



Получена: 03.06.2019 г.

Приета: 17.06.2019 г.

ОЦЕНКА НА ВЛИЯНИЕТО НА КЛИМАТИЧНИТЕ ПРОМЕНИ ВЪРХУ ПРЕСНИТЕ ВОДИ В БЪЛГАРИЯ В УСЛОВИЯТА НА ОГРАНИЧЕНА ИНФОРМАЦИЯ

М. Маврова-Гиргинова¹, М. Печинова²

Ключови думи: климатични промени, речен отток, trading space for time

РЕЗЮМЕ

Тази статия третира прогнози за изменението на речния отток в различни времеви рамки в резултат на промени на климата в България.

Несигурността в прогнозите за промени в подхранването на повърхностните води, присъща на задачата, води до значителни трудности при постигането на категорични заключения. Анализите са извършени върху солидна методологична основа, като се изучава всеки проблем от различни ъгли и се използват различни данни и хипотези. Използвани са три метода: тренд анализ, сценариен анализ и “Trading Space for Time” метод. Докато анализът на тенденциите се основава на данни, анализът на сценариите се концентрира предимно върху процеса на моделиране. Анализът на сценариите въвежда несигурността по два основни начина – първо, чрез хипотезата за климатичен сценарий, и второ, при прехвърлянето на данни от климатичния модел в модела на повърхностния отток. От своя страна тренд анализът поставя под въпрос прогнозата (екстраполацията) на тенденциите върху бъдещ период, тъй като получената тенденция по своята същност зависи от референтната времева рамка.

Тези несигурности, както и задачата за анализиране на регионалната чувствителност към изменението на климата, мотивират използването на метода “Trading Space for Time”, т.е. замяна на времето с пространство, който се основава на пространствените характеристики на речния басейн. По отношение на моделни хипотези и използване на данни, “Trading Space for Time” е близо както до тренд анализа, така и до анализа на сценарии, с който е близък. Това го прави полезно допълнение и инструмент за тестване на надеждността на получените резултати.

¹ Мария Маврова-Гиргинова, доц. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиораци“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: margir_fhe@abv.bg

² Мартина Печинова, доц. д-р инж., кат. „Хидравлика и хидрология“, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ 1, 1046 София, e-mail: martinapechinova@abv.bg

1. Въведение

Достоверността на направените прогнози при моделирането на въздействието на климатичните промени върху повърхностните води и степента на неопределеност зависят до голяма степен от количеството и качеството на входната информация. В условията на ограничена информация следва да се прилага основният принцип в науката, проблемът да бъде изследван с множество методи, различаващи се по данни и хипотези.

В настоящото изследване за оценка на изменението на оттока и промяната във вътрешногодишното разпределение на оттока са използвани три метода: тренд анализ, сценарийен анализ и “Trading Space for Time” метод, които се различават чувствително по данни и моделни хипотези.

Тренд анализът е базиран върху данни. При него проектирането на тенденциите върху бъдещ период, т.е. екстраполацията, се поставя под въпрос. Изчисленият тренд зависи от времевия прозорец, в който е бил определен.

Сценарийният анализ е концентриран върху моделирането. При него самият климатичен сценарий внася несигурност, но от друга страна несигурност внася прехвърлянето на резултатите по климатичен сценарий върху моделирането на оттока, където симулации се правят с модели валеж-отток, калибрирани и валидирани върху ограничени налични данни от наземни измервания.

Изброните несигурности, както и задачата да се направи анализ на чувствителността към климатични промени в изследваните водосбори, мотивираха използването на метода “Trading space for time” („замяна на време с пространство“), в който се изхожда от регионалната специфика на речния басейн.

Обхватът на изследването включва водосборите към 83 ХМС на територията на България (фиг. 1), които са моделирани поетапно във връзка с трудоемкото и времепоглъщащо дигитализиране на данни от наземни измервания на дневни валежи, температури и отток в референтен период от 1976 до 2005 г.

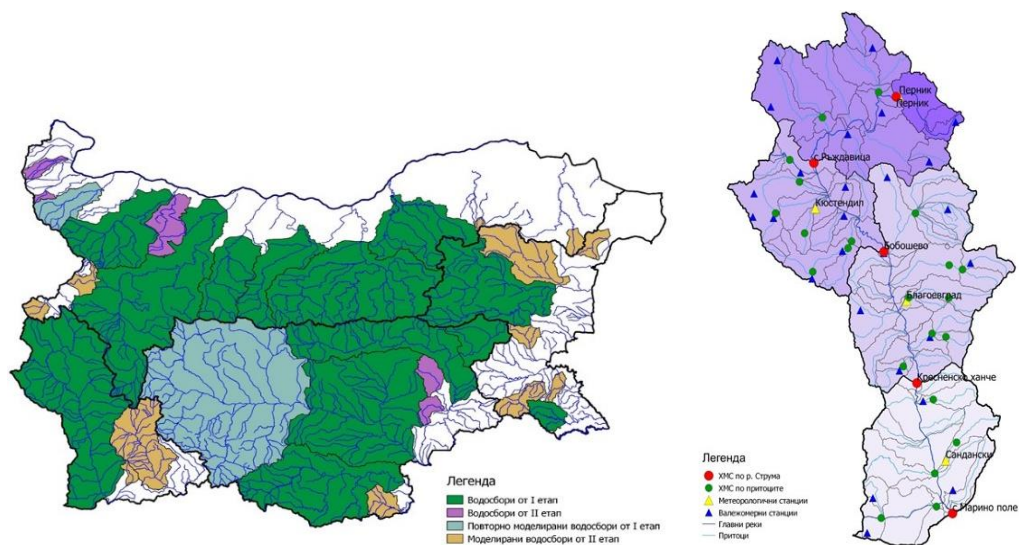
Изходните данни, с които разполага проучването, са:

- дневни наземни измервания на валежи (P), температура (T) и отток (Q) за периода „1976 до 1980“;
- дневни наземни измервания на валежи (P) и отток (Q); температура (T) от ERA Interim¹ за периода „2000 до 2005“;
- данни за валежи (P) и температура (T) от реанализ за референтния период „1976 – 2005“, ERA-Interim;
- изходни данни за бъдещи периоди (P , T), ALADIN²;
- цифров височинен модел Hydro1K, слънчев индекс (SI).

