



Hydrological model for flash floods in the Kamchia river basin with different variants of input information

Valeriya Yordanova*

*National Institute of Meteorology and Hydrology
66, Tsarigradsko shose, 1784 Sofia, Bulgaria*

Abstract: One of the main measures to mitigate the flood risk presented in the “National Flood Risk Management Plan in Bulgaria”, in the category “Preparedness”, which aims to “Strengthen forecasting capacity” is the implementation of a comprehensive platform for flood forecasting based on more accurate weather modeling, hydrological modeling and hydraulic modeling. Long-term projections given by the IPCC (2013) show that extreme events are very likely to change in terms of their intensity and location in the 21st century. Precipitation is a key element that determines the availability of water resources. Changes in the regime and amount of precipitation affect the hydrological cycle. The increased frequency of heavy rainfall events in many regions recently, increased the risk of floods caused by rain (e.g. flash floods and pluvial floods) (Koshinchanov & Dimitrov, 2008). This study provides an approach for creation of a forecast model based on the analysis of historical hydrometeorological data and data from the established telemetry network for hydrometeorological monitoring. The study was applied on an area of the Kamchia river basin. Real-time observations of water levels and discharges based on temporary rating curves are used to dynamically adjust the runoff forecast. First results using operational hydrological information are presented. The possibility of including the model in a flood forecasting and warning system will be considered.

Keywords: floods, hydrological modeling, GIS, fully distributed hydrological model (TOPKAPI).

* Valeriya.Yordanova@meteo.bg

Хидроложки модел за поройни наводнения във водосбора на р. Камчия при различни варианти на входна информация

Валерия Йорданова

Национален институт по метеорология и хидрология
бул. „Цариградско шосе“ 66, 1784, . София, България

Резюме: Една от основните мерки за намаляване на риска от наводнения представени в „Национален план за управление на риска от наводнения в България“, в категория „Подготвеност“, която има за цел „Укрепване на капацитета за прогнозиране“ е прилагането на цялостна платформа за прогнозиране на наводнения, предлагаща точно прогнозиране на база числено моделиране на времето, хидроложко моделиране и хидравлично моделиране. Прогнозите, дадени от IPCC (2013), показват, че е много вероятно екстремните събития да се променят по отношение на тяхната интензивност и местоположение през 21-ви век. Валежите са ключов елемент, който определя наличието на водни ресурси. Промените в режима и количеството на валежите оказват влияние върху хидроложкия цикъл. Напоследък по-честите обилни валежи в много региони влияят на риска от наводнения, причинени от дъжд (например поройните и дъждовни наводнения, (Koshinchanov & Dimitrov, 2008)). Настоящото изследване дава подход за създаването на прогностичен модел на базата на анализ на исторически хидрометеорологични данни и данни от изградена телеметрична мрежа за хидрометеорологично наблюдение. Изследването е направено върху район от водосбора на р. Камчия. Наблюденията в реално време на речните нива и водните количества по временни ключови криви са използвани за динамично адаптиране на прогнозата за оттока. Представени са първите резултати с използване на оперативна хидроложка информация. Ще бъде разгледана възможността за включване на модела в система за прогнозиране и предупреждение при наводнения.

Ключови думи: наводнения, хидроложко моделиране, ГИС, напълно разпределен хидроложки модел (ТОРКАРІ).

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Хидроложките модели са най-популярните и широко разпространени инструменти за изготвяне на хидроложки прогнози и оценка на водния баланс в даден водосбор (Stoyanova & Balabanova, 2019). Използват се за прогнозиране на наводнения и са важна част от всяка система за предупреждение от наводнения. В секция „Хидроложки прогнози“ на Националния институт по метеорология и хидрология се използват различни видове хидроложки модели за прогнозиране на наводнения – емпирични модели (Neuro Networks) (Balabanova, 2011), съсредоточени модели (NAM) (Koshinchanov & Balabanova, 2019), полуразпределени модели (SWAT

(Stoyanova & Koshinchanov, 2019), НЕС-HMS (Bojilova, 2020)) и разпределени модели (ТОРКАРІ) (Йорданова & Балабанова, 2019). Подобряването на прогнозите за валежите и речния отток е необходима част от ефективното управление на риска от наводнение, което ще доведе до намаляване на щетите. Настоящото изследване дава подход за създаването на прогностичен модел на базата на анализ на исторически хидрометеорологични данни, данни от изградена телеметрична мрежа за хидрометеорологично наблюдение. Изследването е направено върху район от водосбора на р. Камчия. Наблюденията в реално време на речните нива и водните количества по временни ключови криви ще бъдат използвани за динамично адаптиране на прогнозата за оттока.

