



ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА
**НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ**

BG05M2OP001-1.001-0003
„ЦЕНТЪР ЗА ВЪРХОВИ ПОСТИЖЕНИЯ ПО ИНФОРМАТИКА
И
ИНФОРМАЦИОННИ И КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ“

2018 - 2023

ПАРТНЬОР: НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО ГЕОФИЗИКА, ГЕОДЕЗИЯ
И ГЕОГРАФИЯ - БАН
чл.-кор. Костадин Ганев



ЦЕНТЪР ЗА ВЪРХОВИ ПОСТИЖЕНИЯ ПО
ИНФОРМАТИКА И ИНФОРМАЦИОННИ И
КОМУНИКАЦИОННИ ТЕХНОЛОГИИ



Високопроизводителни компютърни симулации на настоящия и прогнозиран бъдещ климат на Балканския регион

Христо Червенков^{*1}, Георги Гаджев², Владимир Иванов², Костадин
Ганев², И. Георгиева²

¹Национален институт по метеорология и хидрология, “Цариградско шосе” 66,
1784 София, България

²Национален институт по геофизика, геодезия и география - БАН, “акад. Г.
Бончев”, бл. 3, 1113 София, България





1. Увод (1 от 2)

Днес съществува световен научен консенсус около становището, че числените модели за миналото, настоящето и бъдещето на общата атмосферна циркулация (ОАЦ), както и двупосочното взаимодействие на атмосферата с другите геофизични среди (хидро- и литосфера, ледената обвивка – криосферата) са най-съдържателният от физикоматематическа гледна точка и затова методологически най-издържан подход на описание.

В климатологията числените модели се разделят най-общо на глобални (General Circulation Models – GCM, ГЦМ) и на регионални (Regional Climate Models – RCM, РКМ), според областта върху която се решават (интегрират) уравненията на термо-хидродинамиката.

Климатичният сценарий представлява правдоподобно (макар и опростено) представяне на бъдещия климат, изготвено чрез отчитане на всевъзможните аспекти на антропогенното въздействие и естествената климатична изменчивост поради други фактори (светимост на Слънцето, респективно слънчева константа, орбитални характеристики и пр.). Климатичният сценарий (КС) не бива да се разглежда като климатична прогноза или някакъв аналог на метеорологичната прогноза най-малко по две причини:

- Оценката на антропогенното въздействие се основава на проекция в бъдещето на глобални социо-икономически характеристики като ръст на населението, макроикономика и енергетика, земеползване и пр. които имат по-скоро схематичен характер.
- КС не отчита трудно прогнозируеми, но с потенциал за огромно въздействие фактори (класическият пример е изригване на вулкан и последваща глобална зима).





1. Увод (2 от 2)

Под егидата на междуправителствената група по климатични промени (IPCC) през изминалите десетилетия бяха разработени няколко поколения климатични сценарии. Настоящото се състои от четири, с обща абривиатура RCP (от англ.: Representative Concentration Pathways), а именно RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 и RCP8.5 като числото след RCP е равно на промяната (във ватове на квадратен метър) на лъчистия поток енергия през 2100 година спрямо прединдустриалната епоха. Четирите сценария могат, макар и условно, да се разделят в три групи: **RCP2.6** (оптимистичен), **RCP4.5** и **RCP6.0** (реалистични) и **RCP8.5** (песимистичен). Осреднената проектна атмосферна концентрация на парникови газове (CO_2 еквивалент в обемни части на милион) през 2100 е 421 за RCP2.6, 650 за RCP4.5, 850 за RCP6.0 и 1370 за RCP8.5. Трябва да се подчертае, че оптимистичният сценарий предвижда достигане на максимална концентрация преди края на века (по-точно около 2050), реалистичните сценарии предвиждат стабилизация на нивата към 2100, а песимистичният — продължаващо увеличение на концентрациите и след този времеви хоризонт. Трябва ясно да се подчертаят три факта:

- Всичките четири сценария предвиждат увеличение глобалните концентрации на парникови газове (поне) до 2050 г., което неминуемо води до увеличение на глобално осреднената температура на тропосферата.
- Осреднените глобални тенденции не са представителни за дългосрочните изменения на регионалния/локалния климат. „Екстраполацията“ на резултати от един към друг пространствено-времеви мащаб е методологически неиздържано. Съществуват много примери на съществена разлика в динамиката на глобалния и регионалния климат (в някои, макар и редки случаи, дори до тенденции с противоположен знак!).
- Единствено при реализация на оптимистичния сценарий могат да се постигнат основните цели на Парижко споразумение – Рамкова конвенция на ООН по изменение на климата (първото всеобщо и правно задължително световно споразумение за климата), а именно ограничаване на глобалното затопляне до по-малко от 2°C до 2050 г., респективно $1,5^\circ\text{C}$ в края на 21-ви век сравнение с периода преди индустриализацията.