Периоди и климатични сценарии: Изследват се промените по климатични сценарии RCP4.5 и RCP8.5 в краткосрочен, средносрочен и дългосрочен бъдещ период (респективно 2013-2042, 2021-2050 и 2071-2100).

¹ ERA-Interim е глобална база данни от реанализ, произведена от ECMWF, Великобритания. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/datasets/browse-reanalysis-datasets>

² ALADIN 5.2 е локална версия на френския глобален атмосферен модел ARPEGE, разработван от CNRM, Météo-France. <http://www.umr-cnrm.fr/spip.php?article125&lang=en>



Фиг. 1. Анализирани водосбори за влияние на климатичните промени

2. Сравнителен анализ на използваните методи и основни резултати

По отношение на моделните хипотези и базираността върху данни “Trading space for time“ подходът може да бъде определен като нещо „средно“ между Тренд анализа и Сценарийния анализ. Ето защо в условията на ограничено количество разполагаема историческа информация се очаква “Trading space for time“ да бъде добро допълнение и инструмент за потвърждаване на надеждността на изводите от Тренд анализа и Сценарийния анализ.

Таблица 1. Сравнителен анализ на използваните методите

Метод	Базираност на данни	Базираност на модели	Възможност за прогнозиране
Тренд анализ	много силна	много слаба	не
“Trading space for time“	силна	слаба	да
Сценарийен анализ	ограничена, малка	силна	да

2.1. Тренд анализ

За тренд анализа са използвани като информация редици от средногодишните стойности на оттока. Станциите, силно повлияни от антропогенни действия, са изключени. Като пример е разгледан трендът на средногодишните водни количества за ХМС Марино поле. В рамките на разполагаемата информация от измервания, проблемът с времевия прозорец, в който е бил определен тренда, стои, както следва:

- според [1], трендът при станция „Марино поле“ за период на наблюдения 1980 – 2012 (или 32 години) е към увеличаване на оттока с 0,01 %/год.;

- според [2] трендът при станция „Марино поле“ в рамките на периода 1960 – 2010 (или 50 години) е към понижаване на оттока.

Интерпретацията на *трендовете* се прави въз основа на избрани времеви редици и като цяло, при определяне на тенденции, трябва да се внимава за времевия прозорец, който определя проявата на дадена тенденция – вида и силата на тенденцията. Липсата на дълги редици от измервания в настоящото изследване прави несигурни оценките на тенденции в промените на оттока и на хидрометеороложки фактори, определящи повърхностния отток.

2.2. Сценарни анализ (delta change approach)

Изследването на влиянието на климата чрез *Сценарни анализ* включва:

- Симулации с глобални циркулационни модели в рамките на дефинираните IPCC сценарии.
- Down scaling на температура, валеж и други резултати към растер 12 km за хидроложко моделиране.
- Моделиране валеж-отток с *TUW* модел, чрез използване резултатите от Down scaling.

Етапите в провеждането на сценарийното изчисление са следните:

Подготовка на данните: Данните за оттока в дневна резолюция са изследвани за антропогенни влияния и пунктовете с такива влияния са изключени. Измерванията на дневни валежи са интерполирани към регионални валежи. Температурите също са интерполирани към регионални температури. Следва се подходът, обяснен в [7].

Модели валеж-отток: Моделът *TUW* е непрекъснат концептуален модел, който отчита промените в редица хидроложки параметри във функция от времето, за разлика от моделите, базирани на събития. Моделът *TUW* се основава на HBV концептуален модел, който се прилага успешно в световен мащаб за оперативни и изследователски цели. Концептуалните модели, както е *TUW* модела, 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. Във връзка с целта на моделирането и съобразно наличието на данни и ресурсни ограничения, изборът на *TUW* модела е оптимален.

Калибриране и тестване на хидроложките модели: прави се на базата на историческа метеорологична и хидрологична информация в референтен период. Използваният референтен период е от 1976 до 2005 г., избран поради наличие на данни.

Откриването на значими тенденции в климата изисква дълъг период на симулация от поне 30 години. При процедурите по калибриране и валидиране е необходимо да се изследват вътрешните зависимости между отделните моделни параметри, като за целта могат да бъдат използвани по-къси периоди с данни.

Калибрирането на всеки модел включва събиране и въвеждане на наземни данни за дневни валеж, температура и отток (P , T и Q) за периода 1976 – 1982 година. Валидирането на модела се прави с наземни данни за дневни валеж и отток (P и Q) и дневни

данни за температура (T) от *ERA Interim* за периода 2000 – 2005 година. Моделите са тествани по отношение на големина и сезонно разпределение на оттока [7] освен по стандартни статистически оценки като коефициент по Наш и обемна грешка.

Симулации на речния отток

След удовлетворително приключване на процедурата по калибриране и валидиране на моделите следва етапът на прилагането им към разглежданите водосбори, с цел да бъдат симулирани хидроложките процеси и да бъдат извлечени и анализирани тенденциите в изменението на оттока.

В историческия референтен период и за избраните три бъдещи времеви хоризонти (краткосрочен, средносрочен и дългосрочен), *TUW* моделите биват симулирани, като за бъдещи периоди по сценарии *RCP4.5* и *RCP8.5* захранването с данни (P , T) става с помощта на регионалния климатичен модел *ALADIN*.

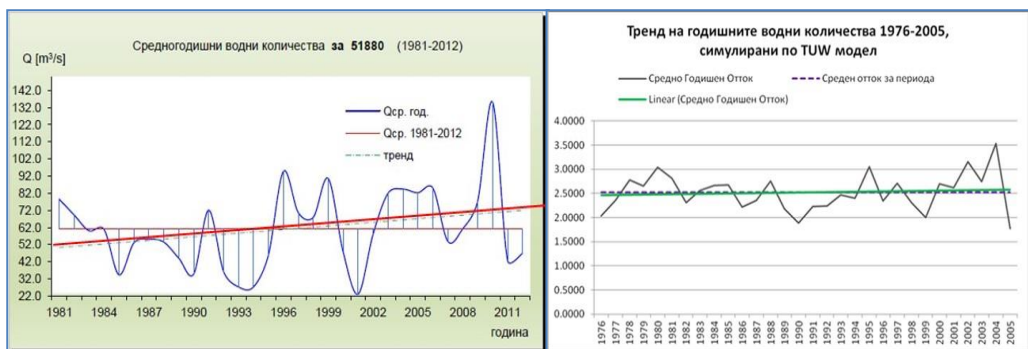
Delta Change Approach

Тенденциите във влиянието на климатичните промени върху режима на оттока са изведени с *Delta Change Approach* въз основа на валеж-отток симулации. При този подход симулациите за бъдещи периоди се сравняват със симулациите в историческия референтен период. Разликите в средномесечните стойности на температурата, валежите и оттока се диференцират пространствено и по месеци и се анализират.