2. ОПИСАНИЕ НА ВОДОСБОРА

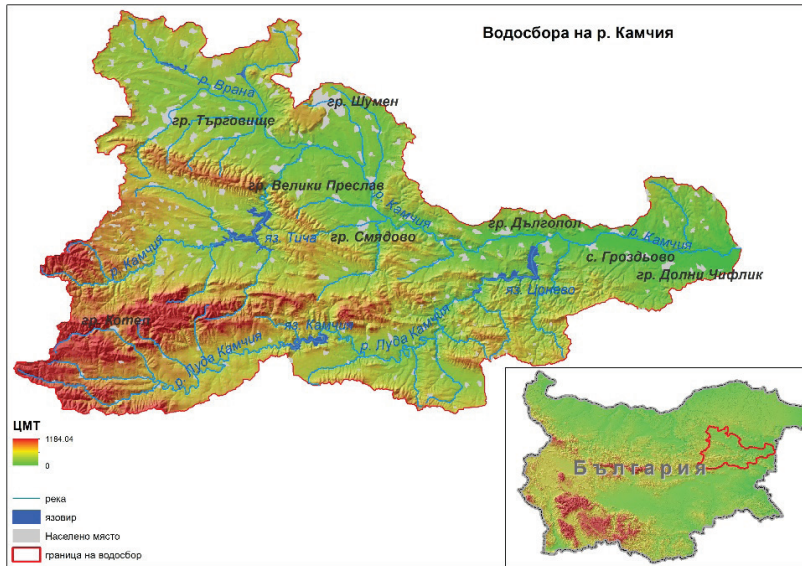
Река Камчия извира от източната част на Стара Планина в близост до град Котел и е най-голямата на Балканския полуостров река, която се влива в Черно море. Реката се формира от сливането на двата основни за поречието притока р. Голяма Камчия и р. Луда Камчия, като за условно начало е приета р. Голяма Камчия. (Фигура 1). Дължината ѝ е 190,7 km, а водосборната площ – 5362 km². Водосборната област се намира почти изцяло в източната част на Стара планина, като обхваща и малка част от Дунавската равнина.

2.1. Климат

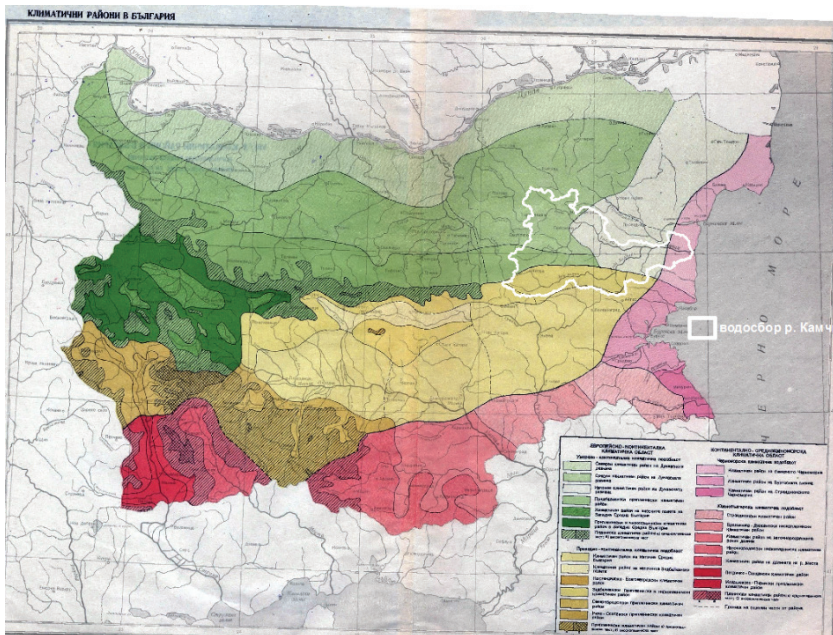
Според климатичната класификация на страната водосборът на р. Камчия е под влияние на умереноконтинентална климатична подзона и преходна-континентална климатична подзона на европейско-континенталната климатична област, а източните части (около 20 km зона) са под влияние на Черноморската климатична подзона на континенталната средиземноморска климатична област (Фигура 2).