www.eufunds.bg



2. Симуляционни модели, извършени изчисления и техническа реализация

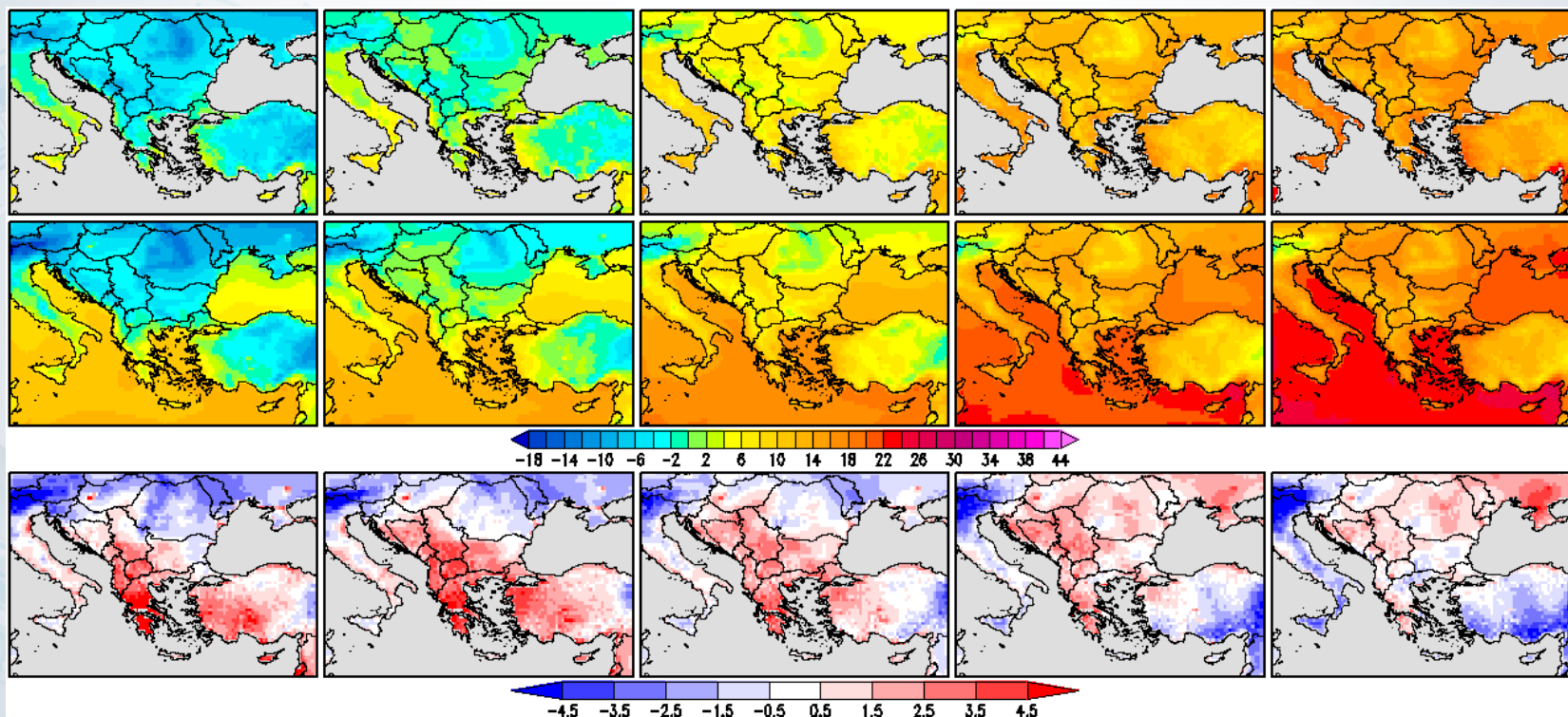
Основната цел на представеното изследване е изучаване на настоящия и проектния бъдещ климат над ЮИ Европа с център над България. Задачата се решава по метода на динамичната телескопизация, т.е. с каскадно прилагане на ГЦМ и регионален климатичен модел (PKM). В качеството на PKM използваме RegCM4.4 с хоризонтална стъпка от 20 км. и стъпка в времето от 20 сек.. Проведените симулации са за три периода – 1975-2005 (настояще или контролен период, CR); 2021-2050 (близко бъдеще, NF) и 2071-2099 (далечно бъдеще, FF). Симулациите за NF са извършени по сценариите **RCP2.6**, **RCP4.5** и **RCP8.5**, а за далечното – по сценариите **RCP2.6** и **RCP8.5**. Граничните условия (климатичното моделиране е задача без начални условия!) са от ГЦМ Hadley Centre Global Environment Model version 2 (HadGEM2-ES) с хоризонтална резолюция $1.875^{\circ} \times 1.25^{\circ}$ над сушата и 1° над океаните. Числената реализация на задачата е осъществена на ЕИМ на ИИКТ-БАН “Авитохол” с използване на 128 процесора. Времето, необходимо за пресмятането на 1 година моделен климат е 2.64 часа; обемът на входните данни за този период е 12.8 GB, а на изходните – 22.8 GB. Задачата е паралелизирана чрез системата за съвместно управление на паметта **OpenMP**.





3. Резултати за настоящ климат и сравнения с референтни данни (1 от 5)

Получените моделни резултати за настоящия климат са сравнени с референтните данни чрез съпоставка на процентилните стойности на двете извадки (двумерен Q-Q плот) и провеждане на тест (за подобие на статистическите функции на разпределение) на Колмогоров-Смирнов.

