



Получена: 01.03.2021 г.

Приета: 13.04.2021 г.

ВЪЗДЕЙСТВИЕ НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ В БЪЛГАРИЯ ВЪРХУ ЗАЩИТАТА НА РЕЧНИТЕ БРЕГОВЕ ОТ ЕРОЗИЯ И НАВОДНЕНИЕ

М. Маврова-Гиргинова¹, Д. Пенчева², Д. Йолова³

Ключови думи: климатични промени, речен отток, наводнение, ерозия

РЕЗЮМЕ

С увеличаване на натиска на климатичните промени върху наводненията, ерозията и седиментацията на реките посредством по-чести и по-интензивни дъждове, сме изправени пред необходимостта от изследване, проектиране, изграждане и мониторинг на мерки за контрол, които да намалят въздействието при оттичането на дъждовните води, да защитят от ерозия речните брегове и запазят устойчивостта на наносния режим на реките, свързан също с качеството, количеството и достъпността на водните ресурси в зададени бъдещи хоризонти.

В резултат на изследване на реакцията на водосбори в цялата страна се анализират прогнозите за изменение на високите води и по-специално на отток с характерна обезпеченост в средносрочен и далечен хоризонт по два IPCC сценария за климатични промени – RCP4.5 („умерен“) и сценарий RCP8.5 („песимистичен“ или „business-as-usual scenario“). Използван е TUW модел, непрекъснат концептуален модел, който отчита промените в редица хидроложки параметри във функция от времето. Delta change оценка на потенциалното влияние на климатичните промени върху оттока към зададен бъдещ хоризонт е направена, като сигналът за промяна се извлича от сравнението на двойка симулации: в референтен и бъдещ период.

¹ Мария Маврова-Гиргинова, доц. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиорации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: margir_fhe@abv.bg

² Денислава Пенчева, д-р инж., свободен изследовател, e-mail: dhpencheva@gmail.com

³ Дайана Йолова, докторант, кат. „Хидротехника и хидромелиорации“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dayanayolova@yahoo.com

С оглед на присъщата несигурност на прогнозите за екстремни събития в този анализ са включени само резултати за водосбори, в които може да се предвиди повишаване на оттока с повече от 5%. Изследването показва, че по сценарий RCP8.5 стогодишната висока вълна (с обезпеченост $p = 1\%$), която е оразмерителна или служи за проверка при редица защитни съоръжения, а също така играе важна роля при оценка на степента на потенциалните заплаха и риск от наводнения, съгласно изискванията на Директива 2007/60/ЕС, търпи увеличение от 7% в средносрочен хоризонт до 35% към края на века.

Направени са изводи и препоръки относно защитата на речните брегове от ерозия и наводнение.

1. Въведение

Изсичането на горите, почистването на речните корита от дървесна растителност без доказана необходимост, климатичните промени, поройните наводнения, ерозията на речните брегове са взаимно свързани процеси. Взаимното им влияние е обект на изследвания, придобили актуалност през последните години.

Според редица изследователи [2, 3] климатичните промени се обуславят от промени в атмосферата, във водосборите и в речната мрежа. Ерозията на речните брегове е аспект от измененията в речната мрежа и същевременно може да се разглежда като резултат от климатичните промени. По-честите и интензивни дъждове ще увеличат проблемите с ерозията и седиментацията в реките. По-силните бури, по-високите нива на реките и по-бързата скорост на теченията интензифицират ерозията и увеличават мътноста на водата, като сериозно променят наносния режим на реките.

По-интензивните процеси на ерозия и седиментация в реките, езерата и потоците могат да повлияят на качеството на водата и наличието на източници на питейна вода. Например тези процеси ще повлияят върху запълването на наносния обем на язовирите, а също ще увеличат нуждата от пречистване при водоснабдителните съоръжения.

Корекциите на реки, които се изграждат с цел защита от наводнение, защита на бреговете от ерозия и/или контрол върху наносния отток, се проектират и изграждат съгласно „Технически правила и норми за проектиране на корекции на реки” от 1994 г. Според чл. 34 от тези норми корекциите на реки и дерета за защита от наводнение на населени места, индустриални зони и др. се оразмеряват за максимално водно количество с обезпеченост $p = 1\%$ и се проверяват за водно количество с $p = 0,1\%$. За високо отговорни и рискови обекти изискването е $p = 0,1\%$ и проверка за $p = 0,01\%$. Когато реката преминава през селскостопански площи, стойностите на изчислителната обезпеченост са съответно $p = 5\%$ и проверка за $p = 1\%$ при предпазване на селскостопански площи над 30 ha и $p = 20\%$ и проверка за $p = 5\%$ – когато предпазваната площ е по-малка от 30 ha.

Настоящото изследване се фокусира върху анализ на промените в речния отток в отговор на климатичните промени с оглед на оценка на ефективността на съществуващите корекции в краткосрочен и дългосрочен хоризонт.

2. Моделиране на климатични промени в рамките на IPCC сценарии

Генерирането на хидроложки параметри като речен отток от обобщени циркулационни (климатични) модели при симулиране на климатични промени изисква като начало да бъдат подбрани актуални сценарии за климатични промени, след това подходя-

щи пространствено и времево глобални и регионални климатични модели, след което да бъдат получени необходимите входни данни за симулации на хидроложкия модел.

Климатични сценарии

При моделирането на очакваните климатични промени към бъдещи времеви хоризонти се използват стандартизирани набори от сценарии, които осигуряват сравнимост на резултатите от климатичното моделиране. Чрез сценариите се описват възможните траектории на бъдещото развитие на човечеството, които да се вземат предвид на входа на използвания климатичен модел. Различни сценарии, приложени върху един и същи модел, дават на изхода на модела различни резултати за очакваните климатични промени.