Годишната сума на валежите в близост до морето е около 550 mm. С отдалечаването от морето към планината валежът се увеличава, като в планинските места от Стара планина той надвишава 750 mm. За долините на реките Голяма Камчия, Камчия и долното течение на Луда Камчия, преобладаващият зимен валеж е 125–150 mm. През есента валежът за по-голяма част от долината на р. Камчия е 100–125 mm, а в горното течение валежът за този сезон е над 175 mm. През лятото преобладаващият валеж е 150–175 mm. През пролетта валежът е 125–150 mm.

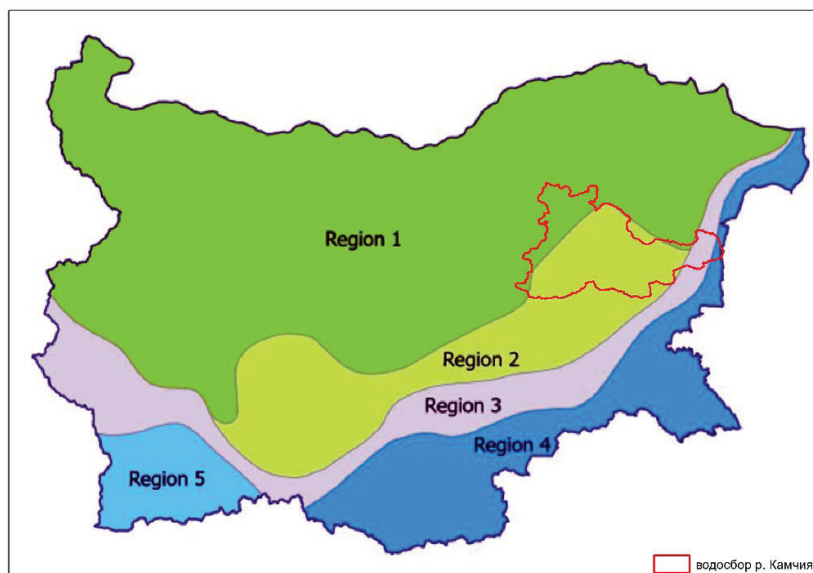
В последните години регистрираните наводнения във водосбора на р. Камчия са предимно дъждовни/поройни в резултат на интензивни валежи. На Фигура 3 е представено разпределението в 5 основни района на изследвани и анализирани данни за екстремни 24-часови валежи (потенциално опасни валежи ≥ 60 mm/24 h) за 89-годишния период на изследване (1931-2019) (Bocheva & Malcheva, 2020). Тези региони почти напълно съвпадат с климатичните области, представени на Фигура 2.



Фиг. 1. Водосбор на р. Камчия
Fig. 1. Kamchia river basin



Фиг. 2. Климатични области на територията на България (източник: НИМХ)
Fig. 2. Climatic districts on the territory of Bulgaria (source: NIMH)



Фиг. 3. Регионализация на 24-часови екстремни валежи за периода 1931-2019 г. на база климатична класификация на режима на валежите в България (Bocheva & Malcheva, 2020)
Fig. 3. Regionalization of 24-hour extreme precipitation events for the period 1931-2019 based on climate classification of precipitation regime in Bulgaria (Bocheva & Malcheva, 2020)

Район 1 се характеризира с подчертан максимум на екстремни валежи през лятото (над 60% от всички случаи са през периода юни-август) и със зимен минимум в периода февруари-март. В Район 2 максималният брой на случаите се регистрира през топлото полугодие (около 65% от всички случаи са между май и септември), а минималният е през зимата и пролетта (между декември и април). Район 3 има относително равномерно месечно разпределение на екстремните валежи през втората половина на годината с максимум през късната есен и втори максимум през юли. Район 4, който включва тясна зона край Черноморието е с есенен максимум (през октомври или ноември) и пролетен минимум (през април или май) (Bocheva & Malcheva, 2020).

Температурите по черноморското крайбрежие са повлияни от морето. Тук зимата е мека, без силни студове. Средната температура на най-студения месец – януари е 0–2°C. В планинската част, която обхваща източното разклонение на Стара планина с надморска височина до около 1000 m, най-студен месец е януари със средна температура до минус 3°C. Пролетта по крайбрежието е сравнително по-хладна, като средната температура е около 10–10,5°C, докато по-навътре тя е около 11–11,5°C. В планинската част пролетта е значително по-хладна. Тук средната температура е около 6–8°C. Най-горещи месеци са юли и август със средна температура 22,5–23°C, а максималните температури достигат до 38–40°C.

