



## **Influence of climate change (by 2050) on the intensive rainfall on the territory of Bulgaria**

**Valery Spiridonov, Snezhanka Balabanova\***

*National Institute of Meteorology and Hydrology- BAS (NIMH- BAS),  
Tsarigradsko shose 66, 1784 Sofia, Bulgaria*

**Abstract:** The change of the intensive precipitation with a threshold above 10 mm has been investigated. This is done directly by determining the proportion of such rainfall from the future to the reference period. The Monte Carlo method has been used to test the sustainability of trends by identifying areas where rainfall is most commonly observed in all developments of the model's internal variability for the integration period. The climate change signal indicates an increase in precipitation where it prevails so far. The least affected area is Eastern Bulgaria, except Strandja Mountain. The most affected are West and Northwestern Bulgaria.

**Keywords:** intensive rainfall, climate changes

---

## **Влияние на климатичните промени (до 2050 г.) върху интензивните валежи на територията на България**

**Валери Спиридонов Снежанка Балабанова\***

*Национален Институт по Метеорология и Хидрология – БАН,  
бул. „Цариградско шосе 66“, 1784 София*

**Резюме:** Проучена е промяната на интензивните валежи с праг над 10 мм. за 6 часа. Това се прави директно, като се определи делът на такива валежи от бъдещето до референтния период. Методът „Монте-Карло“ е използван за тестване на устойчивостта на тенденциите чрез идентифициране на областите, в които валежите

---

\* snezana.balabanova@meteo.bg

най-често се наблюдават при всички развития на вътрешната вариабилност на модела за интеграционния период. Сигналът за изменението на климата показва увеличение на валежите там, където то доминира и досега. Най-слабо засегнатата област е Източна България, с изключение на Странджа планина. Най-засегнати са Западна и Северозападна България.

**Ключови думи:** интензивни валежи, климатичните промени

---

## 1. УВОД

В значителна част от изследвания на климатичните промени се акцентира върху общите промени на температурата и валежите. Отбелязва се и тенденция за нарастване на интензивните валежи, дори когато валежните суми като цяло намаляват. Когато тези изследвания се основават на симулации с глобални климатични модели (ГКМ) тяхната резолюция, която е от порядъка на 150-300 км, не позволява по-детайлно изследване на климатичните тенденции. За да се преодолее този недостатък се използват техники за уточняване на промените (downscaling). За целта се прилагат два подхода, статистически (Sunyer et al., 2015) или динамични с регионални климатични модели (ПКМ). В литературата втория метод често се означава като ‘dynamical downscaling’. При трях ПКМ се «захранват» чрез граничните условия от ГКМ, но имайки по-добра резолюция те позволяват да се отчетат повече детайли в изследвания регион. Има различни статистическите методи за downscaling, като аналогови, използващи връзки между циркулационните характеристики на различни метеорологични полета с приземните наблюдения, регресионен анализ, невронни мрежи, генератори на време. Обзор на тези методи е даден в Trzaska et al., 2014. Всички те са ограничени от гъстотата и честотата на наблюденията, чрез които се определят статистическите характеристики на изследвания елемент. Например, в България наблюдения на валежите на всеки 6 часа за достатъчно дълъг период (30 год.) се правят в 40 синоптични станции, Тази мрежа е недостатъчна за оценка на риска от наводнения в отделните водосбори. Оценка основана на 24 часови суми на валежите за периода 1961-2005 е дадена в Vocheva et al., 2009. За праг е избран денонощен валеж с количество над 30 мм. Сравнени са двата периода 1961-1990 и 1991-2005. Отбелязва се повече от 32% увеличение на валежите над посочения праг за втория период, като за топлото полугодие това увеличение достига 60%. Съобщава се за увеличение на такива валежи и в райони, където количеството валежи остават от порядъка и по-малки в сравнение с първия период. В настоящето изследване първият период е референтен, а промените през втория следва да намерят отражение в тенденциите на бъдещия период, което се отчита и тук. То е с по-малък процент и заради приетия по-рестриктивен праг от 10 мм за 6 часа. В тази работа целта е да се оцени изменението на интензивните валежи разпределени в 1088 водосбора. В този смисъл използването на регионален климатичен модел с