Между референтния и бъдещия период по всеки климатичен сценарий се прави оценка на изменението на оттока. Оценяват се промените по климатични сценарии *RCP4.5* и *RCP8.5* в съответните бъдещи периоди (2013 – 2042, 2021 – 2050 и 2071 – 2100), в сравнение с референтния период (1976 – 2005).

Тренд анализ на оттока в референтен период 1976 – 2005 по данни на *НИМХ* и *TUW* модели

След симулации за референтен период с *TUW* модели, които използват дневни данни за валеж и температура от реанализ *ERA-Interim* оттокът е агрегиран към средногодишни стойности. Тренд анализът е илюстриран с *ХМС* на река Струма при Марино поле, където се наблюдава тенденция към увеличение на оттока за разглеждания период (1976 – 2005). Наклонът на тренда е 0,16 %/год. Резултатът е сравнен с получения от наземни измервания тренд в [1], където за период с подобна дължина (1981 – 2012) и изместен с пет години спрямо референтния в настоящото изследване, резултатът е също увеличаване на оттока, като наклонът на тренда е 0,01 %/год.



Фиг. 2. Тренд анализ на оттока в референтен период: Река Струма, *ХМС* Марино поле

В следващата таблица са представени трендовете в някои *ХМС* в БД „Дунавски район” и БД „Западнобеломорски район” с анализ в референтния период 1976 – 2005 г.

Таблица 2. Сравнителен анализ на тренд на ср.год. водни количества, измерени и симулирани

No	Station Number	Station Name	River	Increase %/year.	
				Measured data	Simulated runoff
1	14450	Фалковец	Стакевска река	0.44	0.92
4	16800	с. Кобиляк	Огоста	0.88	1.20
12	18850	с. Ореховица	Искър	0.55	0.84
13	21750	с. Крушовица	Вит	2.00	1.30
18	22800	с. Изгрев	Осъм	1.31	1.75
20	23400	Джълюница	Джълюница	2.69	0.40
24	23850	с. Каранци	Янтра	2.13	0.77
25	31450	с. Кардам	Черни Лом	1.50	1.74
31	51700	Ръждавица	Струма	0.50	1.05
32	51750	Бобошево	Струма	2.00	0.76

Трендът на симулирания по *TUW* модел отток в референтен период се потвърждава като тенденция от данните, публикувани за измерени водни количества от НИМХ в близък до 30-годишния изследван период.

В заключение можем да обобщим, че всяка от стъпките в *Сценарийния анализ* внася несигурности, които могат да доведат до грешки в анализа на сценария. *Сценарийният анализ* може да покаже промени, неподлежащи на интерпретиране и без да позволи да бъде определена тяхната вероятност. Ето защо в анализа на климатичните промени следва да бъде засилено разглеждането на механизмите, които предизвикват определени промени, а не само да се търси количествена оценка на промените.

Мотивацията да се търси потвърждение с паралелни методи в това изследване е още по-силна поради ограничената информация, с която се разполага в България, в случая: дневни наземни измервания на валежи (*P*), температура (*T*) и отток (*Q*) само в периода „1976 до 1980“ и отчасти за периода „2000 до 2005“.

2.3. Trading space for time

“*Trading space for time*“ подходът е приложен въз основа на модела на *Turc, 1954, 1961*, който разглежда дълготрайните (средномногогодишни) стойности на оттока (*R*, *mm*) на база на връзка на среднемногогодишните стойности на оттока в *mm* и индекса на потенциалното изпарение *EPI*.

$$R = P \left[1 - \frac{EPI}{(c \cdot EPI^n + p^n)^{1/n}} \right],$$

където *c* и *n* са моделни параметри.

Формулата важи за валеж, по-голям от изпарение, както следва:

$$P > EPI(1-c)^{\left(\frac{1}{n}\right)}.$$

Индексът за потенциалното изпарение EPI е функция на T , средномногогодишната стойност на средногодишните температури.

Видът на функцията е:

$$EPI = a_1 + a_2T + a_3T^3,$$

където a_1 , a_2 и a_3 са регионални параметри.

В случай на ограничен достъп до данни, *Turc* препоръчва следните стойности:

$$c = 0,9, \quad n = 2, \quad a_1 = 300, \quad a_2 = 25, \quad a_3 = 0,05.$$

След калибриране на модела на *Turc* за Австрия [3], параметрите са били уточнени както следва:

$$c = 0,9, \quad n = 1,732, \quad a_1 = 376, \quad a_2 = 30, \quad a_3 = 0,05.$$

В [6] при калибрирането на модела на *Turc* параметрите са били определени както следва:

$$c = 0,65, \quad n = 2, \quad a_1 = 601, \quad a_2 = 25, \quad a_3 = 0,05.$$

За България калибриране на модела на *Turc* тук е направено въз основа на данни за 12 водосбора в северна и южна България (р. Стакевска, с. Фалковец; р. Огоста, с. Кобиляк; р. Бистрица, лет. „Боровец“; Искър, с. Ореховица; р. Вит, с. Крушовица; р. Осъм, с. Изгрев; р. Джулюница, с. Джулюница; р. Янтра, с. Каранци; р. Черни Лом, с. Кардам; р. Струма, с. Ръждавица; р. Струма, с. Бобошево; р. Струма, с. Марино поле) като параметрите на модела са уточнени както следва:

$$c = 0,9, \quad n = 2, \quad a_1 = 400, \quad a_2 = 25, \quad a_3 = 0,05.$$

При сравнение на средномногогодишния отток, получен по калибрирания модел на *Turc* със средномногогодишния отток, получен по данни от измервания се установява, че минималният отток е надценен, но като цяло предсказаните по модела на *Turc* средномногогодишни стойности на средногодишните водни количества са близки до измерените и за целите на това изследване моделът е достоверен като отразява регионалните особености.