В планинската част лятото е най-хладно, средната температура е около 17–19°C, максималните температури достигат до 30–35°C. Есента е значително по-топла от пролетта. Това е по-силно изразено по самото крайбрежие, където средната температура е около 14–15°C, а по-навътре тя е 12–13°C.

Снежната покривка се задържа за твърде кратко време. Първата снежна покривка се образува средно към 20–25 декември, а последната снежна покривка се стопява към средата на февруари, броят на дните със снежна покривка са около 15–16 дни. Средната дебелина на снежната покривка е малка – около 6–8 cm. По-навътре от крайбрежието – в средното течение, снежната покривка се задържа по-дълго време – около 30–40 дни от годината и средната дебелина е около 5–10 cm. В планинската част, която обхваща горното течение на реката, снежната покривка се задържа значително по-дълго време – средно около 60–70 дни в периода от края на ноември до края на март и дебелината достига до 20–25 cm.

2.2. Хидроложки режим

Вътрешногодишното разпределение на оттока в поречие Камчия се определя от преобладаващите климатични особености на района: мека зима с нетрайна снежна покривка, средиземноморско влияние с обилни валежи през зимата и ранната пролет и засушлив период през лятото и есента. Това определя началото на пълноводието през януари – февруари и края му – още в края на месец май. Маловодието заема останалата част от годината и е най-силно изразено през август – октомври, когато се отбелязват и минималните водни количества.

3. ХИДРОЛОЖКО МОДЕЛИРАНЕ НА ОТТОКА ВЪВ ВОДОСБОРА НА Р. КАМЧИЯ (ЧЕРНОМОРСКИ БАСЕЙН).

За симулиране и прогнозиране на речния отток във водосбора към хидрометричната станция на р. Камчия при с. Гроздьово е избран хидроложкият модел ТОРКАРІ.

ТОРКАРІ е ГИС базиран напълно разпределен физически базиран хидроложки модел, който дава информация с висока резолюция за хидрологичното състояние на даден водосборен басейн. Моделът се основава на комбиниране на кинематичен модел на разпространение на вълната и топографията на модела. Моделът може да се използва, както като самостоятелна програма, така и като част от оперативни прогностични системи работещи в реално време (Mazzetti, 2015).

Поройните наводнения са с малка продължителност и голям пик на водното количество. За моделиране на тези бързо развиващи се явления (обикновено до 6 часа от започването на интензивните валежи) ще се използват данни от синоптичните станции в района.

3.1. Метеорологични данни

Използвани са наличните метеорологични данни за 6 часови суми на валежите и температури за периода 2014-2020 г. от синоптичните станции в района. Във водосбора има 1 синоптична станция, като за по-доброто представяне на пространственото разпределение на характеристиките на валежа и температурата са използвани и 3 синоптични станции намиращи се извън водосбора (Фигура 4).



Фиг. 4. Местоположение на метеорологичните и хидрометричните станции
Fig. 4. Location of the meteorological and hydrological stations

3.2. Хидрологични данни

Опорната хидрометрична мрежа на поречието Камчия понастоящем се състои от 6 хидрометрични станции (ХМС), от които 3 по главната река, 2 на р. Врана и една на р. Луда Камчия (Фигура 4). Автоматичните станции са 2, на р. Луда Камчия при с. Берово, поставена в края на август 2019 г. и на р. Камчия при с. Гроздьово, поставена в началото на май 2017 г.

За калибриране и валидиране на хидроложкия модел е използвана информация от конвенционалната станция на р. Камчия при с. Гроздьово за периода 2014-2020 г. и от автоматичната станция поставена на същото място в средата на 2017 г. със стъпка на данните през 1 час.

3.3. Налични язовири

Във водосбора има три големи язовира с обем над 106 m³ - яз. Камчия, яз. Тича и яз. Цонево и редица други по-малки язовири (Красноселци, Дъбрава, Вардун, Поляница, Лиляк, Съединение, Фисек Овчарско, Кралево, Имренчево, Шумен, Ивански-1, Смядово, Веселиново, Каябаш-1, Прилеп, Зайчаре, Ябълчево–1, Ябълчево–2, Елешница, Горни Чифлик, Долни Чифлик, Пчелник), които оказват влияние на хидроложкия режим.