Климатичните сценарии, залегнали в оценъчните доклади за изменението на климата, изготвени от IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), са възприети с консенсус от международната научна общност. Наборът от сценарии, известен като „Представителни пътища на концентрациите” (Representative Concentration Pathways, RCPs), използван в последния Пети оценъчен доклад на IPCC (AR5, 2013/2014), предполага моделирането на климатичните промени да се извършва въз основа на очаквания радиационен натиск на парникови газове и други природни и антропогенни фактори върху енергийния баланс на климатичната система, измерен във W/m^2 . За сравнителни цели е изчислен RF за периода 1750 – 2011 г., определен като исторически („индустриална ера”). На тази основа е разработен набор от четири RCP сценария, водещи до стабилизиране на радиационния натиск към края на XXI в. на съответните нива от 8.5, 6, 4.5 и 2.6 W/m^2 . RCP сценариите, използвани в AR5, са официална отправна точка към момената за всички научни изследвания в областта на климатичните промени, както и за разработването на анализи, стратегически документи и политики за адаптиране и смекчаване на последиците от очакваните изменения на климата в страните от целия свят, вкл. в страните от Европейския съюз.

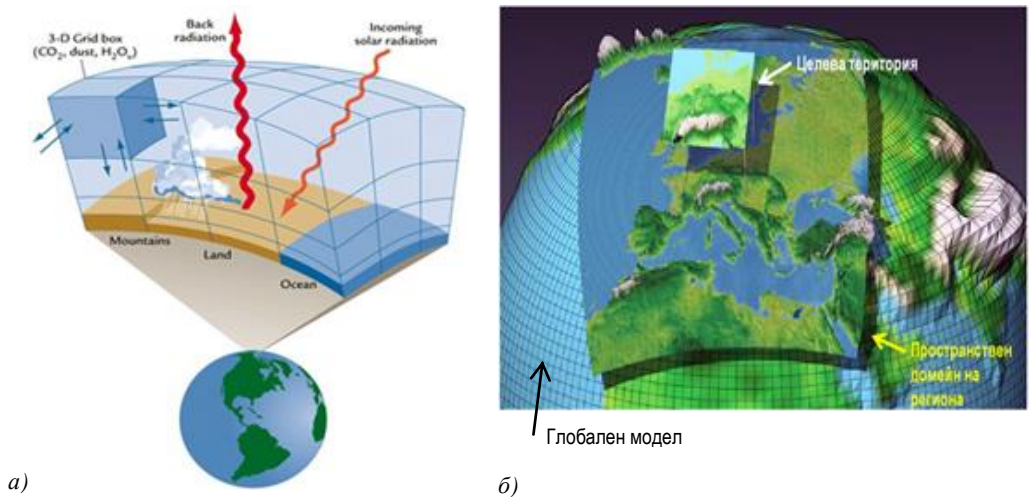
В настоящото изследване е направен избор да се работи по два от сценариите за климатични промени в AR5:

- RCP 8.5, т.нар. „обичайна практика“ („business-as-usual scenario“), с нарастващи емисии на парникови газове във времето и съответно увеличаващи се концентрации на парникови газове. Радиационният натиск нараства до 8.5 W/m^2 до 2100 г. От RCP сценариите това е най-песимистичният сценарий.
- RCP 4.5, („умерен“) сценарий на по-бързо реализиране на адекватни мерки за ограничаване на емисиите. Очаква се пикът на емисиите да бъде около 2040 – 2050 г., след което те да намалееят рязко до 2080 г. Радиационният натиск към 2100 г. се оценява на 4.5 W/m^2 . (Тук трябва да отбележим, че концентрациите на CO_2 ще продължават да нарастват дори след намаляването на въглеродните емисии, тъй като те се акумулират в атмосферата и се задържат там с десетилетия.)

Глобални и регионални модели на климатични промени

Глобалните климатични модели са модели на компонентите на климатичната система – атмосфера, океани, земна повърхност, криосфера (сняг, лед, вечна замръзналост) и на техните взаимодействия на ниво най-важни физични, химични и биологични проце-

си, описани в модела най-често със системи от диференциални уравнения на основата на съответните закони [5]. Моделирането на процесите се извършва чрез дискретизация на изследваните параметри в рамките на 3D грид и с определена времева стъпка. Грид-клетките представляват обемни „блокове“ в пространството (фиг. 1а), за които моделът изчислява с времева стъпка обмен на вода или лед; промени в температура, плътност, влажност и др., преминаването или натрупването на прах, аерозоли, замърсители и др. Моделът отчита какво количество постъпваща слънчева радиация преминава през блока и има ли филтриращи слънчевата светлина облаци и прах, а също изчислява преминаването на излъчваната от земната повърхност топлина нагоре през блоковете и има ли облаци и парникови газове, които да я задържат. Моделът включва няколко почвени слоя, както и много повече слоеве в дълбочина на океаните [6]. Глобалните модели оценяват очакваните климатични промени като разлика (Delta Change) между получената стойност в исторически период, приет за базов (или референтен).



Фиг. 1.

а) дискретизация на изследваните параметри в 3D грид [7]; (www.iac.ethz.ch/groups/knutti/research); б) пример за избор на целева територия в рамките на пространствения домейн на региона [12] (www.clm-community.eu/)

Глобалните модели работят с определена пространствена и времева резолюция. Относително ниската хоризонтална резолюция на резултатите (по-ниска от 100 km) прави проблематично използването им на регионално и местно ниво, особено в райони със сложна орография, крайбрежни зони около границата суша-море и др.

