



Получена: 14.05.2021 г.

Приета: 16.08.2021 г.

## ТЕНДЕНЦИИ НА ИЗМЕНЕНИЕ В РЕЖИМА НА ВИСОКИТЕ ВОДИ В ДУНАВСКИЯ БАСЕЙН НА БЪЛГАРИЯ В УСЛОВИЯ НА КЛИМАТИЧНИ ПРОМЕНИ

М. Маврова-Гиргинова<sup>1</sup>, М. Печинова<sup>2</sup>, Д. Пенчева<sup>3</sup>, Д. Йолова<sup>4</sup>

*Ключови думи: отток, режим, високи води, тренд, климатични промени, прогнози*

### РЕЗЮМЕ

Наблюдаваната през последните десетилетия положителна тенденция в промяната на температурата на въздуха и промените в моделите на разпределение на валежите поставят основателни въпроси, относно това, каква е реакцията в режима на повърхностните води в България. В статията понятието режим на високите води обобщава честотата/обезпечеността и сезонността на максималните водни количества. Обект на изследване са поречия в Дунавския басейн на територията на България: Искър, Вит, Осъм, Янтра и граничният на България участък от р. Дунав. Към наблюдаваните участъци от тези реки е приложен тренд-анализ на дълги времеви редици (1961 – 2019) чрез линейна регресия за оценка на промените в режима на високите води и техните сезонни проявления. Разкрива се обща низходяща тенденция на изменение на годишните максимуми на оттока. Най-полегат е трендът за горното течение на Малки Искър, горното течение на Вит (Черни Вит) и Владайска (горно течение), най-стръмен е за горното течение на Росица (Видима и Росица при Севлиево) и горното течение на Осъм (Осъм при Троян). За река Дунав трендът варира слабо и е почти еднакъв във всички станции. Промените в сезонността, обусловени от по-ранното подхранване на реките от снеготопене, във връзка с повишаване на температурите на въздуха, са ясно изразени в поречията на

<sup>1</sup> Мария Маврова-Гиргинова, доц. д-р инж., кат. „Хидротехника и хидромелиорации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: margir\_fhe@abv.bg

<sup>2</sup> Мартина Печинова, доц. д-р инж., кат. „Хидравлика и хидрология”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: martinapechinova@abv.bg

<sup>3</sup> Денислава Пенчева, д-р инж., свободен изследовател, e-mail: dhpencheva@gmail.com

<sup>4</sup> Дайана Йолова, докторант, кат. „Хидротехника и хидромелиорации”, УАСГ, бул. „Хр. Смирненски“ № 1, 1046 София, e-mail: dayanayolova@yahoo.com

Вит и Янтра: от ранни летни и късни пролетни годишните максимуми се изместват към пролетни и ранни пролетни. На фона на редица антропогенни намеси по течението на р. Дунав, в българския участък се потвърждава същата тенденция към изместване на пролетния годишен максимум на оттока към по-ранна пролет.

Прогнозирането на бъдещи тенденции в изменението на оттока, предизвикани от климатични промени, е направено чрез сценариен анализ и сравнено с резултати, получени по способа „замяна“ на времето с пространство. Изследвани са климатични сценарии RCP 4.5 и RCP 8.5 в средносрочен (2021 – 2050) и далечен хоризонт (2071 – 2100). Въз основа на delta change анализ се проявяват тенденции за относителни сезонни изменения на валежи, температура и отток. Чрез анализ на максимумите от среднодневни валежи и отток се прави прогноза за относителната промяна в екстремумите на валежите и оттока с различна обезпеченост.

## 1. Реки в Дунавския басейн, използвани в изследването

Дунавският басейн обхваща българската територия от международния басейн на река Дунав, с площ от 47 235 km<sup>2</sup>, или 42.5% от територията на страната. Районът включва речните басейни на 11 реки: Ерма и Нишава, реки западно от Огоста, Огоста, Искър, Вит, Осъм, Янтра, Русенски Лом, Дунавски добруджански реки, Дунав. Това са всички дунавски притоци, образували своите поречия на територията на България. Водосборният басейн на р.Нишава е трансграничен между България и Сърбия. Основните реки в Дунавския басейн, използвани в изследването, са:

**р. Искър** – Река Искър е най-дългата вътрешна река, протичаща изцяло на територията на Р България. Дължината ѝ е 368 km, а общата водосборна площ на реката и притоците ѝ е 8647 km<sup>2</sup>. Денивелацията ѝ е от 2500 m (в началото) до 20 m – при устието. По-големите ѝ десни притоци са реките Лесновска, Малък Искър и Златна Панега, а по-големите ѝ леви притоци са реките Палакария, Блато и Сливнишка, Какач, Ръчене, Габерска.

**р. Вит** – За начало на реката е приет основният ѝ приток – р. Бели Вит. Общата дължина на реката е 189 km, а средният наклон – 9.6 %. Водосборната ѝ област, с площ 3220 km<sup>2</sup>, е силно продълговата, с малка средна ширина (25 km), която не дава възможност за развитието на по-гъста речна мрежа. Броят на притоците е малък.

**р. Осъм** – За нейно начало е приета р. Черни Осъм, извираща от северните склонове на Троянския балкан. Дължината на реката е 314 km, а площта на водосборната ѝ област – 2824 km<sup>2</sup>. Водосборната област е тясна, със средна ширина под 20 km, което е ограничило възможността да се развива гъста речна мрежа. Притоците на реката са малко на брой, къси и с малки водосбори.

**р. Янтра** – В настоящото изследване участва водосборът на р. Росица до гр. Севлиево. Р. Росица е ляв приток на р. Янтра. Общата площ на водосбора на р. Росица до гр. Севлиево е 1020 km<sup>2</sup>, от които 560 km<sup>2</sup> са площ на водосбора на река Видима и 460 km<sup>2</sup> – водосбор на река Лопушница.

### 1.1. ХМС, използвани в анализа

Хидрометеорологичните станции по вътрешните реки с основните им хидрографски характеристики са описани в табл. 1. За р. Дунав са използвани данни от 4 станции по река Дунав на българска територия – табл. 2.

**Таблица 1. Основни хидрографски характеристики към ХМС на вътрешни реки**

Поречие	ХМС	Река	Местоположение	Площ на водосб. (km <sup>2</sup> )	Ср. надм. височ. на водосб. (m)	Qмах (период)	Заб.
ИСКЪР	18150/107	Суха река	с. Бойковец	21.2	1098	1961-2019	
	18250/83	Бебреш	с. Своде	492	638	1961-2019	
	18420/98	Владайска река	София кв. "Княжево"	48.9	1354	1961-2019	
	18435/100	Банкенска река	София кв. "Иваняне"	54.3	791	1961-2005	2007 закр
	18550/108	Малки Искър	Етрополе	54.3	1164	1961-2019	
	18560/113	Малки Искър	с. Своде	1138	654	1966-2019	1965 откр
	18580/117	Златна Панега	с. Петревене	180.1	338	1961-2019	
	18700/101	Искър	Нови Искър	3662	945	1961-2019	
	18800/116	Искър	с. Кунино/Роман	6697	831	1961-2019	
	18850/118	Искър	с. Ореховица	8366	706	1961-2019	
ВИТ	21350/52	Черни Вит	с. Ч. Вит	155.4	1032	1961-2019	
	21500/89	Каменица	с. Бежаново	486	366	1961-2019	
	21650/51	Вит (Бели Вит)	Тетевен	306	1007	1961-2019	
	21750/54	Вит	с. Садовец/с. Крушовица	1750	595	1961-2019	
	21800/55	Вит	с. Ясен/с. Дисевица	2407/2236	489	1961-2019	1969 прем
ОСЪМ	22350/60	Бели Осъм	гр. Троян, м. Василевска	187.3	1008	1961-2019	
	22650/57	Осъм (Ч. Осъм)	с. Ч.Осъм, м. Стояновска	138.3	1338	1961-2019	
	22700/58	Осъм	гр. Троян	458.1	1034	1961-2019	
	22750/64	Осъм	Ловеч	908.5	723	1961-2019	
	22800/413	Осъм	с. Изгрев	2154.0	412	1961-2019	1970 откр
ЯНТРА	23250/71	Видима	гр. Севлиево	556.8	659	1961-2019	
	23450/72	Росица	с. Валевци	101	978	1961-2019	
	23500/69	Росица	гр. Севлиево	958	604	1961-2019	