достатъчно гъста мрежа дава повече възможности за изследване на изменението на интензивните валежи в следствие на климатичните промени. Изследванията са проведени с климатичния модел ALADIN, успешно използван в проекта от 6-та рамкова програма CECILIA (Belda et al., 2015; Farda et al., 2010; Skalák et al., 2014; Spiridonov et al. 2005). Неговата резолюция е 10 км, а изходът му е на 6 часа. Това дава възможност за оценка на тези валежи с използване на 6 часов интервал.

## **2. МЕТОД НА ИЗСЛЕДВАНЕТО**

### **2.1. Обща постановка**

Климатичният експеримент (симулация) е продължително интегриране на климатичния модел до установяване на устойчив режим на промени в атмосферната циркулация, което се предполага да се случи за период до 30 години. Под промени в атмосферната циркулация тук се разбира промени във възникването и развитието на системите от циклони и антициклони водещи до характерните зимно-летни периоди. При това, неявно се предполага ергодност на моделите. Това означава, че ако външните параметри не се менят, то каквото време може да се случи, то се случва в този 30 годишен период. Продължаването на интегрирането няма да доведе до нищо ново при съответния сценарий за промяната на парниковите газове. Въпреки че климатичните и прогностичните модели са много сходни, климатичният експеримент е задача без начални данни, за разлика от прогнозата на времето. Математическото естество на задачата налага да се тръгне от някакви начални условия, но те са произволно взети и след интегриране от една-две години (т.н. Spin up), атмосферата влиза в режим съответстващ на външните условия и състав на атмосферата. При достатъчно продължителен период на интегриране, какъвто е възприетият от Световната метеорологична организация (СМО) 30 годишен период, се предполага, че атмосферната циркулация ще е преминала през различните възможни по-чести или по-редки състояния и ще се е формирал климат, съответстващ на заложените външни и вътрешни фактори, т.е. получили са се „климатичните норми“. Ако интегрираме системата за 30 години при нивото на парниковите газове през периода 1961-1990, „климатът“ който ще намерим би трябвало да прилича на реално осъществилия се. Ако моделът е прецизен и параметризиациите са релевантни, то статистическите разпределения на случаите с различните стойности на температура, валеж, вятър и други метеорологични елементи от климатичната симулация трябва да съответстват на случилите се в действителност.

На практика, това не е така и за да се оцени ефектът от промените за бъдещия период, се използват симулации за т.н. „референтен период“, отразяващ състоянието до момента. За референтен период съгласно СМО е взет периода

1961-1990г. Това е условно, доколкото симулацията зависи от заложените парникови газове, а не от началните условия, както бе отбелязано. На практика се използват стойности отразяващи глобалните концентрации измервани около и малко след 2000 г. Иначе казано, референтният период е симулация на зададен изтекъл климатичен период. Някои хидроложки модели изискват ежедневни данни и тогава се прилагат методи за т.н. bias correction, въпреки че с това се модифицира и функцията на плътността на разпределение (probability density function – PDF). Прилаганите техники могат да се обобщят, като определяне на PDF от наблюденията или друг еталон, напр. re-анализи, бази данни, като CRU и E-OBS, (вж. адресите в литературата), към която функция, чрез трансформация (transfer function) се модифицират резултатите от климатичния експеримент. Тази корекция се прави, за да се редуцират неопределеностите (uncertainties) в моделите породени от различни причини например, неотчитане на различни външни фактори, неточността на параметризационните схеми, влиянието на областта на интегриране при РКМ и други (вж. Teutschbein & Seibert, 2012).

Критичен анализ и обзор на най-често използваните методи е даден в Marau (2016). Повечето методи са включени в софтуера разработен в Cattaneo et al. (2015).