Избор на регионален климатичен модел

За постигане на по-висока резолюция при регионалното моделиране на климатичните промени се използват главно две групи методи за мащабиране: статистическо мащабиране (Statistical downscaling) и динамично мащабиране (Dynamic downscaling) [8]. Понякога се използват хибридни методи, комбиниращи статистическото и динамичното мащабиране [9]. Използваните при втория подход регионални модели са най-разпространеният начин за получаване на по-детайлна информация с по-висока прост-

ранствена резолюция за очакваните климатични промени. Обикновено при моделирането на климатичните промени с регионални модели се правят последователно симулации с нарастваща хоризонтална резолюция – 50 km, 25 km, 10 – 12 km, като при резолюцията от 50 km се покрива площ от 5000 × 5000 km – т.нар. „пространствен domeйн“ на региона (фиг. 1б).

Изборът на регионален климатичен модел с резолюция $0.11^\circ \times 0.11^\circ$ (или 12 km), покриващ територията на България, е относително ограничен, поради невинаги налични и/или достъпни за ползване бази данни с резултати от извършените симулации. По проекта CORDEX достъпни са данните за резултатите от симулациите с ALADIN 5.2. Това е регионалният модел, който в най-голяма степен отговаря на целите на изследването, а именно: резолюцията 12 km и налични и достъпни бази данни както за историческия период (до 2005 г.), така и за бъдещи периоди по двата сценария (RCP4.5 и RCP8.5).

Референтен и бъдещи периоди

За референтен период, необходим за оценка на даден регионален климатичен модел, бива избран 30-годишен минал период съгласно Световната метеорологична организация. Това е историческият период, за който се изчисляват температура и валежи, като за форсиране на регионалния модел са използвани начални и гранични условия, получени от хранящия го глобален климатичен модел, а данните от измервания за този период се използват за сравнение за оценка на грешката на избрания регионален климатичен модел. Delta Change методът за оценка на климатичните промени се прилага като разлика между получената стойност на климатичната променлива за съответен бъдещ период и стойността ѝ през референтния период.

За референтен в изследването е избран периодът 1976 – 2005 г. Като бъдещи периоди са избрани:

2021 – 2050 година, средносрочен хоризонт;

2071 – 2100 година, до края на столетието.

3. Интерпретация на климатичните проекции по RCP4.5 и RCP8.5

Получените резултати от използването на избрания регионален климатичен модел CORDEX [10], ALADIN 5.2 са проекции, т.е. предположения за това какво би се случило с климата, ако се сбъдне някой от двата IPCC AR5 сценария RCP4.5 и RCP8.5 през определените два бъдещи периода. В обобщение, предположението за температурите показва повишение в сравнение с референтния период, най-голямо за летните месеци към края на века – средно с от 3.0 °C до 3.3 °C (според „умерения“ сценарий RCP4.5) и с от 4.5 °C до 4.7 °C (по-„песимистичния“ сценарий RCP8.5). За същия период предположението за зимните месеци е също към повишение на средните температури с от 1.9 °C до 2.3 °C по сценария RCP4.5 и с от 2.9 °C до 3.5 °C по сценария RCP8.5. Сигналите за очакваните промени на валежните суми като цяло са разнопосочни, както в пространствен, така и във времеви аспект. Моделните резултати и по двата сценария съдържат сигнали за намаляване на валежните количества през лятото и увеличаването им през есента. Очаква се лятното засушаване да бъде най-силно в Дунавската равнина, а най-слабо в района на Черноморието. Според сценария RCP4.5 през средносрочния бъдещ период се очаква

увеличение на валежите не само през есента, но и през зимата, а към края на века – пролетта да бъде по-влажна от зимата.

Анализът на получените резултати потвърждава способността на избрания регионален модел да улови основните характеристики на регионалния климат, включително неговата променливост в пространството и времето. В същото време оценката на точността на избрания модел показва, че макар успешно да симулира общите характеристики на температурата и валежите през историческия период, той като цяло „подценява“ температурите и „надценява“ валежите на територията на България. Предположението, че същата грешка, оценена в модела за референтния период, ще бъде валидна и за бъдещите времеви периоди, поради множество несигурности не може да бъде проверено.

4. Прогнозиране на речния отток

Съществуват различни видове хидроложки модели „валеж-отток“. Според начина, по който описват процеса на трансформиране на валежа в отток, те са класифицирани като детерминистични, стохастични, концептуални или смесени. Детерминистичните модели се опитват да представят пространствено-времето разпределение на водите във водосбора с точно описание на всеки физически процес, който обикновено предполага и много точни модели на терена, с точност до сантиметър. Стохастичните модели описват поведението на водосбора чрез вероятностното разпределение на функции и взаимозависимостите на основните процеси. На практика няма модели, които да са напълно стохастични, но съществуват смесени модели, в които отчасти са залегнати вероятностните закони и отчасти са детерминистични. Концептуалните модели прилагат опростени математически описания на процеса. При отчитане на статистическите свойства на процеса, концептуалните модели могат да бъдат разглеждани като комбинация от детерминистични и стохастични модели.

Като се има предвид пространствената и/или времева резолюция моделите се класифицират също така като разпределени и обобщени. Разпределените модели дават резултати, разпределени в пространството, и изискват голямо количество входна информация. Несигурността при тях нараства в резултат от големия обем входни данни и трудностите, свързани с калибрирането им. Обобщените и статистическите модели позволяват ясно представяне на несигурността, калибрират се лесно и носят по-малка несигурност на отделните им параметри, но изискват по-дълги времеви редици за ефективна употреба.