**Таблица 2. Станции по река Дунав на българска територия**

Река	Станция	Местоположение	Площ на водосб. (km <sup>2</sup> )	Qмах (период)
ДУНАВ	Ново село	833 km преди Чермо море	584900	1961 – 2019
	Лом	743.3 km преди Чермо море	588860	1961 – 2019
	Русе	495.6 km преди Чермо море	669900	1961 – 2019
	Силистра	375.5 km преди Чермо море	689700	1961 – 2005

## 1.2. Изходни данни

Анализ на хидроложката информация е извършен с наличните до момента данни от откриването на хидрометричните станции до 2019 г. Като изходни информация са използвани редиците с регистрирани годишни максимуми и датите на регистрирането им към избраните ХМС на територията на Дунавския басейн, както и редиците с регистрирани годишни максимуми и датите на регистрирането им към четирите дунавски станции. Данните от ХМС са приведени към непрекъснати редици в еднороден период на наблюдение (1961 – 2019), като данните за станциите, в които частично липсват наблюдения, или станциите, които са закрити преди 2019 или открити след 1961 г. са допълнени с помощта на статистически и регресионни методи. Редиците са с достатъчна дължина за нуждите на статистическата обработка и целите на изследването.

За моделиране на климатични въздействия и проверка на реакциите на режима на оттока във водосборите на вътрешните реки са подготвени дневни данни от наземни измервания на валежи, температура на въздуха и водни количества за периодите 1976 – 1980 и 2000 – 2005 г., както и данни от реанализ от ERA-Interim<sup>1</sup> за референтен период 1976 – 2005 г.; валежи и температура по климатични сценарии RCP4.5 и RCP8.5 от ALADIN 5.2<sup>2</sup> за бъдещи периоди.

За процедурите на калибриране и валидиране на моделите, поради ограниченото количество дневни данни от наземни измервания, са оформени: 1) комплект данни за калибриране на хидроложките модели валеж-отток в периода 1976 – 1980 г. (с наземни измервания за валежи, температура и водни количества); и 2) комплект данни за валидиране 2000 – 2005 г. (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).

## 2. Промени в режима на високите води

Наблюдаваната през последните десетилетия положителна тенденция в промяната на температурата на въздуха и промените в моделите на разпределение на валежите поставят основателни въпроси относно това, каква е реакцията в режима на повърхностните води в България. В статията понятието режим на високите води обобщава честотата/обезпечеността и сезонността на максималните водни количества.

### 2.1. Фактори, обуславящи промяна

В търсене на факторите, обуславящи промяна в режима на високите води, някои автори [1, 2] предлагат дефрагментиране на хидроложкия цикъл на отделни елементи, които да бъдат детайлно изследвани. Дефинирани са три нива, групи елементи на хидроложкия цикъл: реки, водосбори и атмосфера, в които се проявяват фактори, обуславящи промяната в режима на високите води [1, 2]. Настоящата работа представлява продължение на тези проучвания. Примерни индикатори за промяна и фактори, водещи до

---

<sup>1</sup> ERA-Interim е глобален атмосферен реанализ, произведен от ECMWF.

<sup>2</sup> ALADIN 5.2 е локална версия на френския глобален модел ARPEGE, разработен от CNRM Météo-France.

промяна в режима на високите вълни, характерни за съответната група елементи на хидроложкия цикъл, са обобщени в следващата таблица.

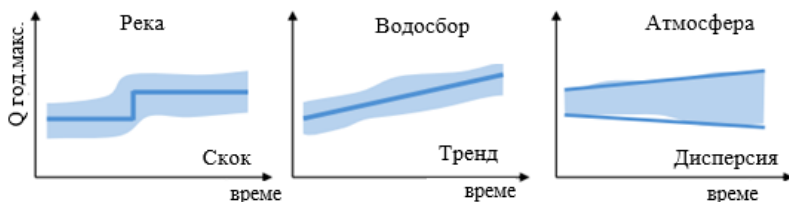
**Таблица 3. Индикатори и фактори за промяна в режима на високите води**

Елементи на хидроложкия цикъл	Процеси	Индикатори за промяна	Примери за фактори на промяната в режима на високите води	
			природни	антропогенни
Реки	Провеждане на високата вълна. Разпластяване на високите вълни. Наслагване на високи вълни.	Проводимост, промени в речната морфология, грапавина, водни нива, дълбочини, водни количества, скорости, пренос, ретензия в заливаемите площи.	Интензивна вегетация в речните корита от изменение на температурите.	Изграждане на линейни инженерни съоръжения, редуциране на дължините на реките, изграждане на диги, управление на ВЕЦ-ове и язовири.
Водосбори	Формиране на оттока. Формиране на пик на високата вълна. Формиране на обем на високата вълна.	Изпарение, инфилтрация, коефициент на оттока, ретензионни обеми.	Внезапни наводнения, предизвикани от интензивни местни валежи; затоплянето може да доведе до по-малко натрупване на сняг през зимата, а топенето на снеговете може да започне по-рано.	Урбанизация, изграждане на транспортна инфраструктура, обезлесяване, отводняване, големи пожари, практики в управлението на земеделските земи, изграждане на дренажи в мощурливи местности и земеделски земи, изграждане на ретензионни басейни.
Атмосфера	Атмосферно влияние върху водните потоци във водосборите.	Температура, сума на валежите, интензивност/продължителност на валежите, снежна покривка, снеготопене, къси и дълги вълни на климатична радиация.	Естествени климатични проявления в различна времева резолюция.	Антропогенни климатични влияния, парникови газове и т.н.

## 2.2. Признаци за промяна

Свеждането на многообразието от промени в режима на високите води до типови образци на потенциални промени е първата стъпка в изучаването им. В статията [1] типите промени се определят като скок в хидрографиите на максимални водни количества (Step Change) на ниво река, изменение в тенденцията (Trend) на ниво водосбор или

изменения във вариабилността или дисперсията (разсейването) (Change in Variables) – свързано с атмосферните фактори.



**Фиг. 1. Видове промени в пиковите на наводнения, причинени от (а) изграждане/премахване на ХТС, (б) промяна в земеползването, (в) увеличаване на дисперсията на екстремните валежи (J. Hall et al., 2014)**

Изграждането на хидротехнически съоръжения се отчита със скок в ходовата линия на високите вълни, особено при строителство в кратки срокове. Измененията в земеползването, например, имат по-бавно въздействие върху оттока и проявлението му върху ходовите линии на оттока е по-подходящо да се определя чрез оценка на изменението в наклоните (Change in Trend). Аналогично, климатичните колебания или промени се отразяват бавно върху средните и максималните водни количества.

Анализът по максимални водни количества е често използван и обикновено се прилага, като се сравняват максимумите с фиксирана прагова стойност.