Тук ще използваме различен подход, приемайки хипотезата, че систематичните грешки (bias) на избрания модел са приблизително еднакви през референтния и бъдещия периоди и ако се разглеждат измененията от бъдещия период спрямо референтния, тези грешки взаимно ще се компенсират. Тук ще разглеждаме промяната на бройките на 6 часовите валежи с количества над определения праг, независимо от разликите в PDF между симулациите за референтния период и евентуалните наблюдения, каквито нямаме в нужното количество с необходимата гъстота.

Сценариите за климатичните промени се определят, като се предполага различно развитие на човешката дейност и различно отделяне на парникови газове. Те се разработват от IPCC. Обобщени са 40 ‘сценарии’, систематизирани в няколко големи групи в SRES (IPCC Special Report on Emissions Scenarios, IPCC, 2007). Тяхната цел е да се уеднаквят симулациите за климатични промени с климатичните хидродинамични модели ГКМ и РКМ. На практика, до 2050 година, различните сценарии са статистически неразличими. В разглежданите симулации е използван сценарият A1B, който се счита за най-вероятен, но направените изводи са еднакво статистически значими за всички сценарии до този период. Новата класификация AR5 на IPCC използва т.н. Representative Concentration Pathways (RCP) на практика остава в същите граници за периода до 2015г.

## 2.2. Определяне на тенденциите

Използваната версия на ALADIN е с резолюция от 10 км. Граничните условия са от глобалния модел ARPEGE\_CLIMATE (Déqué, 2007; Déqué et al., 1994).

Областта на интегриране покрива значителна част от Балканския полуостров, но представените резултати са само за територията на България. Изходът от модела е на 6 часа и затова се разглеждат само 6 часовите количества валеж от дъжд. За праг за интензивен валеж е прието количество от 10 мм/м<sup>2</sup> за 6 часа. Този праг умишлено е избран под възприетия 15 мм, който се използва при изготвяне на предупреждения за опасност от поройни наводнения вече няколко години и е доказал своята релевантност. По такъв начин се компенсира донякъде т.н. ‘drizzling’ ефект. Това е характерен недостатък на моделите, при който значителна част от валежите се образува от ‘ръмене’. За всеки възел от мрежата се пресмята броят на валежите над този праг за референтния и бъдещия периоди. Определени са две граници на изменение. Едната е, когато нарастването на броя на тези валежи е над 5%, а другата за увеличение над 10%, с което се елиминират малобройните случаи.

Направен е и анализ доколко измененията в бъдещия период са устойчиви за конкретно използвания климатичен модел. Приложеният анализ е с идеологията на метода ‘Монте-Карло’, описана в Spiridonov&Valcheva, (2017). Казано накратко, ако за климатичната симулация на 30 годишен климатичен период формираме различни 10 годишни комбинации, които ще считаме за равно вероятни, броят им е равен на комбинациите от  $n$ -елемента от  $k$ -ти клас:

$$C(n, k) = n! / (k!(n - k)!)$$

В случая  $n = 30$  години, от които избираме случайно  $k = 10$  години. Броят на възможните комбинации от 10 годишни периоди е:

$$C(30, 10) = 30045015$$

Методът ‘Монте-Карло’ позволява да се определи достатъчно точно вероятността за сбъждане на дадено събитие без да се разглеждат всички възможни случаи. За целта се правят серия случайни извадки  $M$ , които са много по-малко от всичките комбинации:

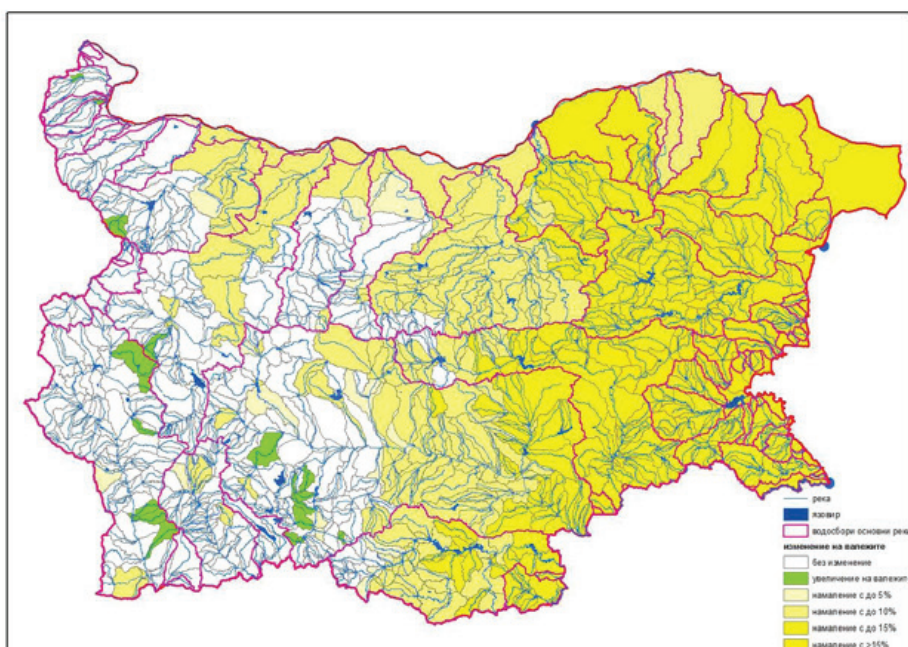
$$M \ll C(30, 10)$$

Ако за тези  $M$  случайни извадки направеното предположение се е сбъднало в  $X$  от тях, то вероятността въпросното предположение да се сбъдне определяме от съотношението  $X/M$ . Тази вероятност се изчислява поотделно за всяка точка от мрежата на модела. Така се получава разпределението ѝ в областта на интерес. Определят се като ‘УСТОЙЧИВИ’ измененията в тези възли, за които има над 95% попадения. Тези зони могат да се разглеждат и като ЗОНИ С ПОВИШЕН РИСК, защото степента на неопределеност е минимизирана чрез използвания метод.

От хидрологична гледна точка е необходимо оценките да се правят по водосбори. В страната са определени 1088 водосбора и за всеки от тях се определя дали има в него възли от модела с увеличение 5% и 10% на случаите с 6 часов валеж над 10 л/м<sup>2</sup>.