3.4. Цифров модел на терена (DEM)

За извличане на информация за водосборните подобласти, наклоните, посоката на движение на водата от клетка в клетка и речната мрежа, е използван цифров модел на терена с големина на клетката 500 m. Всяка клетка от DEM получава стойност за всеки от физическите параметри, представени в модела и е изчислителен възел на модела (Фигура 1).

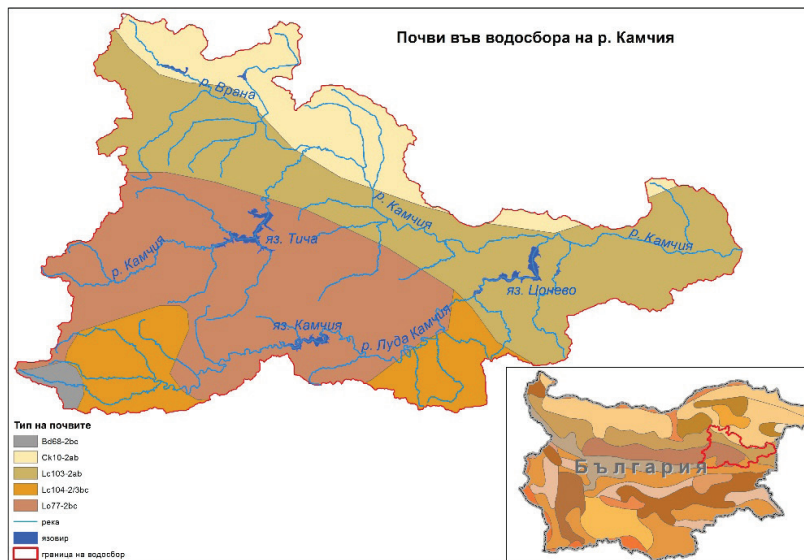
3.5. Почви

Типовете почви във водосбора на р. Камчия (Фигура 5) са определени като е използвана информация от:

- Атлас на почвите в България от 1998 г. (Койнов, Кабакчиев & Бонева, 1998).
- Класификацията на Организацията по прехрана и земеделие (The Food and Agriculture Organization - FAO) (<http://www.fao.org/soils-portal/en/>)
- Хармонизираната световна база данни за почви (Harmonized World Soil Database - HWSD)(Nachtergaele, Velthuisen & Verelst, 2009), http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/HWSD/HWSD_Documentation.pdf.

3.6. Земно покритие

Адекватна информация за земното покритие е необходима за акуратно представяне на хидроложките процеси във водосбора. Информацията за земеползването съдържа природни и антропогенни характеристики и се използва за определяне на коефициентите на грапавина по Манинг, които влияят на скоростта на движение на водата по земната повърхност и в речното корито. Използвана е информацията от CORINE_LAND_COVER_2012 (García-Gaines & Frankenstein, 2015), (Фигура 6).



Фиг. 5. Видове почви във водосбора на р. Камчия
Fig. 5. Soil types in the Kamchia river basin



Фиг. 6. Земно покритие във водосбора на р. Камчия
Fig. 6. Land cover in the Kamchia river basin

3.7. Симулиране, калибриране и валидиране на модела

При симулацията са използвани параметри на модела, които са определени от наличните във водосбора типове почви (Фигура 5), класификация на речната мрежа по Strahler (Фигура 7) и вида на земното покритие (Фигура 6).



Фиг. 7. Класификация на речната мрежа по Strahler
Fig. 7. Classification of the river network by Strahler

При определяне на параметрите е взет предвид механичният състав на почвите. За водосбора на р. Камчия няма данни, които да отразяват параметрите за определяне на механичния състав на почвите. Използвана е информация от Хармонизираната световна база данни на почвите (HWSD) (Фигура 8) (Nachtergaele, Velthuisen & Verelst, 2009).