Редиците с измервания се подлагат на анализ за сезонност на измененията. Най-честите измерители на сезонността са средната дата на случилите се наводнения или дати на максимумите през годините. Този вид анализ обикновено е полезен, когато сезонните максимуми се сравняват с други сезонни величини, които са потенциални фактори на промяната, характеристики на водосборите, като екстремни и сезонни валежи, режим на оттока и техните възможни промени.

### 3. Методи за изучаване на промените в режима на оттока

#### 3.1. Тренд-анализ

Тренд-анализът е метод, чрез който може да се оцени наличието на определена тенденция във времевото разпределение на оттока. Задачата на тренд-анализа е да идентифицира и определи количествено действителната тенденция по строго статистически начин. Тренд-анализът може да се приложи към всички променливи хидроложки величини, характеризиращи режима на оттока.

За анализ на тенденциите в изменението на максималния отток могат да бъдат приложени различни подходи:

а) Тренд-анализ на отделни времеви редици. В най-простия случай се анализират поотделно регистрираните годишни максимуми в отделните станции.

б) Регионален анализ за конкретен район на базата на отделни станции. Тенденциите за всяка станция се картографират и се идентифицират съгласувани пространствени модели между данните в отделните станции [3 ÷ 6].

в) Съвместен анализ на тенденциите в хомогенни райони.

Съществуват редица статистически тестове за тренд-анализ. Могат да бъдат използвани параметрични или непараметрични тестове. Параметричните тестове се използ-

зват за независими данни, съответстващи на нормално разпределение (Student's t test, Worsley likelihood ratio test и др.). Те се считат за по-мощни и чувствителни за откриване на значими тенденции, отколкото са непараметричните тестове, особено при малък брой данни. Най-широко използваният параметричен тест за тренд-анализ е простата линейна регресия.

Непараметричните тестове се прилагат при независими данни, без да се приема предварително видът на разпределение (Pettit's test, Mann–Whitney U test, Mann–Kendall (МК) test и др.).

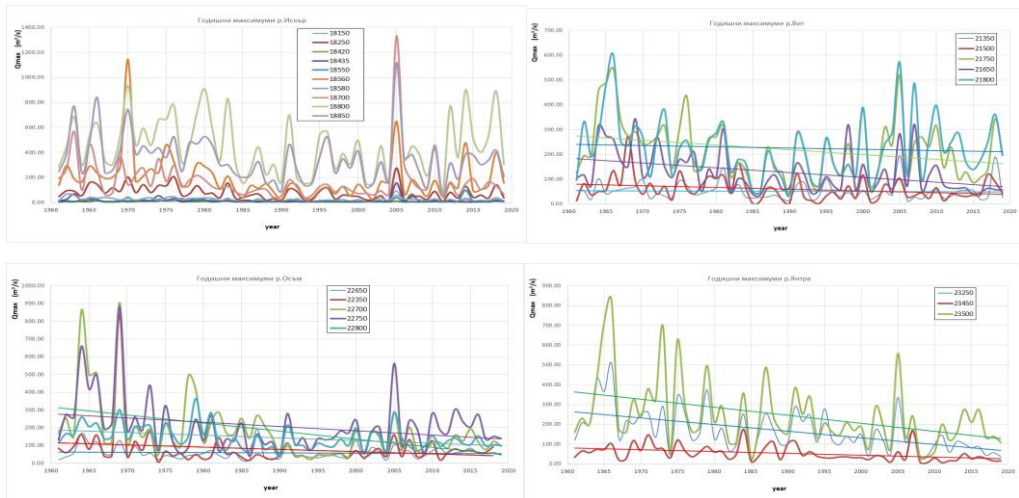
### 3.2. Допълнителен анализ за изменение на режима на високите води

Към тренд-анализа могат да бъдат използвани допълнителни инструменти за по-добро разбиране на промените в режима на високите води. Периодът на наблюдения би могъл да бъде екстраполиран, като се използват допълнително исторически данни за наводненията в миналото. Режимът на високите води обикновено се колебае десетилетия и векове. „Прозорец“ на наблюдение [7, 8] е подход, при който се следи дали този период е по-дълъг от периода на наблюдение, защото флуктоациите могат да се разглеждат като тенденция [9 ÷ 11]. Често е по-добре при анализа да се разглежда наличието на богати и бедни на високи води периоди, вместо една обща тенденция. Друг подход за анализ е включването само на фиксиран брой събития, които са над определен праг, което е особено полезно при анализ на честотата на наводненията [12, 13].

### 3.3. Тренд-анализ на режима на високите води в Дунавския басейн

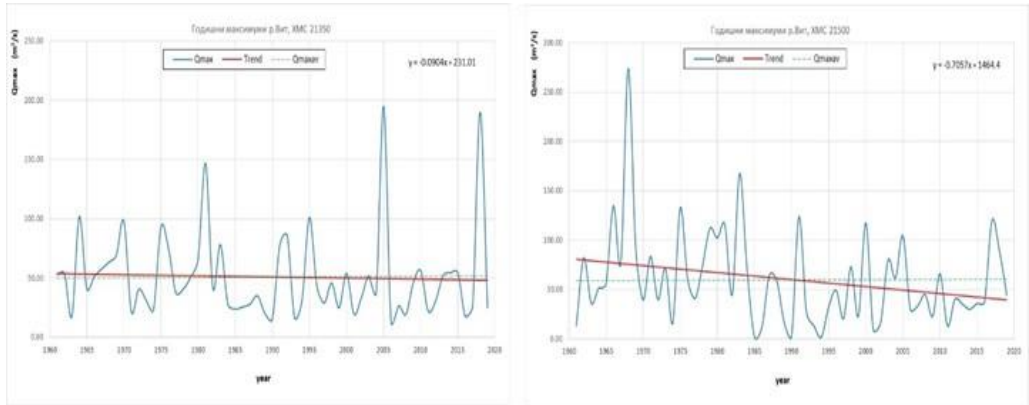
а) Искър, Вит, Осъм и Янтра

За обща оценка на измененията в режима на високите води в Дунавския басейн е приложен тренд-анализ на отделни времеви редици чрез линейна регресия. В обща графика (фиг. 2) са представени ходографите на годишните максимуми към избраните ХМС в поречията на Искър, Вит, Осъм и Янтра.



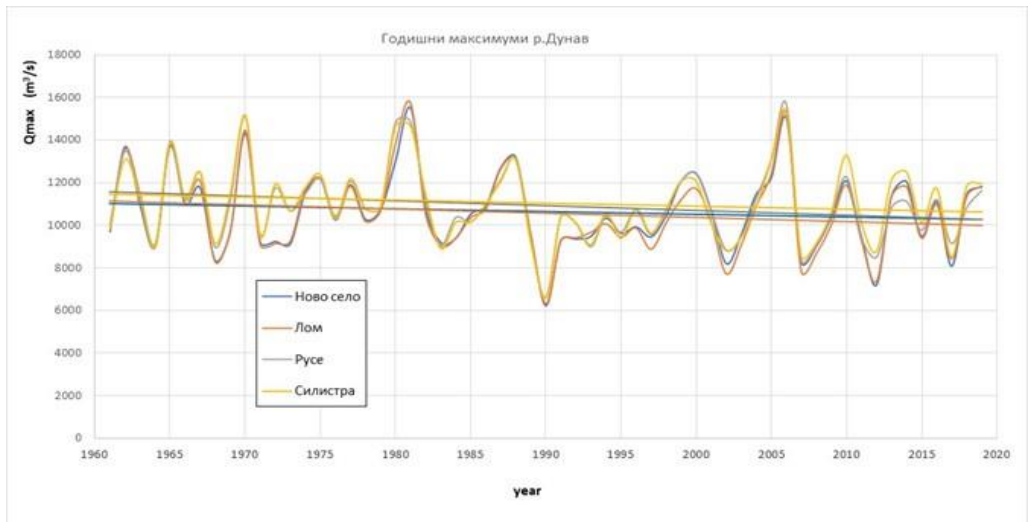
Фиг. 2. Ходографите на годишните максимуми на регистрираните водни количества към избраните ХМС в поречията на Искър, Вит, Осъм и Янтра

Като следваща стъпка е извършен тренд-анализ по отделно за всяка станция в поречието на Искър, Вит, Осъм и Янтра с цел съпоставка на трендовете. На фиг. 3 като пример е показан анализът за две от станциите в поречието на Вит.