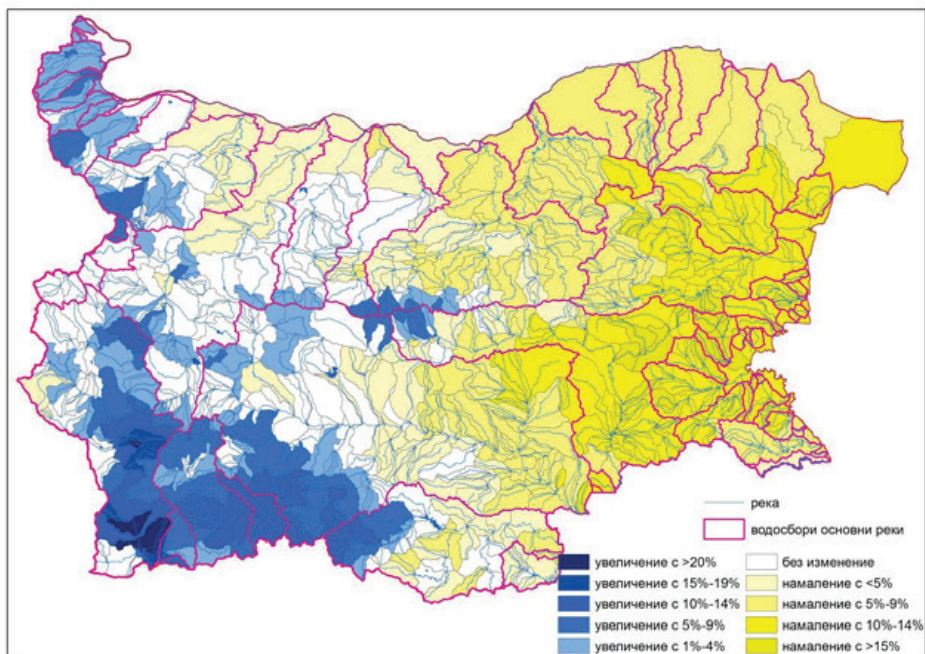
### 3. РЕЗУЛТАТИ

На долните две фигури (Фиг. 1. и Фиг. 2.) са показани измененията в проценти на общото годишно количество на валежите и на измененията само за количествата дъжд без зимния сезон.



**Фиг. 1.** Изменение в проценти на периода 2021-2050 спрямо референтния период за средногодишното количество валеж (дъжд и сняг)

**Fig. 1.** Percentage change in the period 2021-2050 compared to the reference period for the average annual rainfall (rain and snow)



**Фиг. 2.** Изменение в проценти на периода 2021-2050 спрямо референтния период за средногодишното количество валеж без зимния сезон (само дъжд)

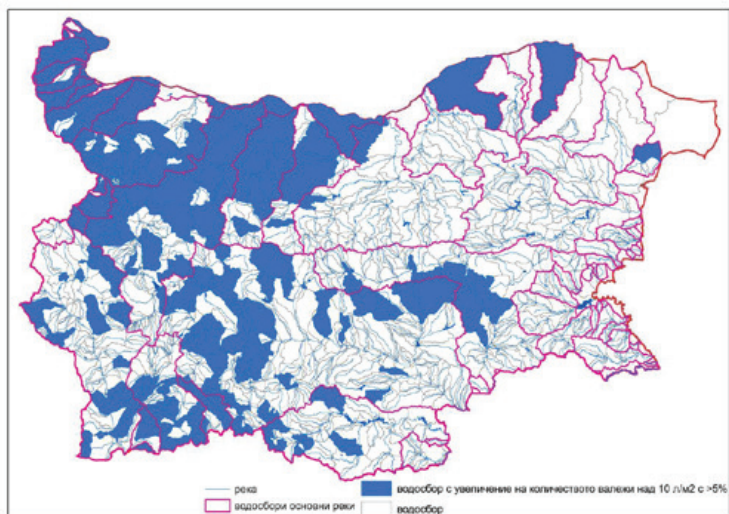
**Fig. 2.** Percentage change in the period 2021-2050 compared to the reference period for the average annual rainfall without the winter season (rain only)

Вижда се, че зад относително слабото изменение на общото количество валежи в западната половина на страната се крие увеличение на валежите от дъжд и намаление на снеговалежите. Логично е да се очаква и увеличение на количеството валежи над 10 л/м<sup>2</sup>, поне в тази част на страната. Водосборите, в които увеличението е над 5% са показани на фиг. 3.

Сравнението с фиг. 2 показва, че увеличение на броя на интензивните валежи може да се случи и в области без увеличение на общото количество валеж и дори в области, където то намалява.

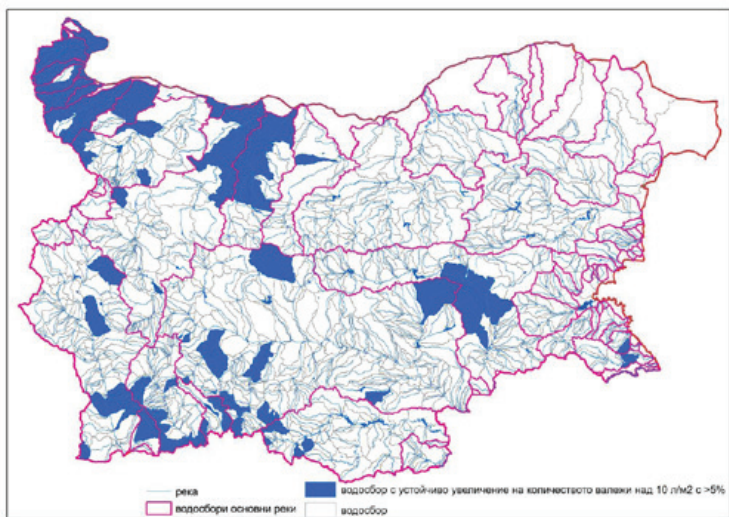
Областите определени чрез многократни случайни извадки по метода описан по-горе, определя водосборите, за които това изменение ще считаме за устойчиво. Те са показани на фиг. 4.