Научната литература от последните две десетилетия съдържа множество доклади по темата за приложението на хидроложки модели за оценката на потенциалните влияния на климатичните промени върху редица параметри на управлението на водни ресурси. Могат да бъдат разграничени четири основни категории модели: емпирични (годишни), водобалансови (месечни), концептуални модели с обобщени параметри (дневни) и многопараметрични процесни модели (часови). За управление на водните ресурси на регионално ниво месечните водобалансови модели са определени от световната практика като подходящи за идентифицирането на хидроложките последиствия от изменения в температурата, валежа и други климатични променливи. Те показват съществено подобри показатели по точност, адаптивност и лекота на употреба пред другите видове. В сравнение с месечните, дневните обобщени концептуални модели дават възможност за по-детайлна оценка на степента и времето разпределение на реакцията на даден процес към климатично изменение. Тази по-висока степен на детайлност обаче е съпроводена с увеличаване на данните, необходими за провеждане на симулацията.

При избора на модел, с който да се извърши изследването, са разгледани редица модели, между които използвани за симулиране на отток в България – ISBA и MODCOU. В крайна сметка изборът на хидроложки модел е направен в зависимост от конкретната цел на моделирането и наличните данни за качествено калибриране на модела.

Налични данни

За моделиране на климатични въздействия и проверка на реакциите на режима на оттока във водосбори са подготвени дневни данни от наземни измервания на валежи, температура на въздуха и водни количества за периодите 1976 – 1980 и 2000 – 2005; ERA-Interim данни от реанализ за референтен период 1976 – 2005; валежи и температура по климатични сценарии RCP4.5 и RCP8.5 от ALADIN 5.2 за бъдещите периоди.

За процедурите на калибриране и валидиране на моделите, поради ограниченото количество дневни данни от наземни измервания, е оформен (1) комплект данни за калибриране на хидроложки модели валеж-отток в периода 1976 – 1980 (с наземни измервания за валежи, температура и водни количества) и (2) комплект данни за валидиране 2000 – 2005 (с наземни измервания за валежи и водни количества, но поради липса на данни за измервания за температура в този период – с ERA-Interim температури, върху които е въведена Bias корекция само и единствено за целите на валидирането на моделите валеж-отток, като е отчетена детерминираността между данните за температура и надморската височина.

Избор на хидроложки модел

Това изследване е осъществено с TUV модел. Моделът TUV е непрекъснат концептуален модел, който отчита промените в редица хидроложки параметри във функция от времето, за разлика от моделите, базирани на събития. Моделът TUV се основава на HBV концептуален модел, който се прилага успешно в световен мащаб за оперативни и изследователски цели. Позволява ефективно да бъдат симулирани в дневна резолюция доминиращите процеси, включително натрупване на сняг и топене, влияние на почвената влага върху оттока и взаимодействието с подпочвените води. Позволява непрекъснатата симулация на водния баланс по компоненти, т.нар. счетоводна схема на почвената влага. Работи с GRASS ГИС платформа.

Концептуалните модели, какъвто е TUV моделът, описват по-добре изменения в системата за по-продължителни периоди от време, което съвпада с целите на моделиране на климатични промени и отражението им върху хидроложките показатели на даден водосбор. Захранването му изисква умерено количество наземни данни за валеж, температура и отток, за целите на калибриране и валидиране. Моделът има доказано добри показатели при моделиране на хидроложки процеси в райони с различен климат.

Моделът TUV валеж-отток работи в дневна времева резолюция. Входовете към валеж-отток модела се подготвят като дневните стойности на валежа и температурата на въздуха са интерполирани пространствено. Drift kriging се използва за валежа, а за температурата – метода least-square trend prediction. Пространственото разпределение на потенциалното изпарение се изчислява чрез модифициран метод на Blaney-Criddle, като се използва дневната температура и потенциалната продължителност на слънце греене, изчислено от Solei-32 модел, който отчита засенчване.

Процесът на калибриране и валидиране на TUV модела валеж-отток следва препоръките на Lindström (1997) [11], утвърдени в практиката на хидроложко моделиране,

при което параметрите на модела се задават по такъв начин, че да описват възможно най-точно наблюдавания в региона от наземни източници отток.

Ефикасността на калибрирането се прави по Метода на Nash-Sutcliffe и чрез Относителната обемна грешка, като се следят: симулиран отток, наблюдаван отток, среден наблюдаван отток за периода и тежестният коефициент на моделните параметри. Коефициентът на ефективност на Наш-Сътклиф за модела е използван за оценка на прогнозиращата способност по отношение на водното количество. Определя се по формулата:

$$E = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_0^t - \bar{Q}_0)^2},$$

където Q_0 е средният наблюдаван отток, а Q_m^t е симулираният отток. Q_0^t е наблюдаваното водно количество във време t . Коефициентът варира в границите от $-\infty$ до 1. Коефициент $E = 1$ отговаря на абсолютно съответствие между моделирания отток и данните от наблюдения; $E = 0$ показва, че прогнозите на модела са толкова точни, колкото е средната стойност на данните от наблюдения.

Delta change оценка на потенциалното влияние на климатичните промени към зададен бъдещ хоризонт е направена, като сигналът за промяна се извлича от сравнението на двойка симулации: първата – в референтния период, а втората – симулация по климатичен сценарий.