**Фиг. 3. Ходографи и тренд на годишните максимуми за река Черни Вит, с. Черни Вит, ХМС 21350 и река Капеница, с. Бежаново, ХМС 21500**

б) Река Дунав:



**Фиг. 4. Ходографи на годишните максимуми на регистрираните водни количества към избраните станции по река Дунав**

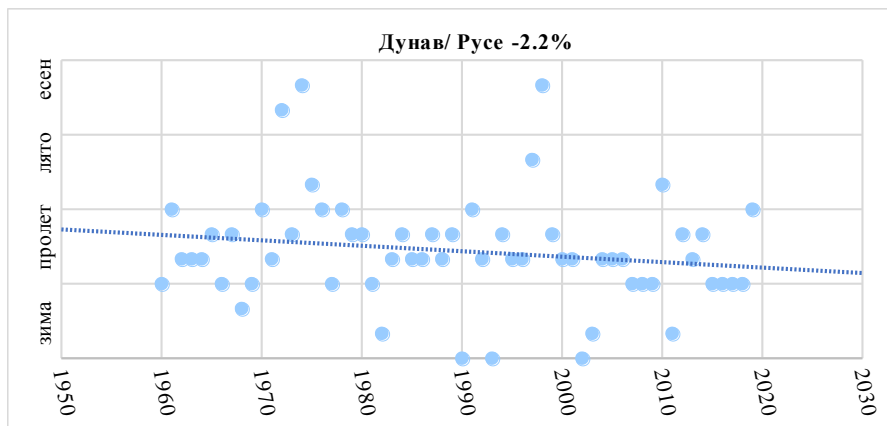
На фиг. 4 са представени ходографите на годишните максимуми на регистрираните водни количества към избраните станции по река Дунав. Извършен е тренд-анализ по отделно за всяка станция по река Дунав. В табл. 4 е направено обобщение на анализа за отделните станции.

**Таблица 4. Тренд-анализ за поречия Искър, Вит, Осъм, Янтра и Дунав**

Поречие	ХМС	Река	Местоположение	Тренд	Ъглов коефи- циент	Наклон
ИСКЪР	18150/107	Суша река	с. Бойковец	низходящ	0.08	175.4
	18250/83	Бебреш	с. Своде	низходящ	1.0105	134.7
	18420/98	Владайска река	София кв. "Княжево"	низходящ	0.0336	178.1
	18435/100	Банкенска река	София кв. "Иваняне"	низходящ	0.1329	172.4
	18550/108	Малки Искър	Етрополе	низходящ	0.0211	178.8
	18560/113	Малки Искър	с. Своде	низходящ	2.3856	112.7
	18580/117	Златна Панега	с. Петревене	низходящ	0.296	163.5
	18700/101	Искър	Нови Искър	низходящ	1.2739	128.1
	18800/116	Искър	с. Кунино/Роман	низходящ	1.2956	127.7
	18850/118	Искър	с. Ореховица	низходящ	2.8605	109.3
ВИТ	21350/52	Черни Вит	с. Ч. Вит	низходящ	0.0904	174.8
	21500/89	Каменица	с. Бежаново	низходящ	0.7057	144.8
	21650/51	Вит (Бели Вит)	Тетевен	низходящ	1.9505	117.1
	21750/54	Вит	с. Садовец/с. Крушовица	низходящ	1.9111	117.6
	21800/55	Вит	с. Ясен/с. Дисевица	низходящ	0.5146	152.8
ОСЪМ	22350/60	Бели Осъм	гр. Троян, м. Василевска	низходящ	1.2353	129.0
	22650/57	Осъм (Ч. Осъм)	с. Ч.Осъм, м. Стояновска	низходящ	0.1601	170.9
	22700/58	Осъм	гр. Троян	низходящ	4.5217	102.5
	22750/64	Осъм	Ловеч	низходящ	2.4264	112.4
	22800/413	Осъм	с. Изгрев	низходящ	1.4990	123.7
ЯНТРА	23250/71	Видима	гр. Севлиево	низходящ	3.3466	106.6
	23450/72	Росица	с. Валеци	низходящ	0.9473	136.6
	23500/69	Росица	гр. Севлиево	низходящ	4.0539	103.9
ДУНАВ	Дунав	Ново село	833 km преди Чермо море	низходящ	13.141	94.4
	Дунав	Лом	743.3 km преди Чермо море	низходящ	19.587	92.9
	Дунав	Русе	495.6 km преди Чермо море	низходящ	22.536	92.5
	Дунав	Сицистра	375.5 km преди Чермо море	низходящ	14.259	94.0

### 3.4. Промени в сезонността на годишните максимуми 1960 – 2019 г.

На фона на редица антропогенни намеси по течението на р. Дунав в българския участък се потвърждава очакваната във връзка с покачването на температурата на въздуха тенденция към изместване на пролетния годишен максимум на оттока към по-ранна пролет, илюстрирана за гр. Русе на фиг. 5.



Фиг. 5. Сезонност на годишните максимуми 1960 – 2019 г., р. Дунав, гр. Русе

В табл. 5 са обобщени установените изменения в сезонността на годишните максимуми за периода 1960 – 2019 г. Тенденцията е очаквана във връзка с повишаване на температурата на въздуха, което води до подхранване на реките от снеготопене по-рано. Изместването на сезонността е ясно изразено в поречията на р. Вит и р. Янтра, където от ранни летни и късни пролетни, годишните максимуми в последните декади се регистрират като пролетни и ранни пролетни.

При съпоставяне на резултатите от тренд-анализа за сезонност в два съседни водосбора – този на р. Осъм до гр. Троян и този на р. Росица до гр. Севлиево се наблюдава сходна тенденция за незначителни изменения в сезонността на максимумите, регистрирани в по-ниските части на водосборите: ХМС на р. Осъм, гр. Ловеч и ХМС р. Росица, гр. Севлиево.





В горните участъци на същите съседни водосбори обаче картината е различна. При аналогични фактори за промяна на режима на високите води водосборите проявяват различна чувствителност. Сравнението на тенденциите за станции: ХМС р. Черни Осъм, с. Черни Осъм и ХМС р. Росица, с. Валевици, намиращи се на сравнително еднакви надморски височини и със съизмерими водосбори, показва несходство в промяната на режима (без промяна или слабо забавяне на максимума) – изместване на сезонността от пролет към лято в поречието на р. Черни Осъм и обратно, тенденция за „избързване на максимума“, движение към по-ранна пролет с тренд с около 2.7% за водосбора на р. Росица при с. Валевици. Освен с особености в атмосферните процеси, повлияни от спирането на въздушни маси от връх Ботев, това може да се обясни преди всичко с релефа на Централния Балкан, където близо една трета от дължината на речната мрежа до ХМС Черни Осъм е добре защитена в котловини с ориентация изток-запад и снежната покривка по склоновете на водосбора се запазва по-дълго.