За водосборите с очаквано увеличение над 10% на броя на случаите с валеж над 10 мм/6 часа се отнасят фигури 5 и 6.



**Фиг. 3.** Водосбори, в които има 5% увеличение на количеството валежи с интензивност над 10 л/м<sup>2</sup>

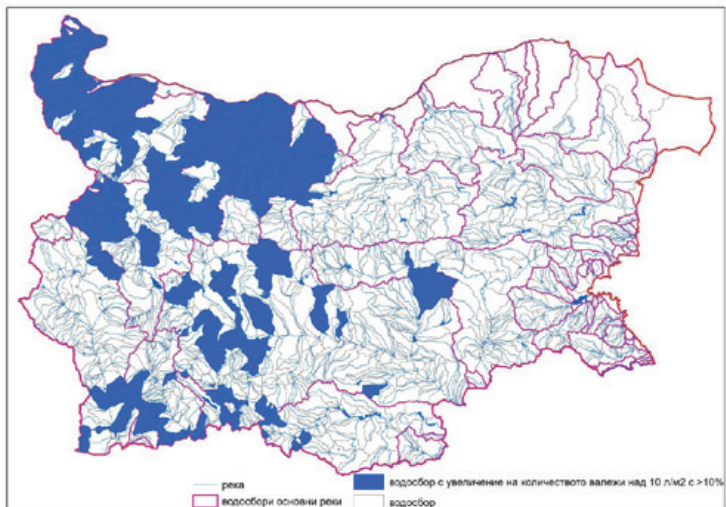
**Fig. 3.** Ponds where there is a 5% increase in the amount of precipitation with an intensity above 10 l / m<sup>2</sup>



**Фиг. 4.** Водосбори, в които 5% увеличение на количеството валежи с интензивност над 10 мм/6 часа е устойчиво. Интересна е появата на повишен риск в Странджа.

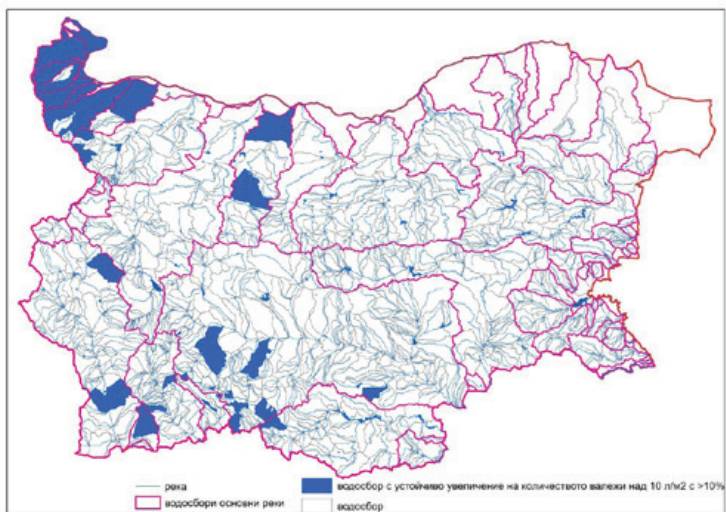
**Fig. 4.** River catchments in which a 5% increase in the amount of precipitation with an intensity exceeding 10 mm / 6 hours is sustainable. Interesting is the emergence of increased risk in Strandzha mountain





**Фиг. 5.** Водосбори в които има 10% увеличение на количеството валежи с интензивност над 10 мм/6 часа

**Fig. 5.** Ponds where there is a 10% increase in the amount of precipitation with an intensity above 10 l / m<sup>2</sup>.