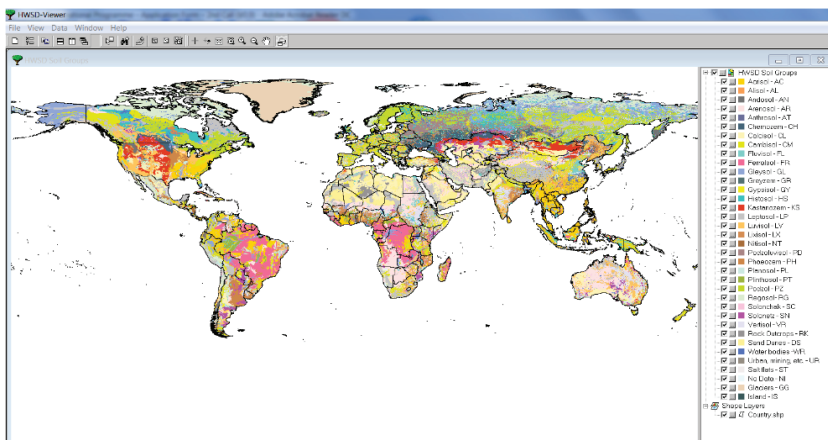
Информацията е представена за два слоя на почвата – повърхностен (topsoil) от 0-30 cm и подповърхностен (subsoil) от 30-100 cm. В зависимост от големината на частиците има три основни фракции съдържащи се в даден вид почва (глина, прах и пясък), които се характеризират с различни физико-механични свойства.

Разделението на почвите по механичен състав е представено като триъгълна диаграма и е възприето от Американската унифицирана система за текстурни класове на почвите (USDA) (García-Gaines & Frankenstein, 2015).

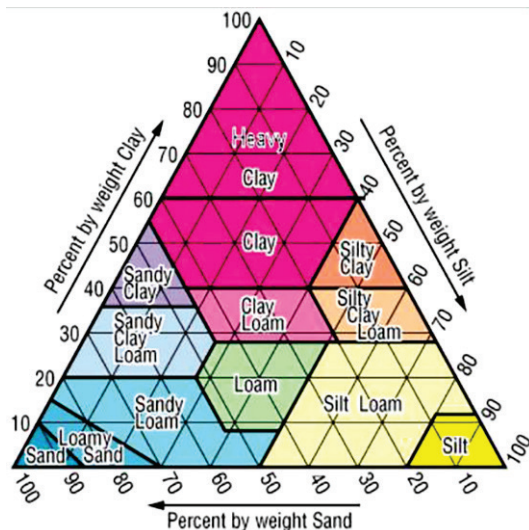
Използвайки софтуера и базата данни на HWSD са определени процентите на съдържанието на пясък, прах и глина за видовете почви по FAO, попадащи във водосбора на р. Камчия и след това са определени преобладаващите текстурни типове с използване на триъгълна диаграма на структурата на почвата (Фигура 9).

Определени са стойностите на параметрите на почвата: хоризонтална пропускливост при насищане (K_{SH}); водно съдържание при насищане на почвата (θ_s); остатъчно водно съдържание в почвата (θ_r); дълбочина на почвения слой (L); експонента в уравнението, описващо компонента на хоризонталното движение

на водата (α); вертикална пропускливост при насищане (K_{SV}); експонента в уравнението, описващо компонента на вертикалното движение на водата в подповърхностния почвен слой (α_p). Направени са редица симулации при различни стойности и комбинации на параметрите.



Фиг. 8. Хармонизирана световна база данни на почвите
 Fig. 8. Harmonized World Soil Database



Фиг. 9. Триъгълна диаграма на структурата на почвата (USDA)
 Fig. 9. Triangular diagram of soil texture (USDA)

Хидроложкият модел е калибриран за станцията на р. Камчия при с. Гроздьово, за която има налична хидрологична информация с часова стъпка.

На Фигура 10 са представени калибрираните параметри на почвите във водосбора, определени от вида на почвите, механичния състав и хидравличните характеристики на почвите. На Фигура 11 са представени калибрираните параметри на речната мрежа и коефициентите на грапавина по Манинг.

SOIL PARAMETERS								
Code	Horizontal Per...	Saturated Wa...	Residual Wate...	Soil Depth [m]	Horizontal No...	Vertical Perm...	Vertical Non-L...	Description
3009	1.09E-06	0.4600	0.0470	1.29	2.50	1.09E-08	16.00	Bd68-2bc
3037	3.45E-06	0.4600	0.0470	1.40	2.50	1.09E-08	16.00	Ck10-2ab
3081	1.09E-06	0.4530	0.0570	1.50	2.50	3.45E-08	16.60	Hl45-1/3ab
3182	1.09E-06	0.4600	0.0470	1.50	2.50	1.09E-08	16.00	Lc103-2ab
3185	4.91E-06	0.4490	0.0450	1.15	2.50	4.91E-08	14.90	Lc104-2/3bc
3203	1.09E-06	0.4600	0.0470	1.21	2.50	1.09E-08	16.00	Lo77-2bc