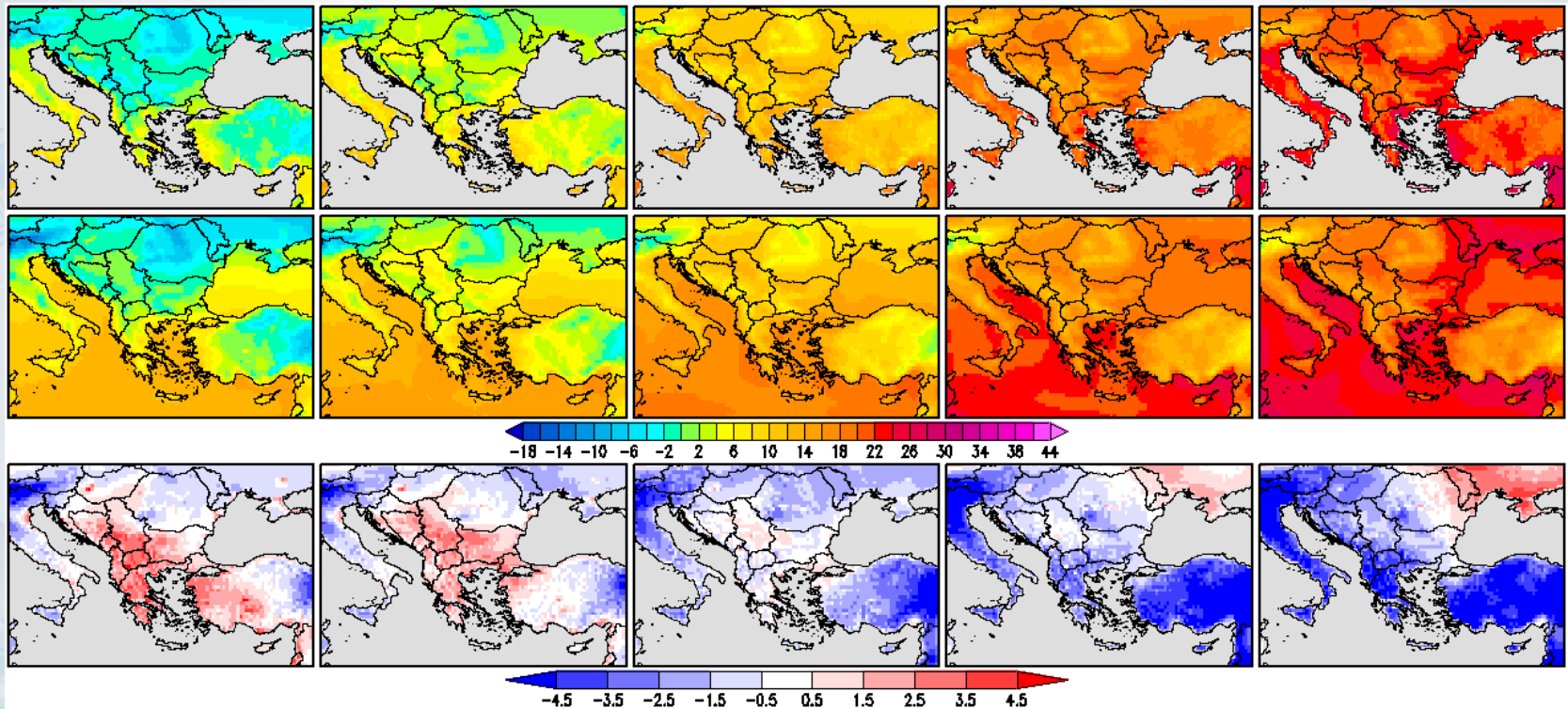


Фиг. 1 X10, X25, X50, X75 и X90 на минималната температура от E-OBS (референтни данни, първи ред) и RegCM (втори ред), както и разликата между тях (трети ред). Единиците са °C.





3. Резултати за настоящ климат и сравнения с референтни данни (2 от 5)