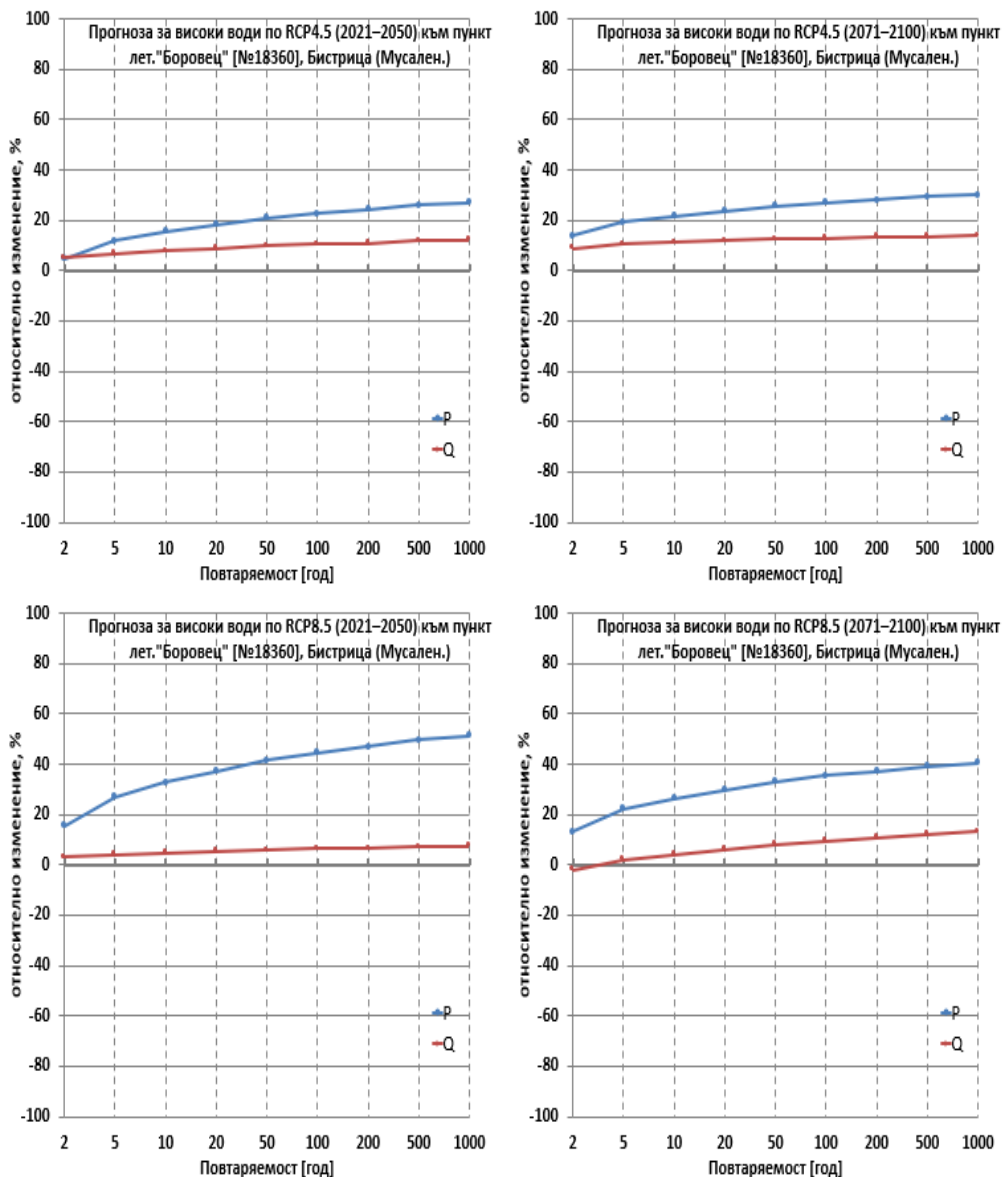
В анализа са включени резултати за водосбори, чиито хидроложки модели валеж-отток са получили оценка Nash efficiency от 0.65 до 1.0 при калибриране и Nash efficiency от 0.48 до 0.85 при валидиране.

5. Анализ на прогнозите за промени в оттока с характерна обезпеченост

С оглед на присъщата несигурност на прогнозите в анализа на очакваните последиствия са включени речни участъци, за които може да се предвиди повишаване на оттока с повече от 5%. Сравнява се поведението на отток с характерна повтораемост по прогноза за климатични промени в условията на концентрации на парникови газове по сценарий RCP4.5 („умерен“) и сценарий RCP8.5 („песимистичен“ или “business-as-usual scenario“) спрямо в референтния период.