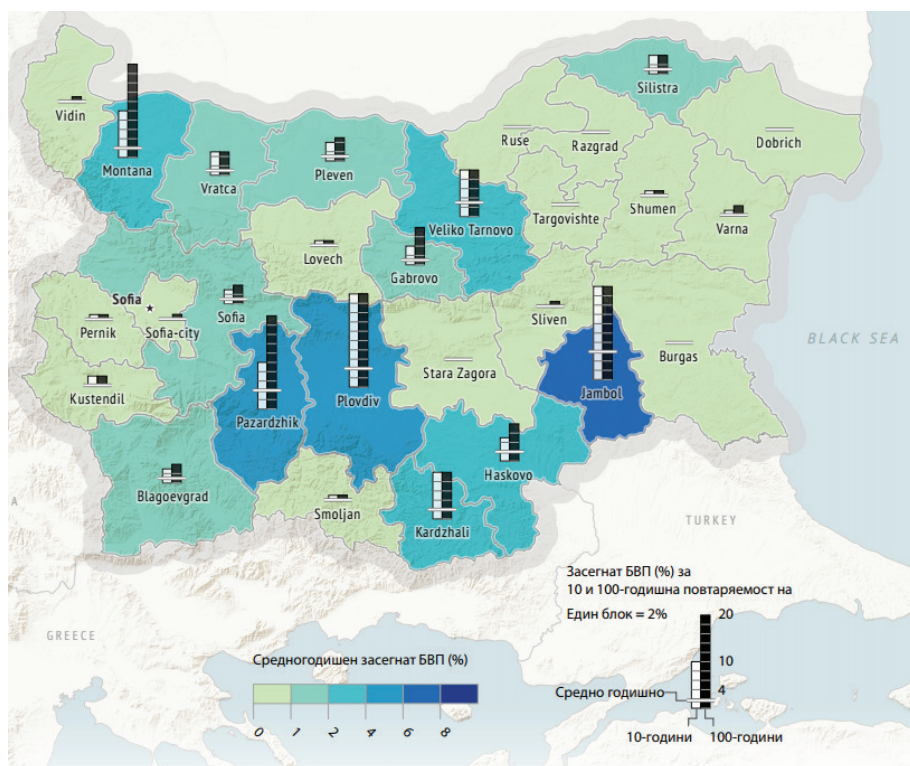


**Фиг. 6.** Водосбори, в които 10% увеличение на количеството валежи с интензивност над 10 мм/6 часа е устойчиво

**Fig. 6.** River catchments in which a 10% increase in the amount of precipitation with an intensity above 10 mm / 6 hours is sustainable.

Водосборите на реките, които са по-уязвими към възникването на екстремни хидрологични явления, като речни и поройни наводнения са: реките западно от р. Огоста (р. Тополовец, р. Войнишка, р. Витбол, р. Арчар, р. Скомля, р. Лом, долното течение на р. Цибрица), горното течение на р. Огоста (р. Превалска, р. Лопошанска, р. Слатинска), средното и долното течение на р. Вит, горното и долното течение на р. Струма, р. Места (р. Туфча, р. Матан), р. Марица (р. Чепинска, р. Въча, р. Харманлийска), р. Арда (р. Черна река).

На фиг. 7 за сравнение е показана оценка на Световната банка (вж. адреса в литературата) за очакваните щети от наводнения спрямо БВП и оценка за 10 – 100 годишна повторяемост с техни рискови модели. Вижда се сравнително доброто съгласуване и с посочените тук резултати, особено за 5 процентните увеличения.