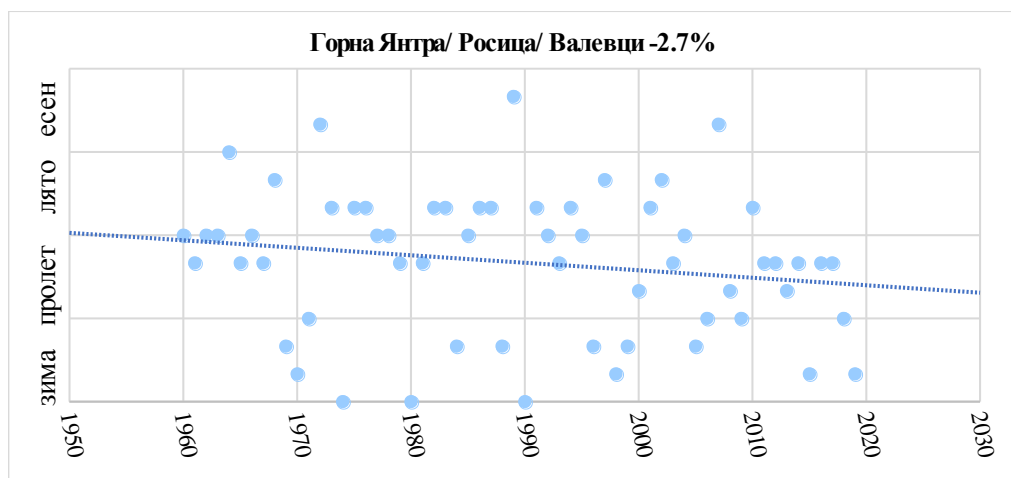
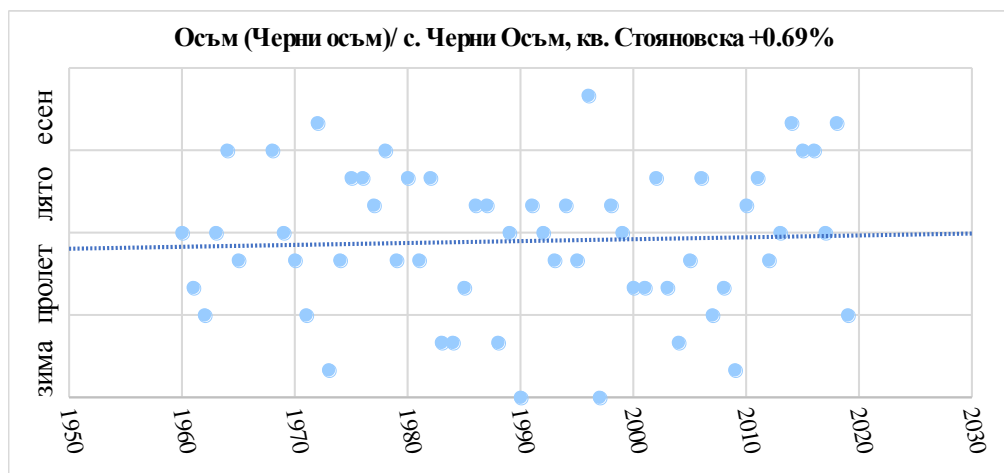
**Таблица 5. Изменение в сезонността на год. максимуми за периода 1960 – 2019 г.**

Река	Пункт с измервания	Ср.надм. височина, m	Площ на водосбор, km <sup>2</sup>	Сезон от >>>>> към		Тренд %/год.
Дунав	Ново Село	26,75	584900			-0,7
	Лом	22,65	588860			-1,24
	Русе	11,8	669900			-2,2
	Силистра	6,27	685700			-1,8
Искър	р. Суха река – с. Бойковец	1098	21,2			-2,8
	р. Бебреш – с. Своге	632	492			-0,28
	р. Владайска – кв. Княжево, София	1354	48,93			-1,5
	р. Банкенска – кв. Иवानяне, гр. Баня	791	54,3			0,7
	р. Малки Искър – гр. Етрополе	1164	54,3			-1,0
	р. Малки Искър – с. Своде	654	1138			-6,07
	р. Панега – с. Петревене	338	180,1			-2,06
	р. Искър – гр. Нови Искър	945	3662			+3,7
	р. Искър – с. Роман	831	6697			-3,6
р. Искър – с. Ореховица	706	8366			-0,4	
Вит	р. Черни Вит – с. Черни Вит	1032	159,2			-1,4
	р. Каменица – с. Бежаново	366	486			-1,4
	р. Бели Вит – гр. Тетевен	1007	306			-0,89
	р. Вит – с. Крушовица	595	1750			-2,0
	р. Вит – с. Дисевица	489	2407/2236			-2,87
Осъм	р. Бели Осъм – гр. Троян, кв. Василеска	1008	187,3			-1,36
	р. Черни Осъм – с. Черни Осъм, кв. Стойновска	1338	138,3			+0,69
	р. Осъм – гр. Троян, кв. Велчовска	1034	458,1			-1,9
	р. Осъм – гр. Ловеч	723	908,5			+0,62
	р. Осъм – с. Изгрев	412	2154			-2,33
Горна Янтра *	р. Росица, Валеци	978	101			-2,7
	р. Росица, гр. Севлиево	604	958			-0,13
	р. Видима, гр. Севлиево	659	556,8			-2,3

Забележка: \* Горна Янтра – р. Росица и р. Видима, до гр. Севлиево

Легенда:

	Ранно лято
	Късна пролет
	Пролет
	Ранна пролет



**Фиг. 6. Чувствителност към промяна в сезонността на годишните максимуми**

В пунктовете във водосбора на р. Искър се наблюдава в различна степен изразена тенденция към промяна в сезонността „избързване на максимума“, изместване от лято към пролет. В периода 1960 – 2019 г. най-силен (над 6%) е този тренд във водосбора към ХМС р. Малки Искър – с. Своде, от лято към ранна пролет.

Единствено изключение прави станцията при гр. Нови Искър, където се проявява обратна тенденция – на забавяне на максимума от пролет към лято с тренд 3.7%. Това е типичен пример за антропогенна промяна в режима на високите води и може да се обясни с урбанизацията в гр. София и района и с управлението на язовирите Искър, Пасарел, Панчарево.

#### **4. Прогнозиране на бъдещи тенденции**

За разлика от откриването на промени в оттока въз основа на времеви редове от систематични исторически данни, съществуват подходи, които изследват чувствителност-

та и реакцията на водосборите чрез симулации. Идеята при тях е да се проследи влиянието на причинно-следствените връзки и процеси чрез възпроизвеждане на различни сценарии. В този смисъл сценарийният анализ спомага за разбиране на процесите.

#### 4.1. Сценарийен анализ

Моделирането по сценарии предполага разбиране на механизмите за това как природните фактори, обуславящи хидрологичния модел, заедно с антропогенните (хидротехническите съоръжения и земеползването) и промените в климата засягат оттока и променят режима на наводненията. Тъй като валежите и топенето на сняг са основните двигатели на речните наводнения, симулациите неизменно включват подходящи хидрологични модели валеж-отток.

Подходът се основава на хидрологични знания, получени в миналото, за да предложи прогнози за бъдещето, въз основа на сценарии за въздействия. Терминът „сценарий“ се използва често в науките за околната среда. Оригиналната концепция за сценарийен подход е била приета от корпоративния свят в края на 60-те години [14]. Предизвикателството и до сега е в определяне на степента на несигурност на прогнозите, необходими за планиране. Ето защо при сценарийния подход е особено важно да се отдели това, което е предсказуемо, от това, което не е предсказуемо. Следвайки тази идея, сценариите, представящи възможното бъдеще, трябва да се различават от гледна точка на това, което не е предсказуемо, но предвидимите аспекти трябва да са еднакви във всички тях.