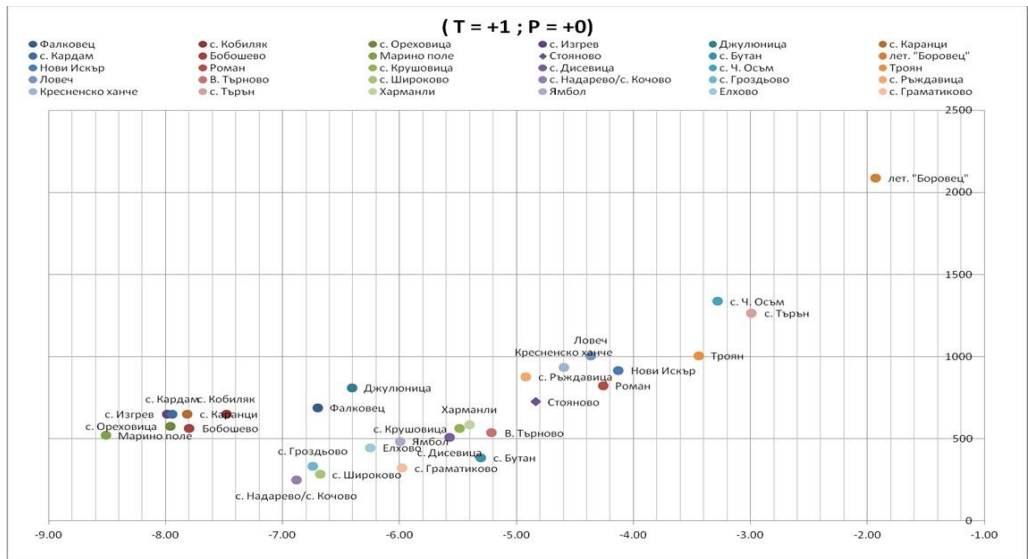
В настоящото изследване подходът “*Trading space for time*” се използва в две насоки:

- (1) в анализа на чувствителността на отделните водосбори към породени от климатична промяна изменения в оттокоформиращите параметри валеж и температура и
- (2) за проверка на достоверността на прогнозите за промени в оттока по RCP4.5 и RCP8.5, получени по сценарийен анализ.

2.3.1. Анализ на чувствителността на моделираните водосбори

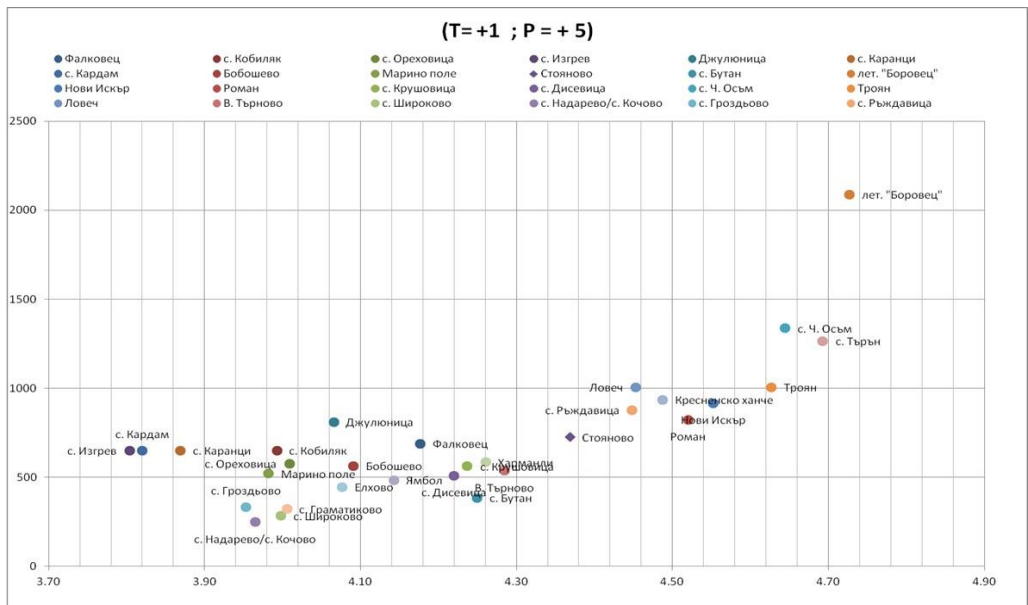
Анализът на регионалната чувствителност на оттока във връзка с изменението на температурата и валежа е базиран на модела на *Turc* и е независим от климатичните сценарии. Изследвано е изменението на ср.год. отток в % към промяна на температурата в °C и на валежите в %.

Увеличението на температурата с 1 °C и на валежа с 0% ($T = +1$; $P = 0$) в равнини водосбори със средна надморска височина до 650 m предизвиква значително намаление на сръногодишния отток – до 8,5%.



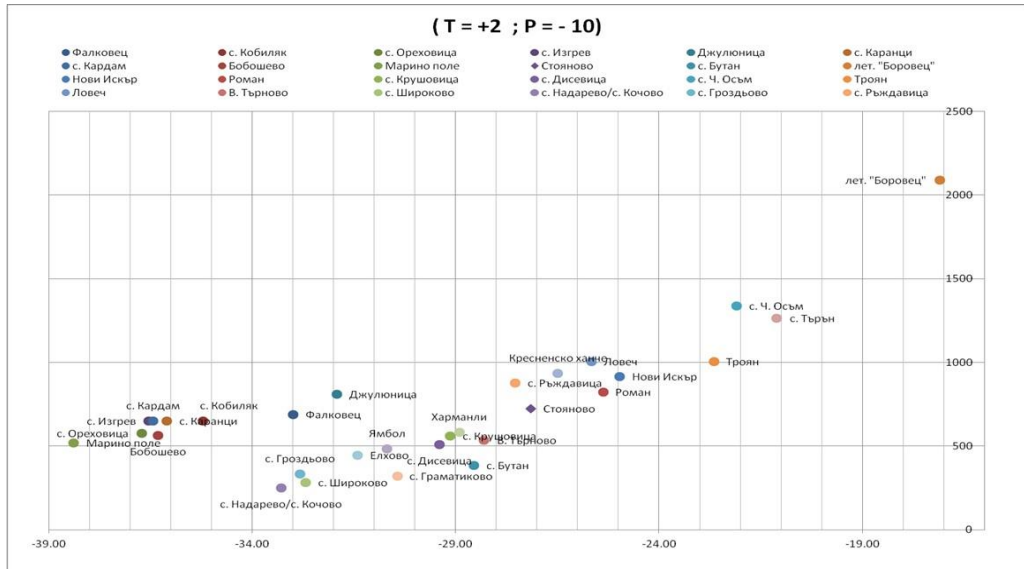
Фиг. 2. Анализ на чувствителността на оттока при увеличението на температурата с 1 °C и на валежа с 0%. По абсцисата – изменение на оттока в %; по ординатата – надморска височина в метри