Фиг. 7. Щети от наводнения съгласно оценка на Световната Банка

Fig. 7. Damages from floods according to the World Bank assessment

#### **4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В тази работа бе използван метод за пряка оценка на промяната в броя на случаите с валежи над определен праг, като се сравнява директно тяхното съотношение. Този метод се оказва подходящ за оценка на сигнала от климатичните промени за случаите на интензивни валежи. Пространственото разпределение на такива валежи съвпада с наблюдаваното, както и с оценките от други източници. Обобщено казано, освен че интензивните валежи преобладават в западната част на страната, то и тенденциите са за тяхното увеличение. Устойчиво най-рисковата област е Северозападна и Централна северна България.

#### **ЛИТЕРАТУРА**

- Belda, M., Skalák, P., Farda, A., Halenka, T., Déqué, M., Csima, G., Spiridonov, V. (2015), CECILIA Regional Climate Simulations for Future Climate: Analysis of Climate Change Signal. *Advances in Meteorology*, Volume 2015, Article ID 354727.
- Cattaneo, L., V. Rillo, M.P. Manzi, V. Villani, and P. Mercogliano (2015), Climate data processing in GIS environment., *CMCC Research Papers*, Issue RP0257.
- Claudia Teutschbein, Jan Seibert (2012), Bias correction of regional climate model simulations for hydrological climate-change impact studies: Review and evaluation of different methods, *Journal of Hydrology* 456–457 12–29.
- Déqué M. (2007) , Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: model results and statistical correction according to observed values, *Global and Planetary Change*, vol. 57, no. 1-2, pp. 16–26.
- Déqué M., Dreveton C., Braun A., Cariolle D. (1994), The ARPEGE-IFS atmosphere model: a contribution to the French community climate modelling. *Climate Dynamics* 10:249-266.
- Douglas Marau (2016), Bias Correcting Climate Change Simulations - a Critical Review, *Curr Clim Change Rep.* , DOI 10.1007/s40641-016-0050-x.
- Farda A., Déqué M., Somot S., Horányi A., Spiridonov V., Tóth H. (2010): Model ALADIN as a Regional Climate Model for Central and Eastern Europe. *Studia Geophysica et Geodaetica*, 54: 313–332.
- IPCC (2007) Fourth Assessment Report: Climate Change.  
[https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR\\_AR5\\_FINAL\\_full.pdf](https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/syr/SYR_AR5_FINAL_full.pdf)
- Lilia Bocheva, Tania Marinova, Petio Simeonov, Ilian Gospodinov (2009), Variability and trends of extreme precipitation events over Bulgaria (1961–2005), *Atmospheric Research* 93 490–497.
- Petr Skalák, Michel Déqué, Michal Belda, Aleš Farda, Tomáš Halenka, Gabriella Csima, Judit Bartholy, Mihaela Caian, Valery Spiridonov (2014), CECILIA regional climate simulations for the present climate: validation and inter-comparison, *Clim Res*, Vol. 60: 1–12.
- Spiridonov, V., Deque, M., and Somot, S. (2005), ALADIN-CLIMATE: from the origins to present date, *ALADIN Newsletter* 29.
- Sunyer Pinya, M. A., Hundechea, Y., Lawrence, D., Madsen, H., Willems, P., Martinkova, M., Yücel, I. (2015). Inter-comparison of statistical downscaling methods for projection of

extreme precipitation in Europe. *Hydrology and Earth System Sciences*, 19(4), 1827-1847.  
DOI: 10.5194/hess-19-1827-2015.

Sylwia Trzaska, Emilie Schnarr (2014), A Review of Downscaling Methods for Climate Change Projections, U.S. Agency for International Development (USAID) , Center for International Earth Science Information Network (CIESIN).

Valery Spiridonov, Rilka Valcheva (2017), Stability of climate change at a given interval in a 30-year future period. Example for the territory of Bulgaria (2021-2050), *Comptes rendus de l'Acad'emie bulgare des Sciences*, Tome 70, No 3.

Електронни адреси:

Св. Банка: <http://pubdocs.worldbank.org/en/165721485242077366/risk-profiles-bulgaria-Jan-17-bg.pdf>

CRU: <http://www.cru.uea.ac.uk/data>

E\_OBS : <http://www.ecad.eu/download/ensembles/ensembles.php>