Фиг. 10. Параметри на почвата
Fig. 10. Soil parameters

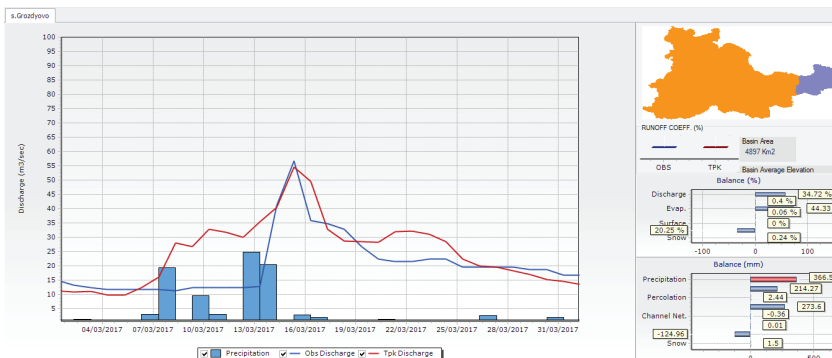
MODEL RIVER NETWORK					
General (Based on Strahler's order numbers)					
Section Type	StrhalerOrder	1st Manning Coefficient[s/...	Q Riverbed	Angle_Riverbed	
Triangular	1	0.065	99999	1.5	
Triangular	2	0.060	99999	2.2	
Triangular	3	0.055	99999	2.7	
Triangular	4	0.050	99999	3.2	
Triangular	5	0.045	99999	3.7	
Triangular	6	0.040	99999	4.5	
Triangular	7	0.035	99999	6.0	
Triangular	8	0.030	99999	7.5	

Фиг. 11. Параметри на речната мрежа
Fig. 11. River network parameters

4. РЕЗУЛТАТИ

Представени са резултати и статистически оценки на създадения модел с дневна (24-часова) стъпка и 6-часова стъпка. Моделът с калибрираните параметри добре описва високите вълни, формирани от интензивни валежи, статистическите оценки са значими, както по отношение на пика на високата вълна, така и по отношение на времето на настъпването му.

Резултати за преминала висока вълна в периода 10–20.03.2017 г. са представени на фигурите по-долу и показват сравнението между наблюдавани и симулирани водни количества с 24-часова стъпка (Фигури 12 и 13) и с 6-часова стъпка (Фигури 14 и 15). Със синьо са представени валежите, синята линия е за изчислените водни количества по временна ключова крива, а с червено са представени симулираните водни количества за горепосочения период.



Фиг. 12. Наблюдавани и симулирани водни количества за преминала висока вълна в периода 10–20.03.2017 г. с 24-часова стъпка

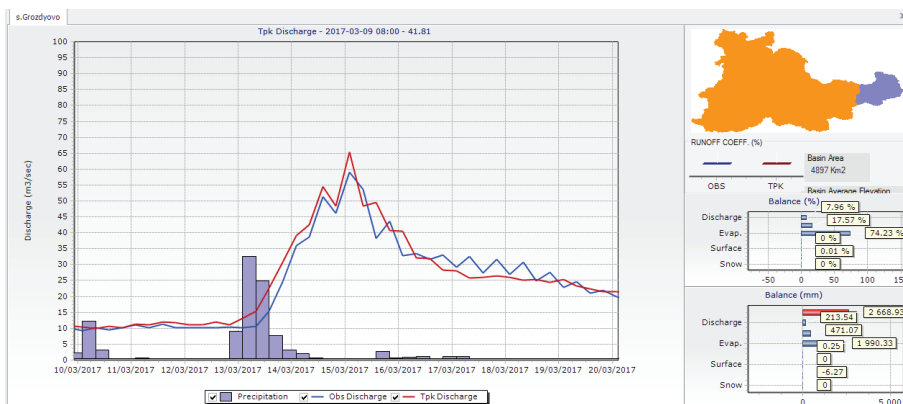
Fig. 12. Observed and simulated discharges for passed high wave in the period 10–20.03.2017 with 24-hour time step

На фигура 13 е представена статистическата оценка за периода на високата вълна (10–20.03.2017 г.) с 24-часова стъпка.