Увеличението на температурата с 1 °C и на валежа с 5% ($T = +1; P = +5$) показва по-голямо увеличение на оттока в планинските региони – до 4,5% и по-малко в равнините – до 3%.



Фиг. 3. Анализ на чувствителността на оттока при увеличението на температурата с 1 °C и на валежа с 5%. По абсцисата – изменение на оттока в %; по ординатата – надморска височина в метри

Това са резултати, подобни по мащаби на данните от по-леките сценарии за климатична промяна, т.е. с малки промени. Ако обаче се реализират по-големи промени в температурата и валежите (подобно на *RCP8.5*), измененията в средногодишния отток ще бъдат значителни. Увеличението на температурата с 2 °C и намаляването на валежа с 10% ($T = +2$; $P = -10$) води до намаляване на средногодишния отток с около 35% в равнинните водосбори с височина до 650 m и по-малко в планинските райони.



Фиг. 4. Анализ на чувствителността на оттока при увеличението на температурата с 2 °C и намаляване на валежа с 10%. По абсцисата – изменение на оттока в %; по ординатата – надморска височина в метри

Таблица 3. Анализ на чувствителността на оттока от изменение на температурата и валежа по “Trading space for time“ (Turc)

Номер станция	Име станция	Средна надморска височина	Река	Изменение на T и P, % / ΔQ %		
				T 1; P 0	T 1; P +5	T +2; P -10
14450	Фалковец	689	Стакевска река (приток на Лом)	-6.70	4.18	-32.99
16500	Стойаново	725	Ботуня	-4.83	4.37	-27.14
16800	с. Кобиляк	650	Огоста	-7.48	3.99	-35.20
16850	с. Бутан	384	Огоста	-5.30	4.25	-28.55
18360	лет. „Боровец“	2089	Бистрица (Мусален.)	-1.93	4.73	-17.11
18700	Нови Искър	916	Искър	-4.13	4.55	-24.97
18800	Роман	823	Искър	-4.26	4.52	-25.37
18850	с. Ореховица	576	Искър	-7.96	4.01	-36.72
21750	с. Крушовица	561	Вит	-5.49	4.24	-29.14

21800	с. Дисевица	509	Вит	-5.57	4.22	-29.39
22650	с. Ч. Осъм	1337	Осъм	-3.28	4.64	-22.09
22700	Троян	1006	Осъм	-3.44	4.63	-22.65
22750	Ловеч	1006	Осъм	-4.37	4.45	-25.66
22800	с. Изгрев	650	Осъм	-7.99	3.80	-36.54
23400	Джюлюница	810	Джюлюница (приток на Янтра)	-6.41	4.07	-31.91
23700	В. Търново	536	Янтра	-5.21	4.28	-28.30
23850	с. Каранци	650	Янтра	-7.82	3.87	-36.10
31450	с. Кардам	650	Черни Лом	-7.95	3.82	-36.43
31550	с. Широково	283	Черни Лом	-6.68	4.00	-32.69
43400	с. Надарево/ с. Кочово	249	Врана	-6.88	3.96	-33.28
43800	с. Гроздьово	332	Камчия	-6.74	3.95	-32.82
51700	с. Ръждавица	877	Струма	-4.92	4.45	-27.53
51750	Бобошево	563	Струма	-7.80	4.09	-36.31
51800	Кресненско ханче	934	Струма	-4.59	4.49	-26.48
51750	Марино поле	520	Струма	-8.51	3.98	-38.38
61350	с. Търън	1264	Ерма	-2.99	4.69	-21.11
73750	Харманли	584	Харманлийска	-5.40	4.26	-28.90
74800	Ямбол	484	Тунджа	-5.99	4.14	-30.68
74850	Елхово	445	Тунджа	-6.25	4.08	-31.41
83800	с. Граматиково	321	Велека	-5.98	4.01	-30.43

2.3.2. Проверка на климатичния сигнал и на качеството на прогнозите

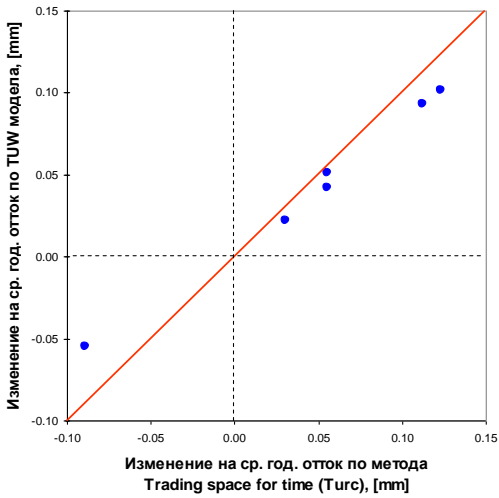
Без съмнение би било рационално преди да бъде търсена и анализирана промяна във вътрегодишното разпределение на оттока да бъде изпълнена обща проверка на качеството на прогнозите, посредством съпоставка на предсказаното изменение на ср.год. отток по *Сценарийен анализ (TUW модел)* и това по *Trading space for time (Turc модел)*.

Към разглежданите ХМС калибрираният модел на *Turc* е симулиран с данни за референтния период и с данни за средногодишния валеж P и срногодишната температура T от климатични модели $RCP4.5$ и $RCP8.5$ в съответните бъдещи периоди.