В случая, предсказването на оттока изисква актуални сценарии за климатични промени, симулирани върху подходящи пространствено и времево глобални и регионални климатични модели, за да получим необходимите климатични входни данни за симулиране на предварително калибрираните и валидирани по измервания хидроложки TUW модели валеж-отток [21].

За да изследваме промени в климата, следва да изберем референтен период, т.е. исторически период, за който са изчислени климатичните норми за температура и валежи. Резултатите за този период се използват за сравнение с получените резултати от симулациите за бъдещите периоди по различните климатични сценарии. Аналогична е ролята на референтния период в сценарийния анализ при хидроложките модели. За оценка на потенциалните влияния на климатичните промени сигналите за климатичната промяна се извличат от сравнение между две симулации: първата – в референтен период, а втората – симулация по климатичен сценарий. Това е т.нар. подход за анализ „делта-промяна“ (**delta change**).

Като алтернатива съществува подходът „**bias correction**“. Този подход, обаче, има слабост, че не взема предвид корелацията между температура, валеж и изменения във времевото разпределение на валежа, което би оказвало съществено влияние върху моделирането на оттока.

#### 4.2. „Замяна“ на времето с пространство

Идеята на подхода Trading space for time е да се изходи от пространствената специфика на речния басейн, от ландшафта и земеползването. Налична е широка гама от хидрологични модели за симулиране на промените в земното покритие, препоръчва се структурата на модела и параметризацията да отчитат различни фактори и обратни връзки, свързани с промяната. Сценариите за използване на земята/промяна в земното покритие могат да направят оценка на историческите промени във водосборния басейн – ка-

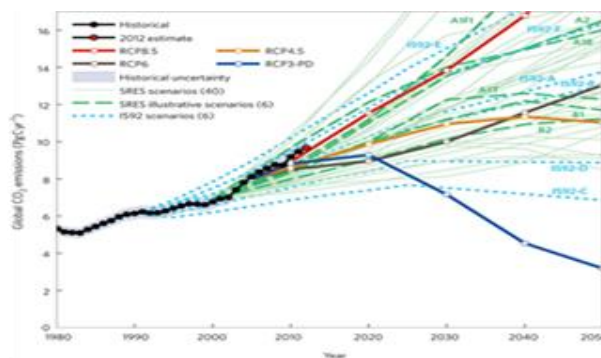
то например чрез сравняване на режима на наводнения в басейна на Одер, свързано с различни сценарии на земеползване, а именно земеползване, извлечено от исторически карти от 1780, както и от 2001 г. [15]. Могат да се описват бъдещи, хипотетични промени. Niehoff [16] присвоява хипотетично променени категории на земеползване към всяка клетка на разпределения модел на водосбор и анализира ефекта от увеличаване на градската среда върху обема и пика на високите вълни. По подобен начин Salazar [17] направи оценка на ефекта от залесяването върху наводненията в три средно големи водосбора в Испания, Германия и Австрия.

Примерите в литературата показват, че убедителното изследване на сценарии, интерпретиращи промени в земеползването, изисква базиране на процеси, често прости по структура модели, които са в състояние да отчетат основните характеристики на взаимодействията почва-растителност-атмосфера.

### 4.3. Синтез на подходите

Оценката на възможните промени в подхранването на повърхностния отток поради промяна на климата е затруднена във връзка с несигурностите, които присъстват в задачата. Съществуват несигурности, свързани с все още недостатъчно задълбоченото познаване на процесите в климатичната система; други, свързани с използваните сценарии; несигурности, свързани с особеностите на глобалния климатичен модел, на който е базиран регионалният модел и такива, свързани със самия регионален модел. Изборът на хидроложки модел, за да бъдат направени оценки на оттока, добавя несигурност, помалка в сравнение с тази от климатичните модели, но при наличие на достатъчно данни за калибриране. Ето защо, препоръчително е режимът на оттока в условията на климатични промени, като сложен научен проблем, да бъде изследван с множество методи, които да се различават по данни и хипотези. Като пример, методи за тренд-анализ, сценарийен анализ и Trading space for time подходи.

### 4.4. Прогнози за промени в режима на наводненията по сценарий RCP8.5



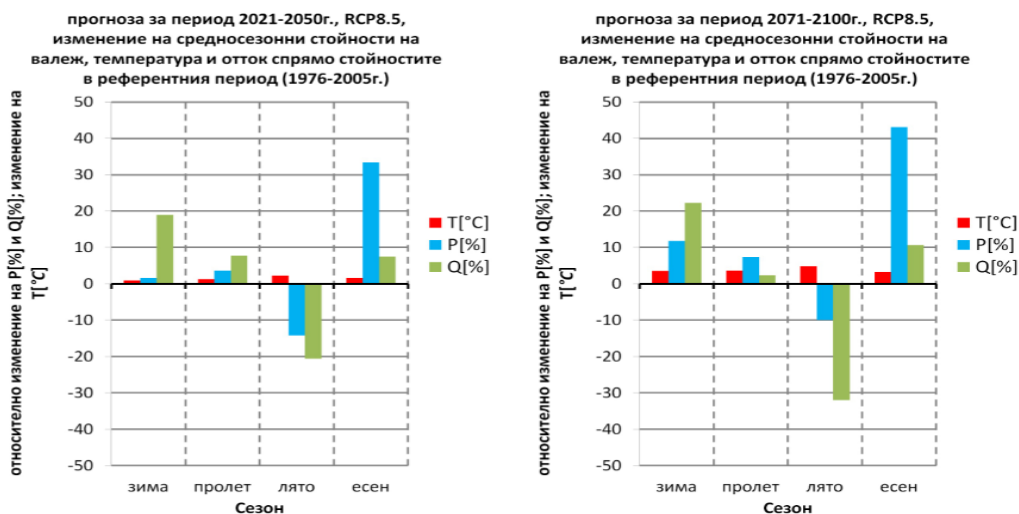
Фиг. 7. Сравнение между въглеродните емисии по сценарии IS92, SRES и RCP към 2050 г. Червената точка показва оценката на емисиите към 2012 г., която е най-близо до сценариите RCP8.5 и IS92-F [18]

Всеки климатичен сценарий допуска различна траектория на възможно бъдещо развитие в резултат на антропогенен натиск. Затова включените сценарии в съответния

набор от сценарии, взети заедно, покриват широка част от несигурността за бъдещите емисии, която нараства и се разтваря като ветрило към по-далечните бъдещи хоризонти. Фиг.7 илюстрира тенденциите в измерените емисии, които се доближават до сценария RCP 8.5 – най-неблагоприятния, с нарастващи концентрации на парникови газове сценарий. В статията се обръща внимание на някои тенденции в режима на оттока и по-специално на високите води в Дунавския басейн по този сценарий към средносрочен (2021 – 2050) и далечен хоризонт (2071 – 2100). Прогнозните относителни изменения (на температури, валежи и отток) за даден период се отнасят за „средна” година през периода.

#### 4.4.1. Относително изменение на средни за сезона стойности

Анализът Delta change на относителните сезонни изменения на речния отток на база на симулирани средно дневни стойности е агрегиран към средно месечни и сезонни стойности, както следва: *зима* (XII, I, II) *пролет* (III, IV, V) *лято* (VI, VII, VIII) *есен* (IX, X, XI).



Фиг. 8. Изменение на средни за сезона стойности сценарии по RCP 8.5 към пункт с. Крушовица [21750], Вит

Графиките на фиг. 8 илюстрират очакваните тенденции във водобора на р. Вит в средносрочен и дългосрочен период за постепенно значително намаляване на оттока през лятото (до 32% редукция), за сметка на значителното му увеличаване през зимата, като особено изразена тенденция за увеличаване на водните количества в зимния сезон се наблюдава в далечния хоризонт 2071 – 2100 – до 23% повишение.