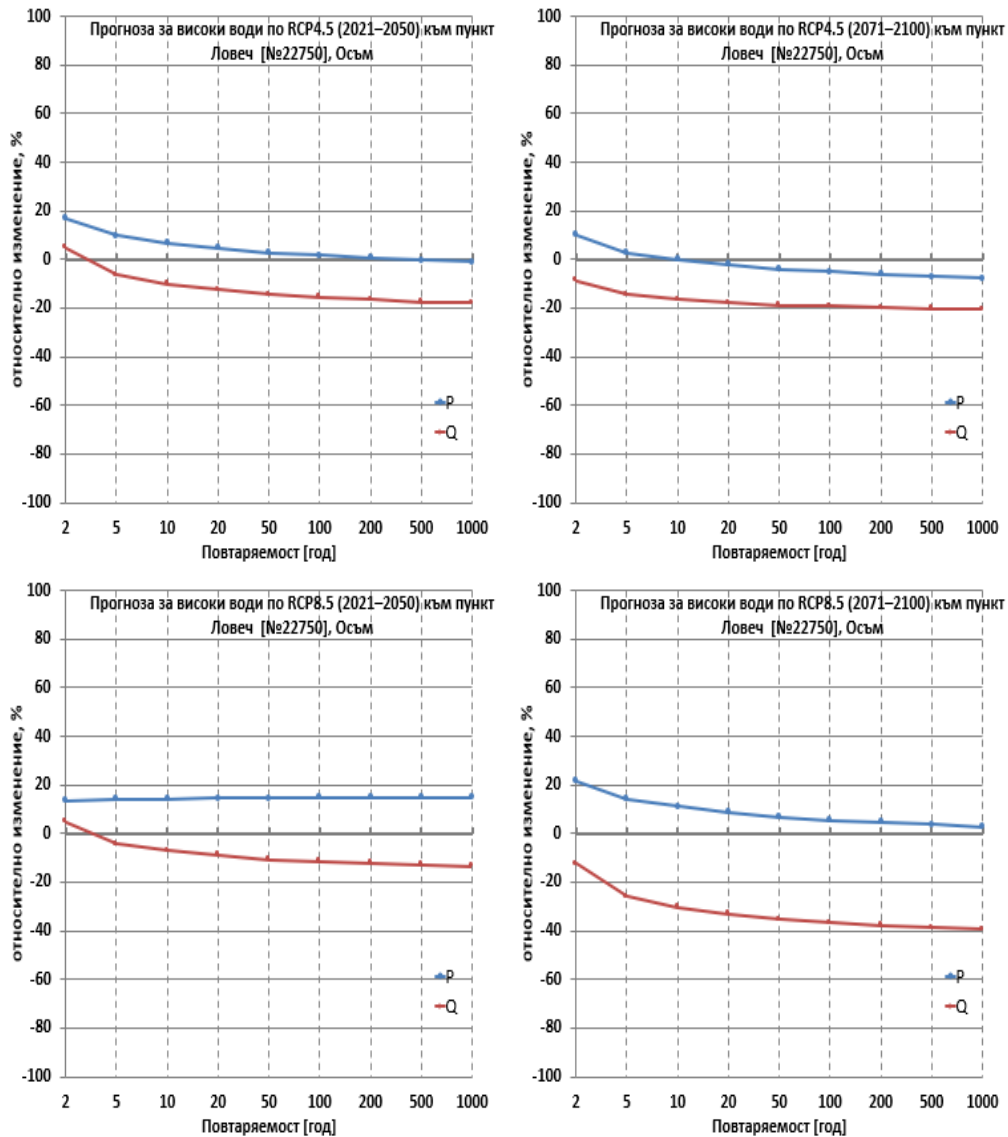
Изследването генерира прогнози към средносрочен (2021 – 2050 г.) и към далечен хоризонт (2071 – 2100 г.), като реакцията на натиска по сценарии за климатична промяна зависи от регионалната орохидрография и климатични особености, включително от антропогенния фактор.

Тенденциите за промяна в количествата на валеж и отток със зададена повтораемост, респ. обезпеченост, са най-ясно изразени в поречия с ненарушен отток, като показаното на фиг. 2.



Фиг. 2. Прогноза за валеж и отток с различна обезпеченост към пункт лет. Боровец, на р. Бистрица по сценарий RCP4.5 („умерен“) и сценарий RCP8.5 („песимистичен“)

Комбинациите от регионални физико-географски и антропогенни фактори обаче показват разнородни реакции на климатичния натиск. В някои поречия, например по р. Осъм, повишаването на температурите и на сумарното изпарение (евапотранспирация) се налагат върху тенденцията за умерено увеличаване на валежите спрямо референтния период, откъдето следват прогнози за редуциране на оттока – фиг. 3.



Фиг. 3. Прогноза за валеж и отток с различна обезпеченост към пункт Ловеч на р. Осъм по сценарии RCP4.5 и RCP8.5

В средносрочен и в далечен хоризонт по сценарий RCP4.5 („умерен“) резултатите показват значително увеличение на водните количества на високите вълни по горно течение на Арда и горно течение на притоците, както и в средното течение на Струма.

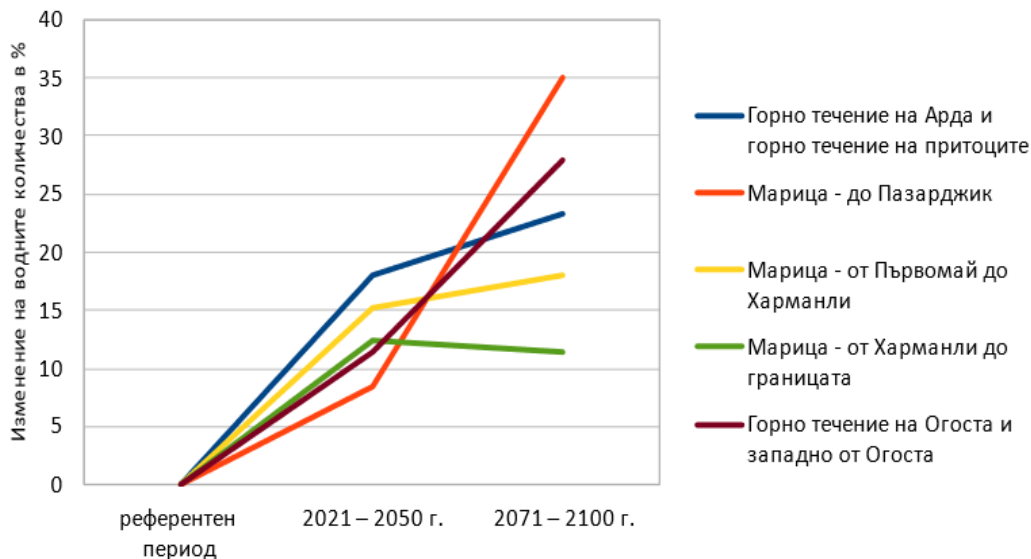
Прогнозите за промяна в режима на високите води в резултат на климатични промени под натиска на сценарий RCP8.5 („business-as-usual scenario“) са показани по периоди и за различни поречия в табл. 1.