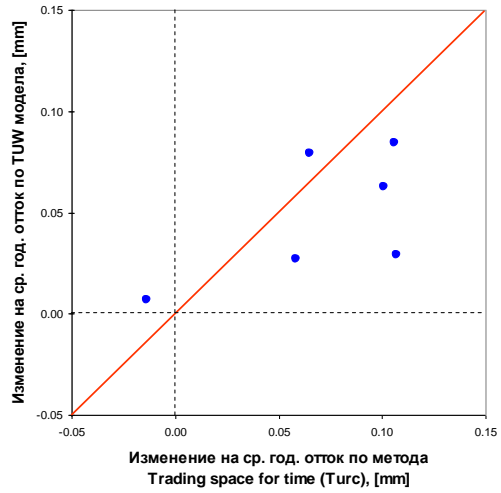
Тенденциите за изменение на средногодишния отток, изчислен по метода на *Turc*, са определени с *Delta Change Approach*. По този начин промените в средногодишния отток по всеки сценарий за климатични промени ($RCP4.5$ респективно $RCP8.5$) във всеки от бъдещите периоди биват моделирани с отчитане на регионалната специфика (*Trading space for time*).

С ползване на различни подходи, описващи механизмите, които предизвикват определени промени по климатични модели $RCP4.5$ и $RCP8.5$ за трите бъдещи периоди, тенденциите в изменението на средногодишния отток по резултати от *Сценарийния ана-*

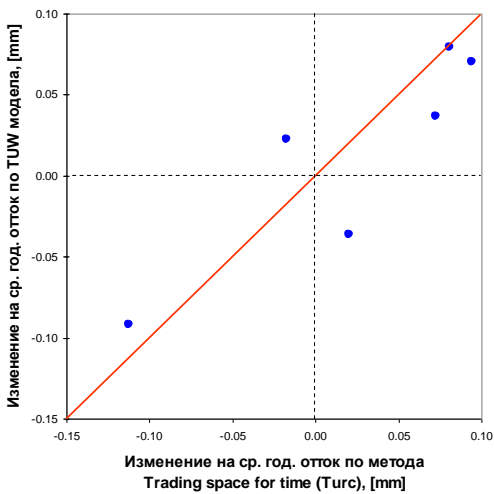
лиз и *Trading space for time* подход се сравняват. Своеобразната проверка на прогнозите за част от станциите е показана на следващите фигури:



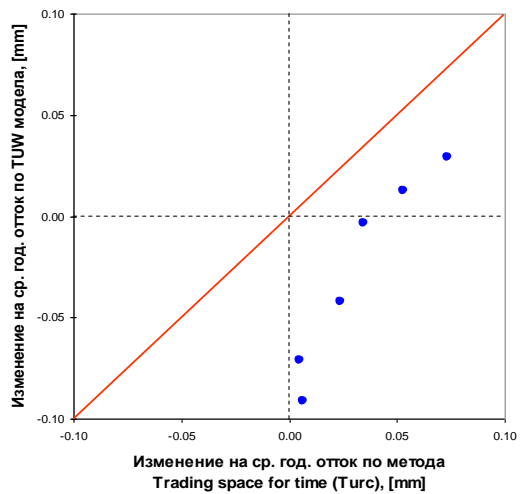
1. с. Фалковец – потвърдени прогнози



3. с. Стояново – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2071 – 2100), където прогнозата не е потвърдена

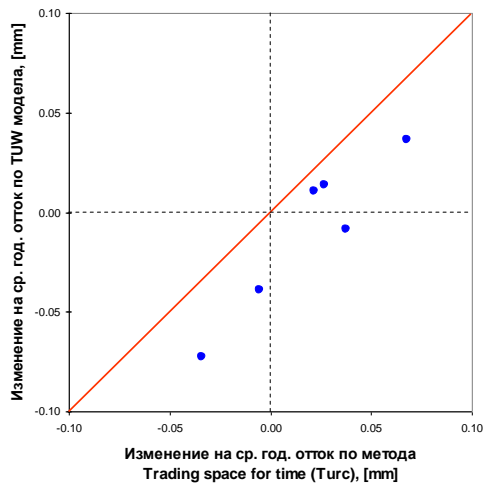


4. с. Кобилък – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2021 – 2050) и RCP8.5 (2071 – 2100), където прогнозите не са потвърдени

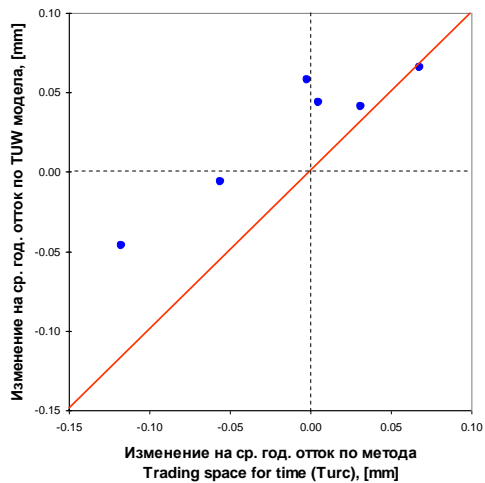


9. Нови Искър – потвърдени са прогнозите за RCP4.5 (2013 – 2042) и RCP4.5 (2021 – 2050)

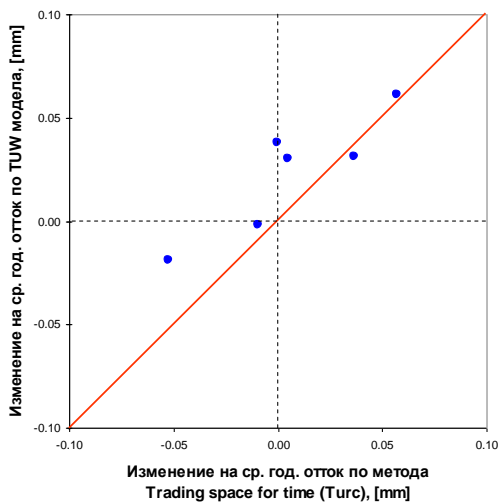
Фиг. 5. Примери за проверка на прогнозите за климатични промени в БДДР