Тенденцията за значително увеличаване на валежите през есента се потвърждава за всички изследвани водосбори, както и относителното повишаване на оттока през зимата. Особено силна е тенденцията за увеличение на зимния отток към далечния хоризонт във водосборите на р. Осъм (Ловеч) до 80% и на р. Искър (Роман) до 40%. За р. Черни Осъм по-значително увеличение (52%) се очаква през пролетта, а за р. Осъм (Троян) се очаква увеличение на водните количества не само през зимата (60%), а също и през пролетта (38%).

#### 4.4.2. Прогнози за промени във валеж и отток с различна повторяемост

Чрез анализ на максимумите от получените симулирани по климатичен сценарий RCP 8.5 среднодневни валежи и отток за бъдещи хоризонти се прави прогноза за относителната промяна в екстремумите на валежите и оттока с различна обезпеченост.

Средносрочната прогноза (2021 – 2050) очертава в поречието на р. Искър относително увеличение на водните количества Q20, Q100 и Q1000, най-голямо, до 15 – 17%, към пункт с. Ореховица [№ 18850]. В поречието на Вит се очаква обратна тенденция – на относително редуциране на стойностите на Q20, Q100 и Q1000, а в поречието на Осъм присъстват и двете тенденции в различните подбасейни. В далечния хоризонт (2071 – 2100) всички изследвани водосбори имат прогноза за относително намаляване на оттока с характерна повторяемост Q20, Q100 и Q1000, най-силно това е изразено в поречието на Осъм, таблица 6.

**Таблица 6. RCP8.5 прогнози за относително изменение на валеж и отток с характерна повтаряемост в периодите 2021 – 2050 и 2071 – 2100**

(където Q20 е отток с повтаряемост 1/20 г., P20 – аналогично, валеж с повтаряемост 1/20 г.)

Водосбор към ХМС	RCP8.5 / 2021-2050					
	P20	Q20	P100	Q100	P1000	Q1000
Нови Искър [№18700], Искър	+3.8%	+1.1%	+5%	0.0	+4.1	-1.1%
Роман [№18800], Искър	+3.9%	+11%	+4.6%	+12.4%	+5.3%	+13.7%
с. Ореховица [№18850], Искър	+1.3%	+15.4%	+1.2%	+16.3%	+1.1%	+17.1%
с. Крушовица [№21750], Вит	-3.0%	-7.4%	-5.1%	-8.8%	-6.85%	-9.9%
с. Дисевица [№21800], Вит	-3.40%	-5.8%	-5.6%	-7.3%	-7.4%	-8.4%
с. Ч. Осъм, [№22650], Осъм (Ч.Осъм)	+10.2%	+4.4%	+10.3%	+7.4%	+10.4%	+9.9%
Троян, кв.Велчовска [№22700], Осъм	+18.8%	+5.3%	+20.0%	+6.0%	+21.0%	+6.6%
Ловеч [№22750], Осъм	+14.5%	-8.9%	+14.8%	-11.5%	+15.0%	-13.4%
с. Изгрев [№22800], Осъм	+17.8%	-12.6%	+19.9%	-13.1%	+21.6%	-13.4%
Водосбор към ХМС	RCP8.5 / 2071-2100					
	P20	Q20	P100	Q100	P1000	Q1000
Нови Искър [№18700], Искър	+3.7%	-16.4%	+2.9%	-5.2%	+2.2%	-4.2%
Роман [№18800], Искър	+4.6%	-6.3%	+2.1%	-5.8%	0.0	-5.3%
с. Ореховица [№18850], Искър	+2.9%	+2.1%	0.0	+5.4%	-3.3%	+8.5%
с. Крушовица [№21750], Вит	0.0	-22.0%	-2.8%	-21.9%	-5.4%	-21.8%
с. Дисевица [№21800], Вит	0.0	-19.3%	-3.4%	-20.3%	-5.9%	-21.1%
с. Ч. Осъм, [№22650], Осъм (Ч.Осъм)	+5.1%	-17.8%	+2.9%	-16.8%	+1.1%	-15.9%
Троян, кв.Велчовска [№22700], Осъм	+11.4%	-23.5%	+9.3%	-24.6%	+7.4%	-25.6%
Ловеч [№22750], Осъм	+8.9%	-33.00%	+5.6%	-36.7%	+2.9%	-39.4%
с. Изгрев [№22800], Осъм	-5.6%	-34.9%	-8.7%	-35.8%	-11.3%	-36.4%

#### 4.4.3. Оценка на несигурността на прогнозите

За представените водосбори към ХМС тенденциите в изменението на оттока са потвърдени от независими прогнози за изменение на средногодишния годишния отток по сценариен анализ с TUW модел валеж-отток и с Trading space for time модел на Turc (синтез на подходите). Прогнозата включва несигурността от събждането на самия климатичен сценарий RCP8.5.

### 5. Изводи и препоръки

За обща оценка на измененията в режима на високите води в Дунавския басейн е приложен тренд-анализ на отделните времеви редици чрез линейна регресия. Като изходна информация са използвани наличните до момента данни за регистрираните годишни максимуми към избраните 23 ХМС в поречието на Искър, Вит, Осъм и Янтра, както и към четирите избрани станции по река Дунав. Приетият период е 1961 – 2019, 59 г. Данните от станциите са приведени към непрекъснати редици в еднороден период на наблюдение, като данните за станциите, в които частично липсват наблюдения, или станциите, които са закрити преди 2019 или открити след 1961 г. са допълнени с помощта на статистически и регресионни методи.

Наблюдава се обща низходяща тенденция на изменение на високите води, която се отнася за всички разгледани пунктове. Трендовете са низходящи за всички изследвани станции, като наклоните са различни и варират от ъглов коефициент – 0.02 до – 13 ( $102^0$  до  $178^0$ ) за вътрешните реки и от ъглов коефициент – 4.5 до – 22.5 ( $92.5^0$  до  $94^0$ ) за река Дунав. Най-полегат е трендът за горното течение на Малки Искър, горното течение на Вит (Черни Вит) и Владайска (горно течение), най-стръмен е за горното течение на Росица (Видима и Росица при Севлиево), в горното течение на Осъм (Осъм при Троян) и в поречието на Вит (Бели Вит при Тетевен и Вит при Садовец/с. Крушовица). За река Дунав трендът варира слабо и е почти еднакъв във всички станции.

Промените в сезонността, обусловени от по-ранното подхранване на реките от снеготопене, във връзка с повишаване на температурите на въздуха, са ясно изразени в поречието на Вит и Янтра: от ранни летни и късни пролетни годишните максимуми се изместват към пролетни и ранни пролетни. На фона на редица антропогенни намеси по течението на р. Дунав, в българския участък се потвърждава същата тенденция към изместване на пролетния годишния максимум на оттока към по-ранна пролет.

Средносрочната прогноза (2021 – 2050) по климатичен сценарий RCP 8.5 очертава в поречието на р. Искър относително увеличение на водните количества Q20, Q100 и Q1000. В поречието на Вит се очаква обратна тенденция – на относително редуциране, а в поречието на Осъм присъстват и двете тенденции в различните подбасейни. В далечния хоризонт (2071 – 2100) всички изследвани водосбори имат прогноза за относително намаляване на оттока с характерна повторяемост, най-силно това е изразено в поречието на Осъм.

