: geographic patterns of change in extremes and associated vegetation impacts under climate intervention. *Earth Syst. Dynam.*, 13, pp. 1233-1257, <https://doi.org/10.5194/esd-13-1233-2022>
- Valcheva, R. (2021). Climate Change Projections for Bulgaria According to RCP45 Scenario Until 2099. In: Mensink, C., Matthias, V. (eds) *Air Pollution Modeling and its Application XXVII*. ITM 2019. Springer Proceedings in Complexity. Springer, Berlin, Heidelberg, https://doi.org/10.1007/978-3-662-63760-9_19
- Valcheva, R., & Spiridonov, V. (2021). Climate change projections of infrastructure-hazardous phenomena (heavy rainfall and wind) in Bulgaria. *Bul. J. Meteo & Hydro* 25(2), pp. 24-44
- Valcheva, R., & Spiridonov, V. (2023). Regional climate projections of heavy precipitation over the Balkan Peninsula. *IDŐJÁRÁS*, Vol. 127, No. 1, pp. 77-106
- van Oldenborgh, G.J., van der Wiel, K., Kew, S. et al. (2021). Pathways and pitfalls in extreme event attribution. *Climatic Change* 166, 13, <https://doi.org/10.1007/s10584-021-03071-7>
- Wilby, R.L., Charles, S.P., Zorita, E., et al. (2004). Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Statistical Downscaling Methods. *Analysis*, 27, pp. 1-27, <http://www.narccap.ucar.edu/doc/tgica-guidance-2004.pdf>
- WMO & ICSU (1975). *The Physical Basis of Climate and Climate Modelling*. Report of the International Study Conference, 29 July-10 August 1974, Stockholm, Sweden
- WMO (2010). *Guide to Agricultural Meteorological Practices*. WMO № 134. 799 p., Digital, ISBN 978-92-63-10134-1

- WMO (2018). Guide to Climatological Practices, WMO-No. 100, <https://library.wmo.int/idurl/4/60113>
- WMO (2021). Statement on the State of the Global Climate in 2020, WMO-No. 1264, Geneva, Switzerland, ISBN 978-92-63-11264-4
- WMO (2022). State of the Global Climate in 2022, <https://public.wmo.int/en/our-mandate/climate/wmo-statement-state-of-global-climate>
- Xoplaki, E., Gonzalez-Rouco, J.F., Gyalistras, D., Luterbacher, J., Rickli, R., & Wanner, H. (2003). Interannual summer air temperature variability over Greece and its connection to the large-scale atmospheric circulation and Mediterranean SSTs 1950–1999. *Climate Dynamics* 20:537-554, <https://doi.org/10.1007/s00382-002-0291-3>
- Yordanova, A., Ilcheva, I., Bocheva, L., Malcheva, Kr., & Ljubenova, Kr. (2022). Analysis of hydrological drought indices and their relationship with meteorological factors and river basin specifics. 22nd International Multidisciplinary Scientific GeoConference, SGEM2022, <https://doi.org/10.5593/sgem2022/3.1/s12.05>

ИЗПОЛЗВАНИ АКРОНИМИ И СЪКРАЩЕНИЯ

ВЕИ – Възобновяеми енергийни източници

ГИС – Географски информационни системи

ГСТ – Глобална средна температура

МОСВ – Министерство на околната среда и водите

НИМХ – Национален институт по метеорология и хидрология

НСИ – Национален статистически институт

ООН – Организация на обединените нации

СЗО – Световна здравна организация

СМО (WMO) – Световна метеорологична организация

ALADIN – от френски: Aire Limitée Adaptation Dynamique développement InterNational

AR – Assessment Report, доклад за оценка на климатичните промени на IPCC

CECILIA – Central and Eastern Europe Climate Change Impact and Vulnerability Assessment

CFS – Climate Forecast System

CMIP – Coupled Model Intercomparison Project

EMED – западната част на Източното Средиземноморие (35° N–50° N; 15° E–35° E), в която попада Балканският полуостров

ERA-40 – атмосферен реанализ на ECMWF за периода от септември 1957 г. до август 2002 г.

ERA5 – пето поколение атмосферен реанализ на ECMWF, обхващащ периода от януари 1940 г. до днес

ERA5 Land – данни за наземния компонент от реанализа ERA5 с по-фина хоризонтална резолюция (~9 км)

ECMWF – Европейски център за средносрочни прогнози за времето (Рединг, Великобритания)

GCM – General Circulation Model

ICTP – International Centre for Theoretical Physics

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

Meteoalarm – Европейска система за предупреждение за опасни метеорологични явления

NASA – National Aeronautics and Space Administration

NEX-GDDP – NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections

RCM – Regional Climate Model

RegCM – система за моделиране на регионален климата на ICTP

RCP – Representative Concentration Pathways (климатични сценарии)

SMI – Индекс на почвено засушаване

SPI – Стандартизиран индекс на валежите (индекс на атмосферно засушаване)

SRI – Стандартизиран индекс на оттока

SRES – Special Report on Emissions Scenarios

SSP – климатични сценарии на „споделените социално-икономически пътища“

UNEP – Програмата на ООН за околната среда

ПРОМЕНЯЩИЯТ СЕ КЛИМАТ НА БЪЛГАРИЯ – ДАННИ И АНАЛИЗИ

Издание на Националния институт по метеорология и хидрология

София, 2023

<https://www.meteo.bg>



<https://www.meteo.bg>