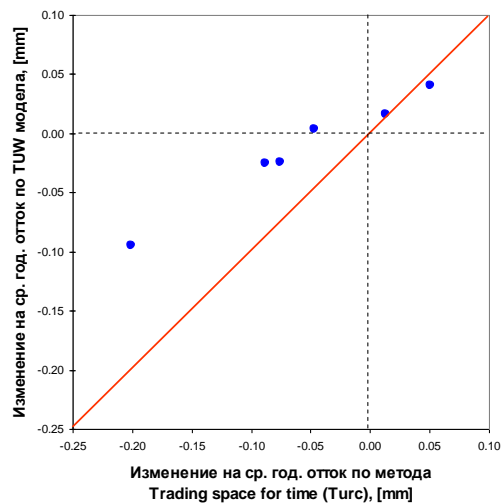
31. с. Ръждавица – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2021 – 2050), където прогнозата не е потвърдена



32. Бобошево – потвърдени прогнози с изключение на RCP8.5 (2021 – 2050), където прогнозата не е потвърдена

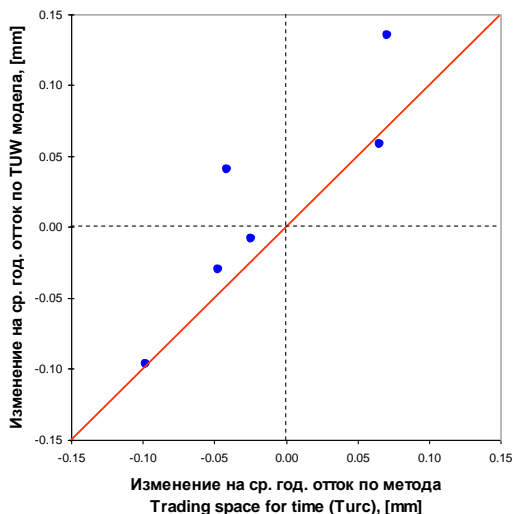


33. Кресненско ханче – потвърдени прогнози

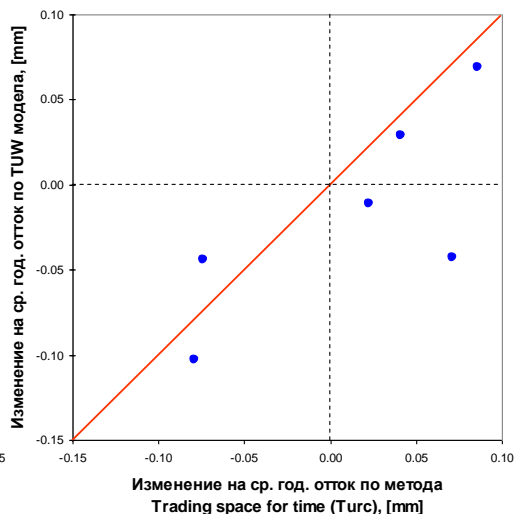


34. с. Марино поле – потвърдени прогнози с изключение на RCP8.5 (2013 – 2042), където прогнозата не е потвърдена

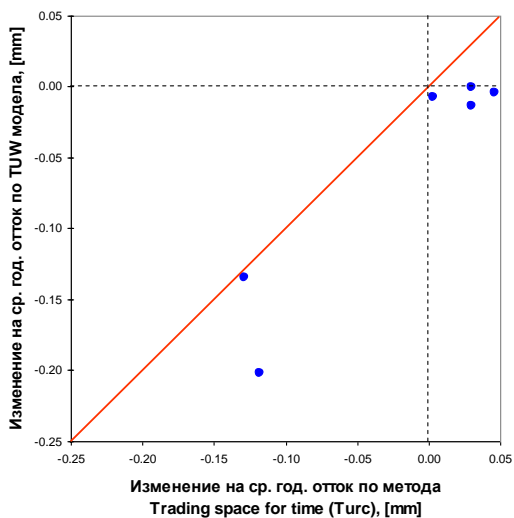
Фиг. 6. Примери за проверка на прогнозите за климатични промени в БДЗБР



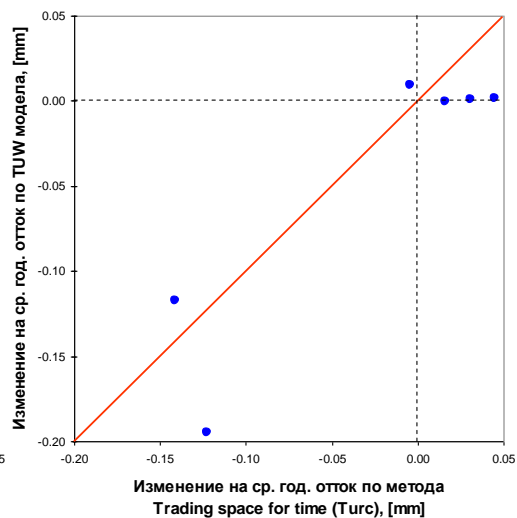
35. с. Търн – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2071 – 2100), където прогнозата не е потвърдена



45. Харманли – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2021 – 2050) и RCP8.5 (2021 – 2050), където прогнозите не са потвърдени

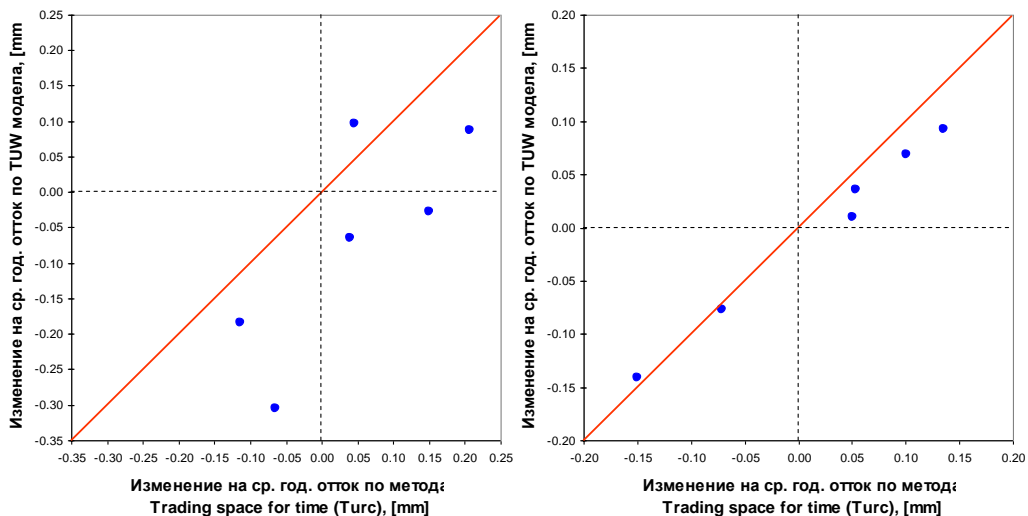


50. Ямбол – потвърдени са прогнозите за RCP4.5 (2071 – 2100) и RCP8.5 (2071 – 2100)