На следващ етап на това изследване анализът ще се разшири като:

- бъде взето предвид регулирането на оттока, като се изследва влиянието на изградените язовири върху тенденциите на изменение на максималния отток;
- бъдат тествани редиците за нормалност на разпределението, независимост и хомогенност;

- бъде извършена оценка на тенденциите с допълнителни подходи – изборът на времева рамка, регулируемо осредняване по различни периоди (пъlzящи средни или медианни стойности) и изследване за наличието на богати и бедни на високи води периоди;
- бъде приложен тренд-анализ чрез подходящ непараметричен тест (напр. Mann–Kendall (МК) test) и бъде направена оценка на тенденциите.

## Благодарности

В настоящата публикация са представени резултати от изследвания по договор БН-241/20, финансиран от Центъра за научни изследвания и проектиране при УАСГ.

## ЛИТЕРАТУРА

1. *J. Hall, B. Arheimer, M. Borga, R. Brázdil, P. Claps, A. Kissl, 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/](http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/18/2735/2014/), doi:10.5194/hess-18-2735-2014.

2. *Merz, B., Aerts, J., Arbjerg-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.

3. *Blöschl, G., Merz, R., Parajka, J., Salinas, J., Viglione, A.* Floods in Austria, in: *Changes in Flood Risk in Europe*, edited by: Kundzewicz, Z. W., IAHS Press, Wallingford, 169–177.

4. *Douglas, E. M., Vogel, R. M., Kroll, C. N.* Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. // *J. Hydrol.*, 240: 90–105, doi:10.1016/S0022-1694(00)00336-X.

5. *Yue, S., Wang, C. Y.* Regional streamflow trend detection with consideration of both temporal and spatial correlation, // *Int. J. Climatol.*, 22: 933–946, doi:10.1002/joc.781, 2002.

6. *Renard, B., Lang, M.* Use of a Gaussian copula for multivariate extreme value analysis: some case studies in hydrology, // *Adv. Water Resour.*, 30: 897–912, doi:10.1016/j.advwatres.2006.08.001, 2007.

7. *E Parent, J Bernier.* Bayesian POT modeling for historical data. // *Journal of hydrology*, 2003 – Elsevier.

8. *Macdonald, N.* Reassessing flood frequency for the River Trent, central England, since AD 1320, // *Hydrol. Res.*, 44: 215–233, doi:10.2166/nh.2012.188, 2013.

9. G. Blöschl, M. Sivapalan. Scale issues in hydrological modelling: A review, April – May 1995, <https://doi.org/10.1002/hyp.3360090305>.

10. Demetris Koutsoyiannis, Alberto Montanari. Statistical analysis of hydroclimatic time series: Uncertainty and insights, 22 May 2007, <https://doi.org/10.1029/2006WR005592>.

11. Chen, Z., Grasby, S. E. Impact of decadal and century-scale oscillations on hydroclimate trend analyses, // J. Hydrol., 365: 122–133, doi:10.1016/j.jhydrol.2008.11.031, 2009.

12. Kon, O. L. II. LC: 86–18869 Cit. NO. ISBN 0-8018–3460-0 (alk paper).

13. Viglione, A., Merz, R., Salinas, J. S., Blöschl, G. Flood frequency hydrology: A Bayesian analysis, // Water Resour. Res., 49: 675–692, doi:10.1029/2011WR010782, 2013.

14. Van der Heijden, K. *Scenarios*. The art of strategic conversation. New York, NY: Wiley, 1996.

15. Ad P. J. de Roo, Ben Gouweleeuw, Jutta Thielen, Jens Bartholmes, Paolina Bongioannini-Cerlini, Ezio Todini, Paul D. Bates, Matt Horritt, Neil Hunter, Keith Beven, Florian Pappenberger, Erdmann Heise, Gdaly Rivin, Michael Hils, Anthony Hollingsworth, Bo Holst, Jaap Kwadijk, Paolo Reggiani, Marc Van Dijk, Kai Sattler & Eric Sprokkereef. Development of a European flood forecasting system, Pages 49-59 | Received 17 Jan 2003, Accepted 17 Jan 2003, <https://doi.org/10.1080/15715124.2003.9635192>.

16. D. Niehoff, U. Fritsch, A. Bronstert. Land-use impacts on storm-runoff generation: scenarios of land-use change and simulation of hydrological response in a meso-scale catchment in SW-Germany, // Journal of hydrology, 2002, Elsevier.

17. R. F. Salazar, N. M. Dotson, S. L. Bressler. Content-specific fronto-parietal synchronization during visual working memory, CM Gray – Science, 2012 – [science.sciencemag.org](http://science.sciencemag.org).

18. Glen, P. P. *et al.* The challenge to keep global warming below 2 °C. // In: Nature Climate Change, 2013, № 3, 4 – 6.

19. Merz, R., Blöschl, G., Humer, G. National flood discharge mapping in Austria, Nat. Hazards, 46: 53–72, doi:10.1007/s11069-007-9181-7, 2008.

1. Donald, W. Meals, Jean Spooner, Steven A. Dressing, Jon B. Harcum. 2011, Statistical analysis for monotonic trends, Tech Notes 6, Developed for U.S. Environmental Protection Agency by Tetra Tech, Inc., Fairfax, VA, 23 p.

20. <https://cran.r-project.org/web/packages/TUWmodel/index.html>, poseten na 28.01.2021.

# TRENDS OF FLOOD REGIME CHANGES IN THE BULGARIAN PART OF THE DANUBE BASIN CORRESPONDING TO THE CLIMATE CHANGE

M. Mavrova-Guirguinova<sup>1</sup>, M. Pechinova<sup>2</sup>, D. Pencheva<sup>3</sup>, D. Yolova<sup>4</sup>

*Keywords: runoff, regime, floods, trend, climate change, forecasts*

## ABSTRACT

The positive trend observed in recent decades in the change of air temperature and precipitation distribution models raises reasonable questions about the reaction in the surface water regime in Bulgaria. In this paper, the term flood regime summarizes the frequency/variability and seasonality of the maximum discharges. The object of study are the Bulgarian border section of the Danube River with some of its tributaries on the territory of Bulgaria: Iskar, Vit, Osam, Yantra. A trend analysis of long term series (1961 – 2019) was applied to the observed river sections by linear regression to assess the flood regime changes and their seasonality. A general decreasing trend of change of the annual peak discharges could be asserted. The trend for the upper reaches of Malki Iskar, the upper reaches of Vit (Cherni Vit) and Vladayska (upper part) is the most sloping, while the upper reaches of Rositsa (Vidima and Rositsa till the town of Sevlievo) and the upper reaches of Osam River at the town of Troyan are the steepest. The trend for the Bulgarian part of Danube River varies slightly and is almost the same at all stations. The changes in seasonality caused by earlier river filling by snowmelt, related to rising air temperatures, are clearly presented for the Vit and Yantra river basins where the annual peaks move from early summer and late spring to spring and early spring.

The forecasting of future trends in runoff changes caused by climate change is made by scenario analysis and compared with the results obtained by the method of “replacing” time with space. Climate scenarios RCP 4.5 and RCP 8.5 in the medium (2021 – 2050) and long horizon (2071 – 2100) are studied. Based on delta change analysis, there are trends for relative seasonal changes in precipitation, temperature and runoff. Analyzing peaks of average daily precipitation and runoff, a forecast is made for relative change in the extreme precipitation and runoff with different variability.

---

<sup>1</sup> Maria Mavrova-Guirguinova, Assoc. Prof. Dr. Eng, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: margir\_fhe@abv.bg

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

<sup>3</sup> Denislava Pencheva, Dr. Eng, voluntary researcher, e-mail: dhpencheva@gmail.com

<sup>4</sup> Dayana Yolova, PhD Student, Dept. “Hydraulic, Irrigation and Drainage Engineering”, UACEG, 1 H. Smirnenski Blvd., Sofia 1046, e-mail: dayanayolova@yahoo.com