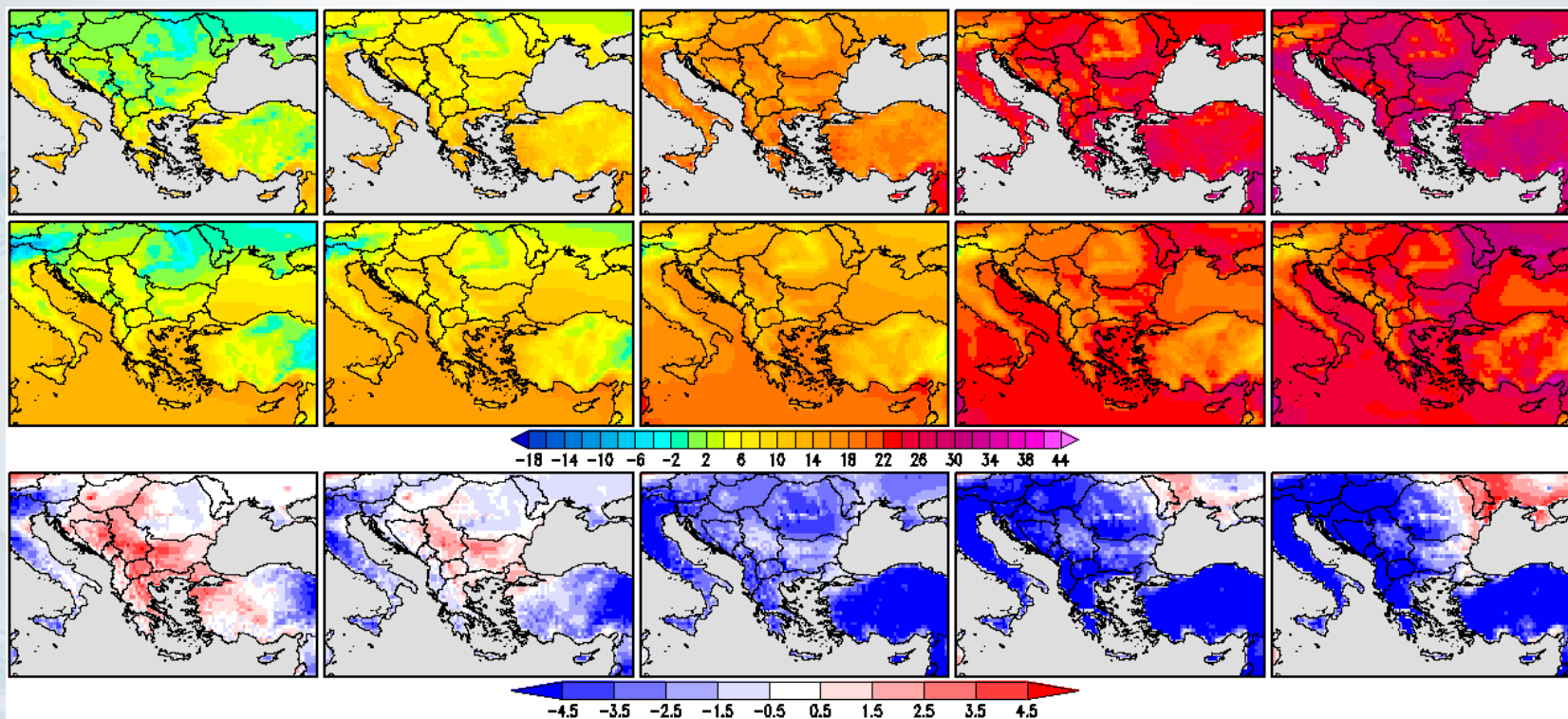


Фиг. 2 Като фигура 1, но за средnodневната температура





3. Резултати за настоящ климат и сравнения с референтни данни (3 от 5)

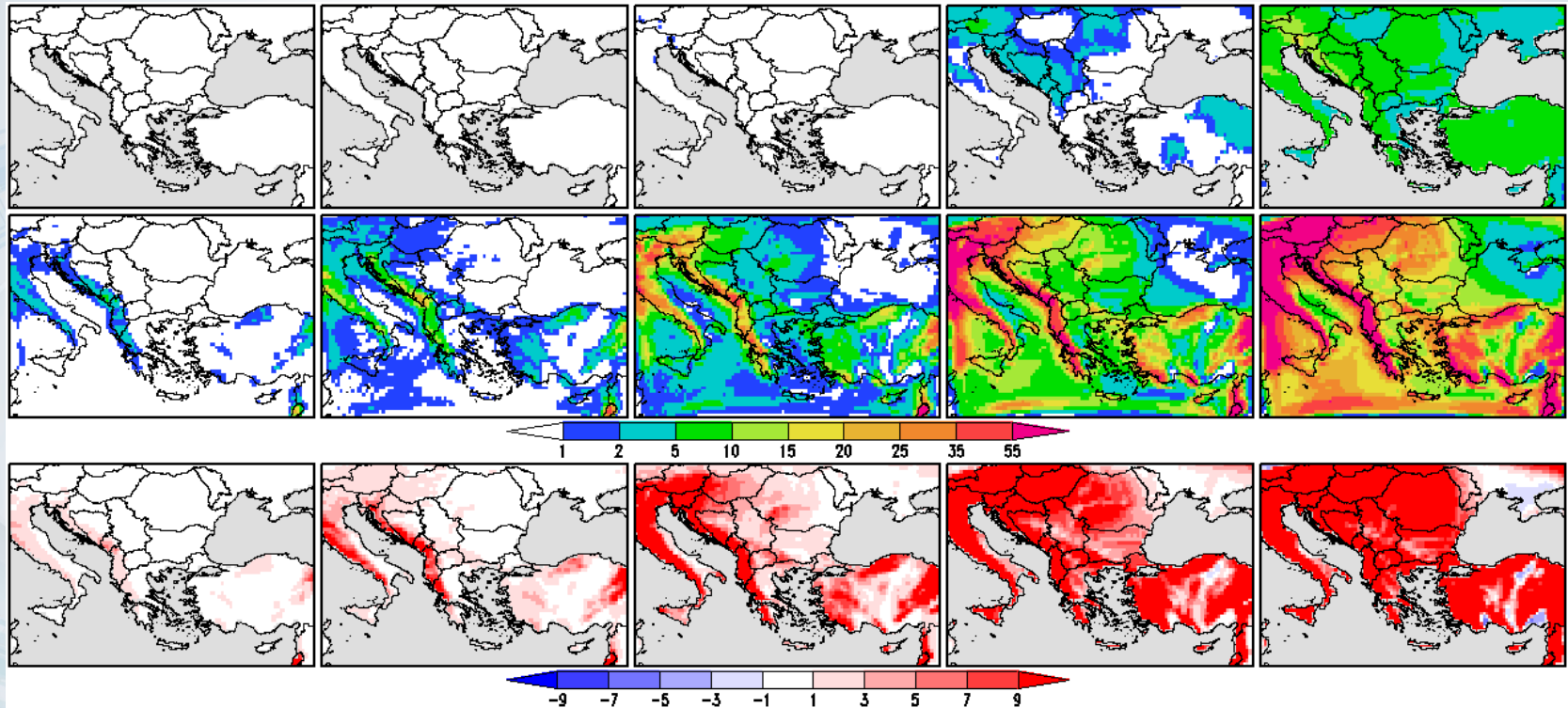


Фиг. 3 Като фигура 1, но за максималната температура





3. Резултати за настоящ климат и сравнения с референтни данни (4 от 5)