Таблица 1. Промени в % по климатичен сценарий RCP 8.5 на високи води с повтаряемост веднъж на 20, 100 и 1000 години

RCP 8.5, Период 2021 – 2050 г.	Q20	Q100	Q1000
Горно течение на Тунджа	7,50%	8,4%	9,1%
Средно течение на Тунджа	5,30%	6,8%	7,95%
Горно течение на Арда и горно течение на притоците	13,30%	18%	22,1%
Долно и средно течение на Арда и долно и средно течение на притоците	15,64%	19,02%	21,86%
Марица – до Пазарджик	7,50%	8,4%	9,1%
Марица – от Първомай до Харманли	13,32%	15,18%	16,66%
Марица – от Харманли до границата	10,15%	12,45%	14,25%
Горно течение на Огоста и западно от Огоста	11,05%	11,45%	11,75%
RCP 8.5, Период 2071 – 2100 г.	Q20	Q100	Q1000
Горно течение на Тунджа	25,6%	35%	42,2%
Средно течение на Тунджа	17,7%	25,6%	31,6%
Горно течение на Арда и горно течение на притоците	15,6%	23,3%	29,9%
Долно и средно течение на Арда и долно и средно течение на притоците	8,22%	13,28%	17,54%
Марица – до Пазарджик	25,6%	35%	42,2%
Марица – от Първомай до Харманли	12,22%	17,96%	22,46%
Марица – от Харманли до границата	6,55%	11,4%	15,15%
Горно течение на Огоста и западно от Огоста	24,15%	27,9%	31,03%

Екстремните стойности на оттока по време на високите вълни по Арда, Марица, Тунджа и Огоста се очаква да претърпят чувствително увеличение. Стогодишната висока вълна (с обезпеченост $p = 1\%$), която е оразмерителна или служи за проверка при редица защитни съоръжения, а също така играе важна роля при оценка на степента на потенциалните заплаха и риска от наводнения, съгласно изискванията на Директива 2007/60/ЕС, търпи увеличение от 7% в средносрочен хоризонт до 35% към края на века. Развитието на прогнозираните промени по климатичен сценарий RCP 8.5 в оценката на стогодишната вълна в различни поречия е илюстриран на фиг. 4.

Изменение на Q100 в % по сценарий RCP 8.5



Фиг. 4. Прогноза за увеличаване на оттока с обезпеченост $p = 1\%$ (Q100) под натиска на сценарий RCP8.5 спрямо референтния период

Изследването показва, че участъци от поречията на реките Арда, Марица и Огоста са застрашени от обостряне на пика на високите вълни с трите характерни обезпечености $p = 5\%$, 1% и $0,1\%$ в средносрочен и далечен хоризонт. При повишение на оразмерителните водни количества с над 20% , в зависимост от морфологичните особености на участъка, надлъжния наклон, напречното сечение и трасето в план, значителното увеличаване на скоростите на речното течение ще доведе до интензивна ерозия на бреговете. Това, наред с общото увеличаване на мътността на водата от повърхностна ерозия във водосбора, сериозно ще промени наносния режим на реките. Съществуващите защити от ерозия, както и съоръженията за защита от наводнения, ще бъдат подложени на екстремно претоварване.

6. Изводи и препоръки относно защита срещу наводнение и ерозия

Изградените у нас защитни съоръжения във и извън населени места са проектирани в съответствие с действащите нормативни документи в Р България за предписаната обезпеченост на високата вълна. Във връзка с изменението на климата следва да бъде направена оценка на ефективността на съществуващите защитни съоръжения срещу наводнения и ерозия.

Доколко съществуващите защитни съоръжения са сигурни в условията на изменението на климата зависи непосредствено от анализ в три насоки:

- прогноза за оттока на базата на актуалните и очакваните климатични промени;

- анализ и оценка на техническото състояние на съществуващите защитни съоръжения, на тяхната сигурност;
- прогноза към зададен бъдещ хоризонт на състоянието и уязвимостта на защитаваните територии.

Въпреки факта, че при моделиране на влиянието на климатичните промени върху екстремни събития степента на неопределеност е значителна, това изследване създава предпоставки да бъдат направени своевременни изводи във връзка с прогнозите за изменение на режима на високи води. В речните басейни, в които се очаква значително увеличение на високите води с характерни обезпечености 0.1%, 1% и 5%, респективно с честота на повторение 1000, 100 и 20 години, следва да се вземат мерки по преценка на сигурността на съоръженията.

Защитата от ерозия на речните брегове е важен аспект на проблема за устойчивостта на реките. По-интензивни дъждове, по-силните бури, увеличеният речен отток, по-високите нива на реките и по-бързата скорост на теченията ще интензифицират ерозията и сериозно ще променят наносния режим на реките.