51. Елхово – потвърдени прогнози с изключение на RCP8.5 (2021 – 2050), където прогнозата не е потвърдена

Фиг. 7. Примери за проверка на прогнозите за климатични промени в БДИБР



28. с. Надарево/с. Кочово – потвърдени прогнози с изключение на RCP4.5 (2021 – 2050) и RCP8.5 (2013 – 2042), където прогнозите не са потвърдени

29. с. Гроздovo – потвърдени прогнози

Фиг. 8. Примери за проверка на прогнозите за климатични промени в БДЧР

За представените водосбори към ХМС ползването на паралелни модели, отразяващи регионалната специфика на формиране на оттока, позволява да получим по-голяма сигурност при прогнозиране на ефекта от климатични промени. В повечето случаи тенденциите в изменението на оттока се потвърждават по двата модела – *Сценариеен анализ (TUW модел)* и *Trading space for time (Turc модел)*, с някои изключения на конкретни сценарии, посочени към фигурите.

3. Заключение и препоръки

- Анализът на чувствителност на оттока, базиран на модела на *Turc*, дава възможност за оценка на уязвимостта на басейните във връзка с изменението на температурата и валежа.
- Подходът *Trading space for time* се използва за оценка и проверка на качеството на прогнозата – подходът позволява откриване на станции със значителна несигурност в прогнозата, въпреки добрите статистически оценки на TUW моделите. Проверките се базират на регионални особености и разкриват несигурността на самите климатични сценарии и на влиянието на ограничената информация от наземни измервания, с която разполагаме. Например много станции на около 500 m надморска височина в Дунавския басейн нямат потвърждение за прогноза в далечния бъдещ период (2071 – 2100) на сценария RCP4.5. Необходимо е да продължи търсенето на обяс-

нение и интерпретация кои сценарии в кои пространствени и времеви рамки проявяват значителна несигурност.

- Препоръчително е при анализ на влиянието на климатичните промени сигурността на прогнозите да бъде подобрявана, като разглежданите методи бъдат ползвани паралелно, както и да се търси потвърждение по различни методи, преди изводите да бъдат обявени за достоверни. Резултатите от *Сценарийния анализ* трябва винаги да се разглеждат съвместно с други анализи. Това ни прави по-уверени в справянето с прогнозите за изменението на климата в условия на ограничена информация.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочно издание на НИМХ за нуждите на оперативното звено на МОСВ с характеристики на променливост на пресни води. Западнобеломорски район за басейново управление, януари 2015 г.

2. Оценка за тенденциите на изменението на водните ресурси, при различните сценарии за изменение на климата – пилотна оценка за поречието на река Струма. Модел 2 – моделиране на месечния воден баланс за оценка на въздействието на климатичните промени върху оттока и наличните водни ресурси Модел на U.S. geological survey за месечен воден баланс, НИМХ.

3. *Blöschl, G., Schöner, W., Kroiss, H., Schimon, W., Lutz, L.* (2011) Anpassungsstrategien an den Klimawandel für Österreichs Wasserwirtschaft.

4. *Turc, L.* (1961) Evaluation des besoins en eau d'irrigation, evapotranspiration potentielle, formuleclimatique simplifee et mise a jour. *Annal Agron* 12(1):13 – 49.

5. *Turc, L.* (1961) Water requirements assessment of irrigation, potential evapotranspiration: Simplified and updated climatic formula. *Annales Agronomiques*, 12, 13 – 49.

6. *Istanbulluoglu, A., Kocaman, I., Konukcu, F.* Modification of Turc Method to Determine the Water Yields of Sub-Basins in Thrace Region of Turkey – *Journal of Central European Agriculture*, 2002.

7. *Parajka, J., G. Blöschl and R. Merz.* (2007) Regional calibration of catchment models: Potential for ungauged catchments. *Water Resources Research*, 43, article number W06406.

ASSESSMENT OF THE IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON RIVER FLOW IN BULGARIA UNDER CONDITIONS OF LIMITED INFORMATION

M. Mavrova-Guirguinova¹, M. Pechinova²

Keywords: climate change, river flow, scenario analysis, trading space for time

ABSTRACT

The paper deals with the assessment of the change and seasonal variability in river flow and general distribution within a year for different timeframes in Bulgaria.

Evaluation of the possible changes in surface water feeds as a result of climate change is hampered by the uncertainty, inherent to the task, which leads to considerable difficulties in reaching strong conclusions. The analyses have been carried out on a solid methodological foundation, studying each problem from multiple angles, using different data and hypotheses. Three methods have been utilized: Trend analysis, Scenario analysis and the “Trading Space for Time” method. While Trend analysis is based on data, Scenario analysis is primarily concentrated on the modelling process. Scenario analysis introduces uncertainty in two major ways – firstly, through the climate scenario, and secondly, in transferring modelling data into the surface flow model. Trend analysis brings into question the projection (extrapolation) of trends onto a future period, since the derived trend is inherently dependent on the reference timeframe.

These uncertainties, as well as the task of analyzing regional sensitivities to climate changes, motivated the use of the “Trading Space for Time” method, which is based on the spatial characteristics of a river basin. In terms of model hypotheses and usage of data, this approach is close to both Trend analysis and Scenario analysis, making it a useful addition and tool for testing the reliability.

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

² Martina Pechinova, Assoc. Prof. Dr. Eng., Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenki Blvd., Sofia 1046, e-mail: martinapechinova@abv.bg