Фиг. 4 Като фигура 1, но за месечната валежна сума





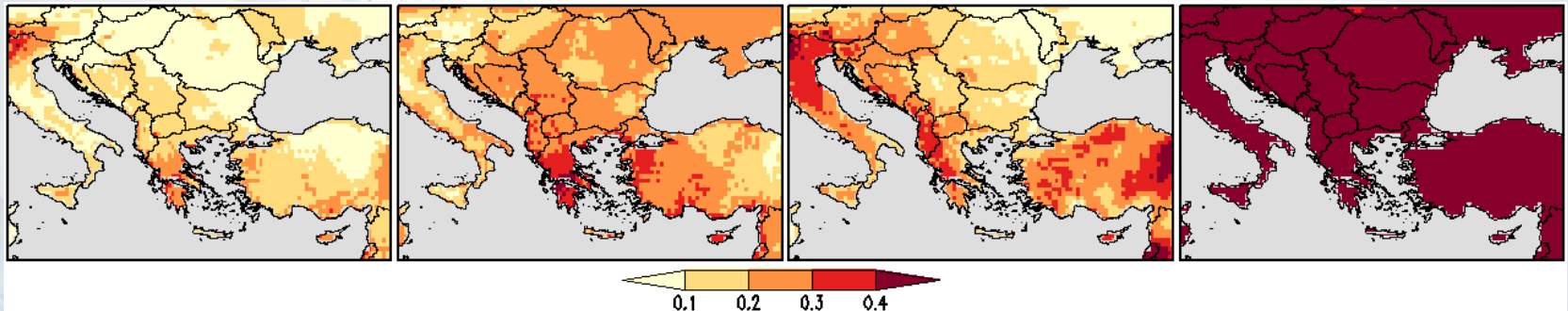
3. Резултати за настоящ климат и сравнения с референтни данни (5 от 5)

В теста на Колмогоров-Смирнов се сравнява близостта на разпределенията на извадките на референтните и моделните данни.

$$D_{n,m} = \sup_x |F_{1,n}(x) - F_{2,m}(x)|,$$

Нулевата хипотеза на теста е, че двете извадки са от едно и също разпределение и се отхвърля със статистическо ниво на значимост α при:

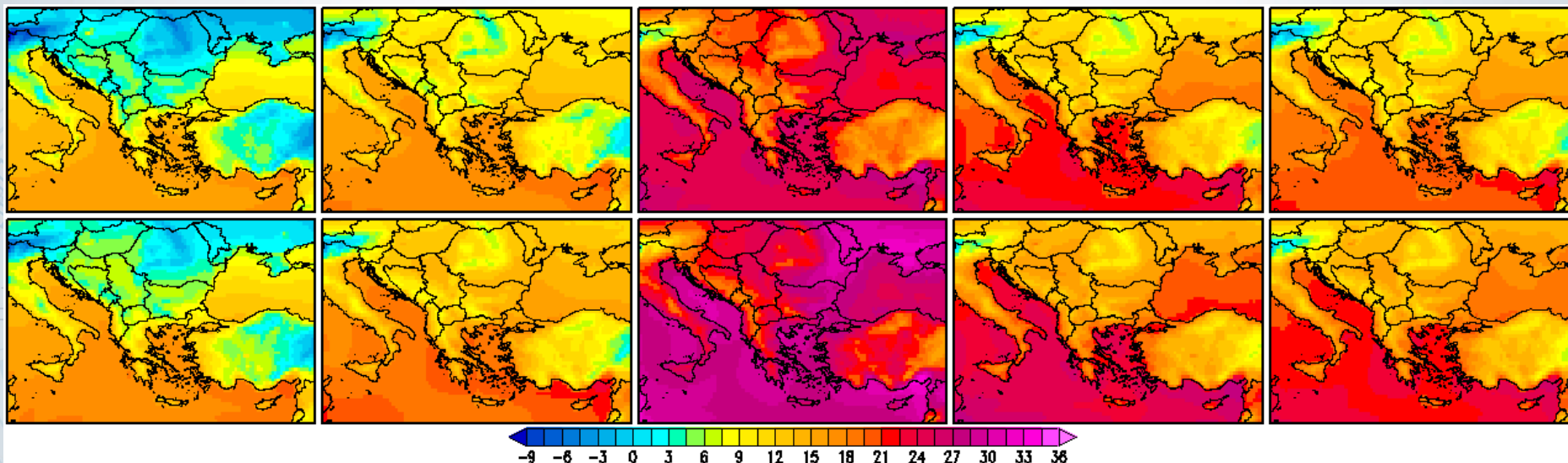
$$D_s > \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{n} + \frac{1}{m} \right) \ln \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right]^{1/2},$$



Фиг. 5 Резултати от теста на Колмогоров-Смирнов за минималната, среднодневната, максималната температура и месечната валежна сума. Стойността на $D_s(\alpha=5\%) < 0.02$.



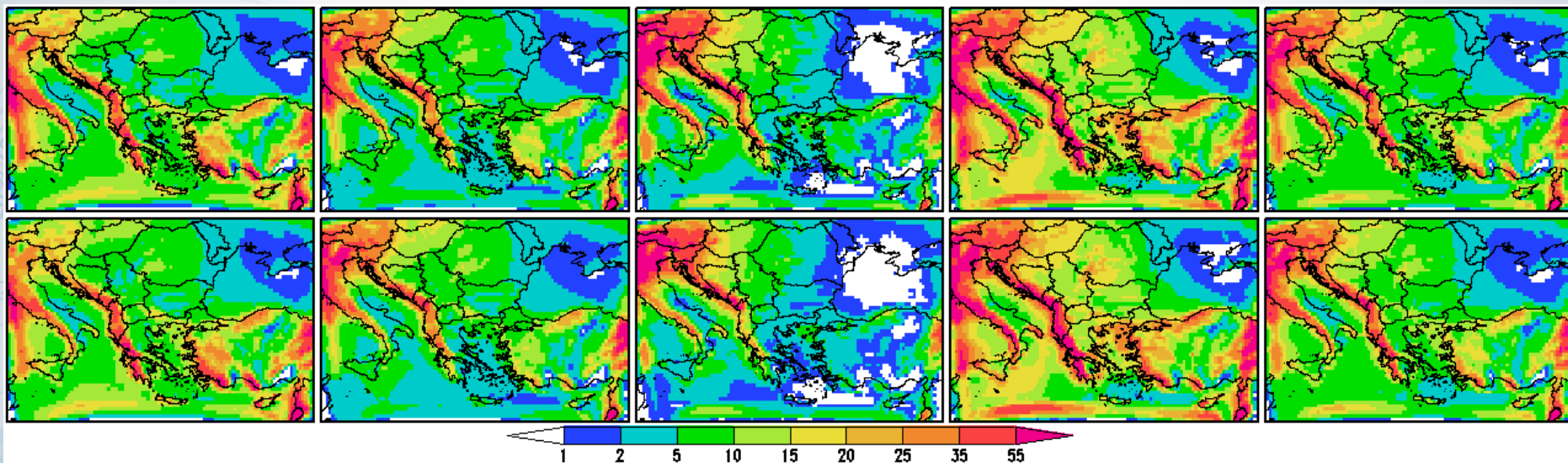
4. Резултати за проектен бъдещ климат на далечното бъдеще (1 от 3)