Прогнозите за значително увеличение на високите води с характерни обезпечености 0.1%, 1% и 5% налагат необходимост от изследване, проектиране, изграждане и мониторинг на мерки за контрол, които да намалят въздействието при оттичането на дъждовните води във водосборите, да защитят от ерозия речните брегове и да запазят устойчивостта на наносния режим на реките, свързан също с качеството, количеството и достъпността на водните ресурси в зададени бъдещи хоризонти.

Благодарности

В настоящата публикация са използвани резултати от изследвания по проект „Анализ на речния отток в условията на климатични промени в представителни водосбори на България“ по договор БН-241/20, финансиран от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Mavrova-Girginova, M., Pechinova, M., Pencheva, D., Yolova, D.* Trends of Flood Regime Changes in the Bulgarian Part of the Danube Basin Corresponding to the Climate Change. // Annual of UACEG, 2021, 54, accepted.

2. *J. Hall, B. Arheimer, M. Borga, R. Brázdil, P. Claps, A. Kiss, T. R. Kjeldsen, J. Kriauci, Z. W. Kundzewicz, M. Lang, M. C. Llasat, N. Macdonald, N. McIntyre, L. Mediero, B. Merz, R. Merz, P. Molnar, A. Montanari, C. Neuhold, J. Parajka, R. A. P. Perdigão, L. Plavcová, M. Rogger, J. L. Salinas, E. Sauquet, C. Schär, J. Szolgay, A. Viglione, G. Blöschl.* Understanding flood regime changes in Europe: a state-of-the-art assessment, // Hydrol. Earth Syst. Sci., 18, 2735 – 2772, 2014, www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/2735/2014/, doi:10.5194/hess-18-2735-2014.

3. *Merz, B., Aerts, J., Arnbjerg-Nielsen, K., Baldi, M., Becker, A., Bichet, A., Blöschl, G., Bouwer, L. M., Brauer, A., Cioffi, F., Delgado, J. M., Gocht, M., Guzzetti, F., Harrigan, S., Hirschboeck, K., Kilsby, C., Kron, W., Kwon, H.-H., Lall, U., Merz, R., Nissen, K., Salvati, P., Swierczynski, T., Ulbrich, U., Viglione, A., Ward, P. J., Weiler, M., Wilhelm, B., Nied, M.*

Floods and climate: emerging perspectives for flood risk assessment and management. // Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 14, 1921–1942, doi:10.5194/nhess-14-1921-2014, 2014.

4. <https://cran.r-project.org/web/packages/TUWmodel/index.html>, poseten na 12.03.2021.

5. *Goosse, H., P. Y. Barriat, W. Lefebvre, M. F. Loutre, V. Zunz.* Introduction to climate dynamics and climate modeling, 2010, nalichen na adres: www.climate.be/textbook.

6. *Washington, W. M., C. L. Parkinson.* An introduction to three-dimensional climate modeling. University Science Books, 2005, 353 p.p.

7. *Institute for Atmospheric and Climate Science.* ETH Zurich (www.iac.ethz.ch/groups/knutti/research).

8. *Christensen, J. H., et al. (2007).* Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007.

9. *Frey-Buness, F., D. Heimann, R. Sausen.* A statistical-dynamical downscaling procedure for global climate simulations. // In: Theor. Appl. Climatol., 1995, 50, 117-131.

10. CORDEX (<http://cordex.dmi.dk/joomla/>).

11. *Lindström, G.* A simple automatic calibration routine for the HBVmodel. // Nordic Hydrology, 1997, 28(3): 153 – 168.

12. <https://wiki.coast.hzg.de/clmcom>, poseten na 16.02.2021.

IMPACTS OF CLIMATE CHANGE IN BULGARIA ON THE EROSION AND FLOOD PROTECTION OF RIVERBANKS

M. Mavrova-Guirguinova¹, D. Pencheva², D. Yolova³

Keywords: *climate change, river flow, flood, erosion*

ABSTRACT

Due to the rising pressure of climate changes on floods, erosion, and the sedimentation of rivers through more frequent and intense rains, we are faced with the need to study, design, build and monitor control measures reducing the impact of rainwater runoff. These measures are aiming to protect the riverbanks from erosion and preserve the sustainability of the alluvial

¹ Maria Mavrova-Guirguinova, Assoc. Prof. Dr. Eng, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: margir_fhe@abv.bg

² Denislava Pencheva, Dr. Eng, voluntary researcher, e-mail: dhpencheva@gmail.com

³ Dayana Yolova, Eng. PhD Student, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smiranski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dayanayolova@yahoo.com

regime of the rivers, also related to the quality, quantity, and availability of water resources in future horizons.

Following a study on the response of watersheds in the country, the forecasts for change of high waters and in particular of runoff with characteristic security in the medium and long term are analyzed under two IPCC scenarios for climate change – RCP4.5 (“moderate”) and scenario RCP8.5 (“pessimistic” or “business-as-usual” scenario). The study was carried out with the TUW model, which is a continuous conceptual model that takes into account changes in a number of hydrological parameters as a function of time. A Delta Change assessment of the potential impact of climate change on a future horizon is carried out. The signal for change is derived from the comparison of two simulations: in the reference and future periods.

Concerning the inherent uncertainty of the forecasts, the analysis of the expected consequences includes river sections, whose runoff can be predicted with an increase of more than 5%. The analysis shows that the 100-year flood wave (with $p = 1\%$ probability), which is designed and examined for a number of flood protection facilities and also plays an important role in flood hazard and risk assessment according to Directive 2007/60/EU, increases from 7% in the medium term to 35% at the end of the century.

As a result of the study, conclusions and recommendations are made regarding the protection of riverbanks from erosion and flooding.