Фиг. 6 Многогодишни средни стойности за далечното бъдеще на среднодневната температура (единици: °C) за ДЯФ, МАМ, ЮЮА и СОА, както и за цялата година (от ляво на дясно) за RCP2.6 (първи ред и RCP8.5 (втори ред).



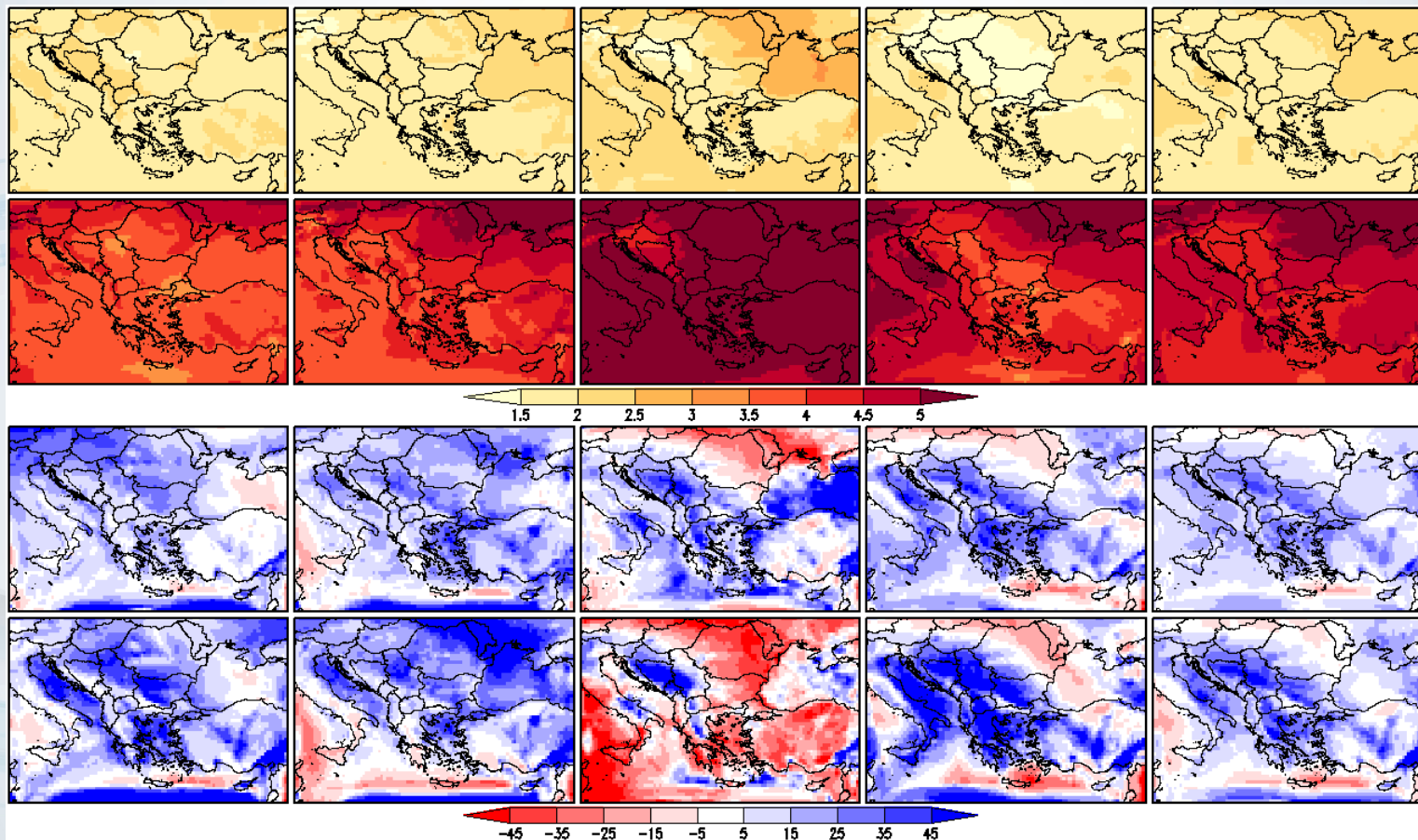
4. Резултати за проектен бъдещ климат на далечното бъдеще (2 от 3)



Фиг.7 Като фигура 6, но за месечната валежна сума. Единиците са мм.



4. Резултати за проектен бъдещ климат на далечното бъдеще (3 от 3)



Фиг.7 Абсолютно изменение на многогодишната средна стойност на среднодневната температура (единици °С, горен раздел) за ДЯФ, МАМ, ЮЮА и СОН и за годината (от ляво на дясно) за RCP2.6 (първи ред) и RCP8.5 (втори ред). Относително (в %, долна секция) изменение за същите периоди на осреднение и сценарии на месечните валежни суми.



5. Оценка на проектните изменения на температурата върху някои стопански отрасли (1 от 3)

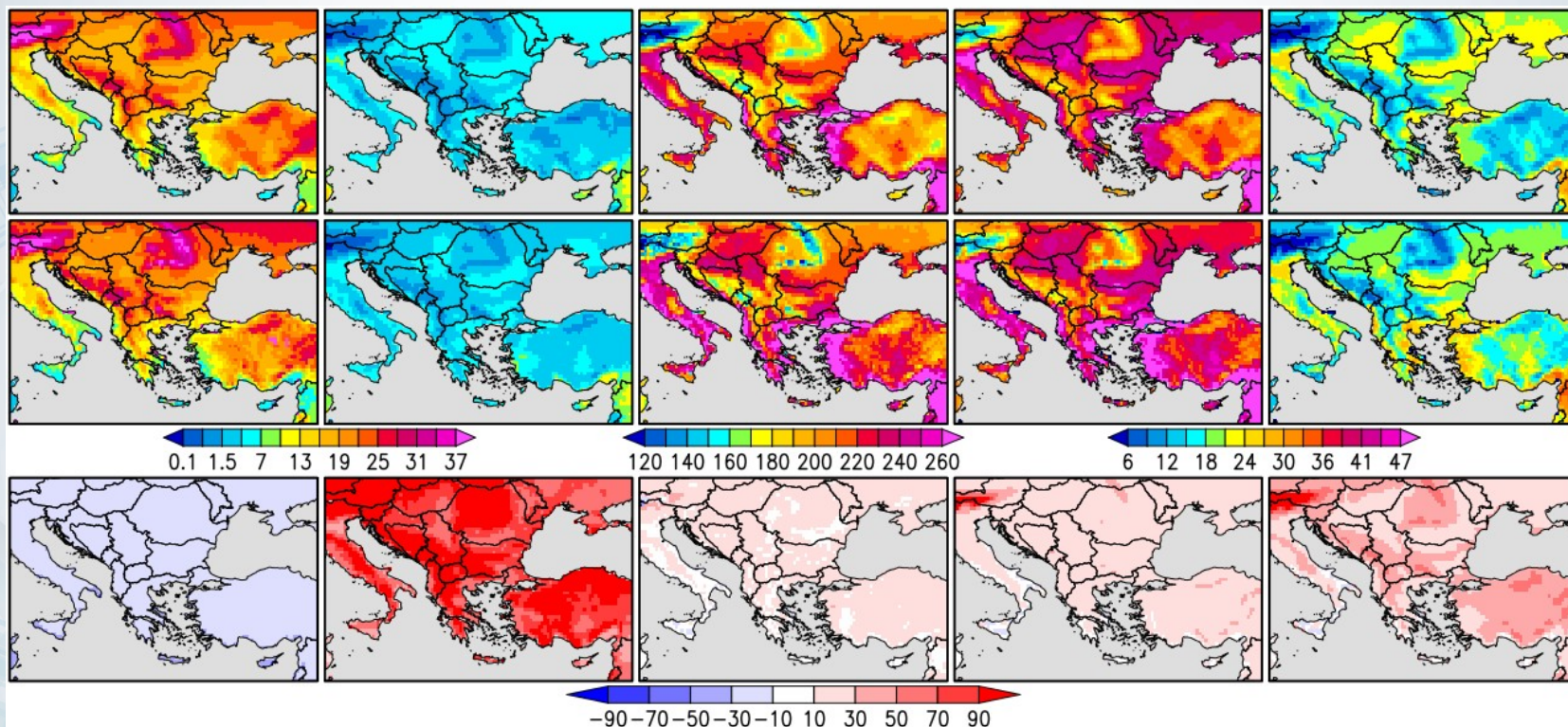
Редица съвременни студии показват, че климатичните промени имат пряко и косвено въздействие върху икономическия сектор на отоплението, вентилацията и климатизацията. Отоплението, вентилацията и климатизацията на обществени, производствени сгради и жилищния фонд в комунално-битовия сектор имат съществен дял от общоевропейското енергопотребление (доклад на ЕЕА, <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/indicators/heating-degree-days-2/assessment>). Връзката между температурата на околния въздух и енергийните нужди на дадена сграда може да бъде оценена количествено чрез числените индикатори отоплителни и охладителни денградуси (англ.: heating and cooling degree-days (HDD and CDD)).

Състоянието на заобикалящата въздушна среда е и главен абиотичен фактор за растежа и развитието на селскостопанските растения. Определянето на количествения аспект на влиянието на среднодневната температура върху продуктивността при различни полеве и/или контролирани условия може да се опише чрез полуемпирични агрометеорологични индекси като продължителност на вегетационния период (GSL), акумулирани активни (ААТ) и акумулирани ефективни (АЕТ) температури.





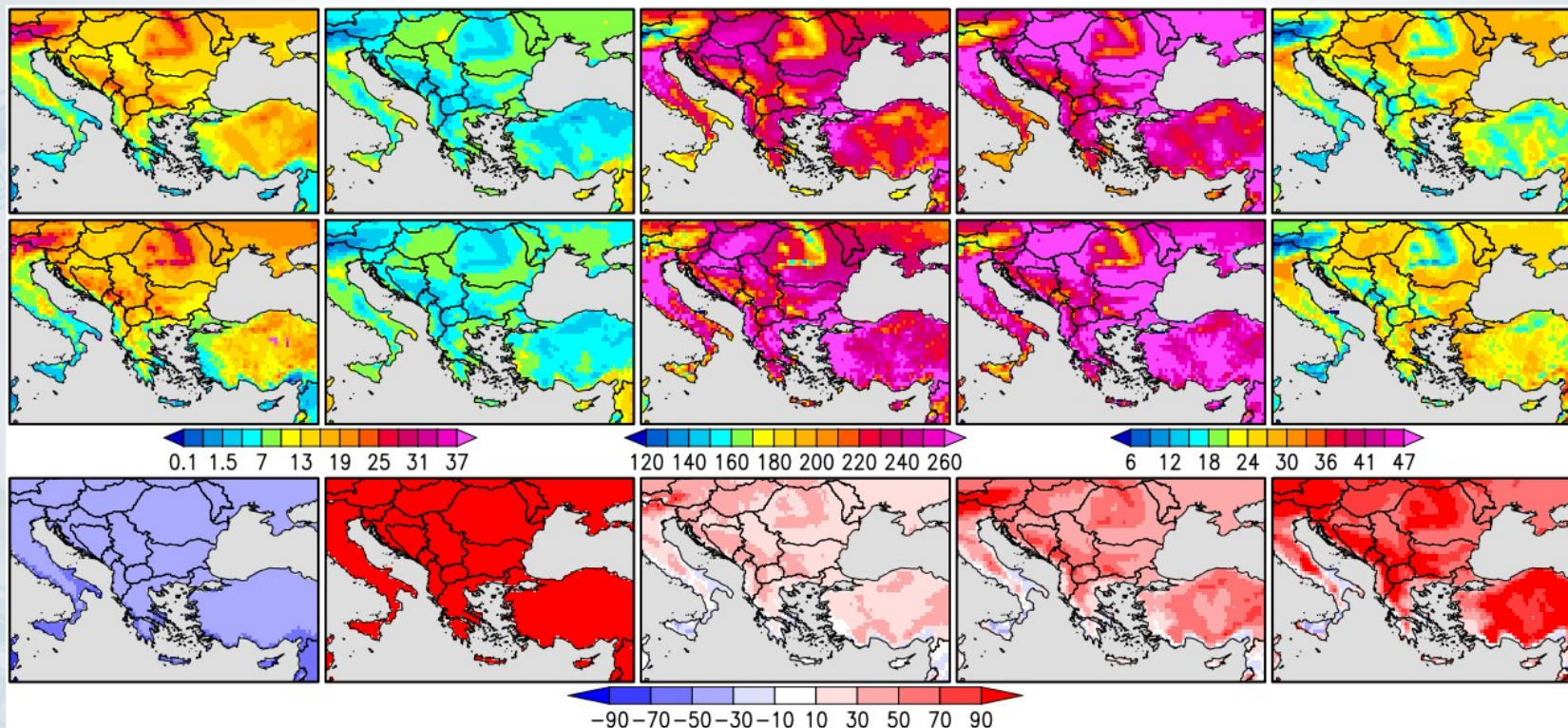
5. Оценка на проектните изменения на температурата върху някои стопански отрасли (2 от 3)



Фиг.8 От ляво на дясно: многогодишни средни стойности за близкото бъдеще на HDD, CDD, GSL, AAT и AET от данните на RegCM (първи ред) и след корекция на системната грешка (втори ред). Единиците на HDD, CDD, AAT и AET са денградуси, а на GSL – брой дни. На третия ред е показано относителното (в %) изменение спрямо контролния период.



5. Оценка на проектните изменения на температурата върху някои стопански отрасли (3 от 3)



Фиг.9 Като фигура 8, но за далечното бъдеще.





5. Основни изводи

- В годините до края на настоящия век ще се наблюдава генерална тенденция на климатично затопляне над ЮИ Европа. Този факт, обаче, не изключва аномални прояви на студ с различна продължителност!
- Степента на затопляне варира в зависимост от периода и района на интерес, но като цяло е пропорционален на степента на увеличение на лъчистото въздействие, т.е. променя се в посока увеличение от оптимистичния към песимистичния сценарий, т.е. от RCP2.6 към RCP8.5.

Тези генерални тенденции са естествено продължение на регистрираните през изминалите десетилетия в района. Детайлизация (във всички аспекти) на описаната картина ще бъде постигната през следващите години.

- Изследването доказва сложността и нееднозначността на промените на количеството (и разпределението) на валежа. Очакваната редукция през летния сезон, особено при песимистичния сценарий може да увеличи отрицателните последици на генерално по-топлия климат особено за чувствителни отрасли (селско и горско стопанство, воден сектор и пр.).
- Проектните изменения са с потенциал за съществено и дългосрочно въздействие върху сектора на отоплението, вентилацията и климатизацията, където ще се наблюдава трайно изменение на структурата и сезонността на енергопотреблението. В селското стопанство по-топлият климат може да доведе до възможността за отглеждане на по-топлолюбиви (нетипични понастоящем) култури, дори до възможността за засаждане на повече от една култура в рамките на един сезон. Същевременно обаче расте и опасността от развитие на инвазивни видове и не характерни болести.

Тези генерални тенденции са естествено продължение на регистрираните през изминалите десетилетия в района. Детайлизация (във всички аспекти) на описаната картина ще бъде постигната през следващите години.



Благодарности

- Изследването се основава изцяло на свободно достъпни данни и програмни средства и затова благодарим на всички организации и институции, които ги предоставят.
- Специални благодарности към програмата „Център за върхови постижения по Информатика и ИКТ“ за предоставените ресурси и форум на изява





ЕВРОПЕЙСКИ СЪЮЗ
ЕВРОПЕЙСКИ ФОНД ЗА
РЕГИОНАЛНО РАЗВИТИЕ

Национален институт по геофизика,
геодезия и география (НИГГГ)-БАН



ОПЕРАТИВНА ПРОГРАМА
НАУКА И ОБРАЗОВАНИЕ ЗА
ИНТЕЛИГЕНТЕН РАСТЕЖ

Благодаря за вниманието!