Initial Date	Final Date	MAXQOBS	MAXQ	SHIFT	MAE	RMSE	R2	E	d
.10/03/2017	20/03/2017	56.72	54.44	0	0.41	0.74	0.78	0.5	0.88

Фиг. 13. Статистическа оценка за периода на високата вълна (10–20.03.2017 г.) с 24-часова стъпка

Fig. 13. Statistical assessment for the period of the high wave (10–20.03.2017) with a 24-hour time step



Фиг. 14. Същото като Фиг. 12., но с 6-часова стъпка

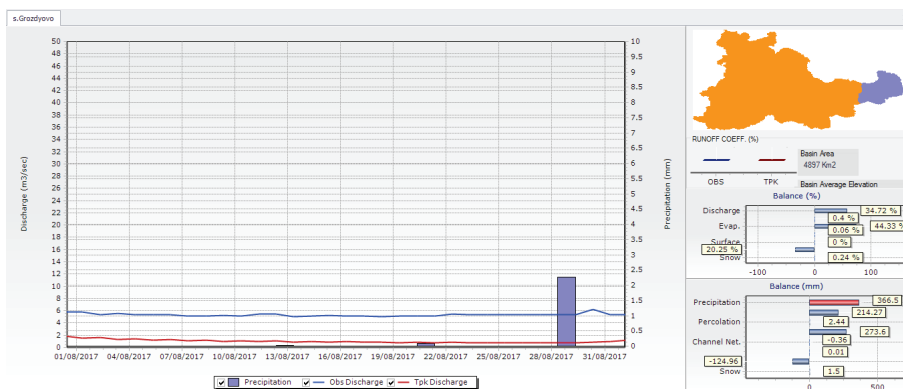
Fig. 14. The same as Fig. 12 but with 6-hour time step

На Фигура 15 е представена статистическата оценка за периода на високата вълна (10–20.03.2017 г.) с 6-часова стъпка.

Initial Date	Final Date	MAXQOBS	MAXQ	SHIFT	MAE	RMSE	R2	E	d
10/03/2017	20/03/2017	56.72	65.48	0	0.86	1.44	0.98	0.89	0.98

Фиг. 15. Същото като Фиг. 13, но с 6-часова стъпка
Fig. 15. The same as Fig. 13 but with 6-hour time step

Резултати от модела в период на маловодие (01.08-01.09.2017 г.) са показани на Фигура 16 и представят сравнението между наблюдавани (синя линия) и симулирани (червена линия) водни количества.



Фиг. 16. Наблюдавани и симулирани водни количества за период на маловодие (01.08-01.09.2017 г.)

Fig. 16. Observed and simulated discharges for the period of low flow (01.08-01.09.2017)

На Фигура 17 е представена статистическата оценка за период на маловодие.

Initial Date	Final Date	MAXQOBS	MAXQ	SHIFT	MAE	RMSE	R2	E	d
01/08/2017	01/09/2017	6.29	0.12	29	5.3	5.31	0.32	-519.74	0.05

Фиг. 17. Статистическа оценка за период на маловодие (01.08-01.09.2017 г.)
Fig. 17. Statistical assessment for the period of low flow (01.08-01.09.2017)

За периодите на маловодие моделът не симулира добре водните количества в реката, тъй като във водосбора има голям брой язовири, работата на които оказва влияние върху оттока след тях. В модела не е включена информация за работата на язовирите, затова при продължителни периоди без валежи оттокът в реката е много по-малък като количество от това, което е измерено в действителност, тъй като язовирите осигуряват екологичния минимум в реката.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделът ТОРКАРІ възпроизвежда измерения отток добре, когато за симулиране и калибриране на модела са използвани дневни и 6-часови стойности за валежа и часови стойности за водните количества. Резултатите показват, че моделираните водни количества при преминаване на високи води са по-добре симулирани при използване на 6-часова стъпка.

В планинската част на водосбора, която обхваща горното течение на реката, в периода от декември до март, се задържа снежната покривка, която при интензивно снеготопене (например март 2018 г.) води до значително увеличение на притока към язовирите, преливане през преливниците и формиране на високи води по течението на реката след тях. За да се подобри прогнозата, особено при събития с потенциална опасност за предизвикване на наводнения, е необходимо за актуализирането на променливите на модела да се разполага с информация за снежна покривка, влажност на почвата и температура с 6-часова стъпка.

Във водосбора има голям брой язовири, работата на които оказва влияние върху оттока след тях. Язовирите временно съхраняват водни количества при високи вълни, а също така осигуряват екологичния минимум в реките, особено при много ниски води и засушаване. Включването на работата на язовирите Тича, Камчия и Цонево в модела, с данни за водно ниво, изпуснати водни обеми, би подобрило значително симулирания отток след тях. С допълване на информацията моделът би могъл успешно да бъде приложен за прогнозиране на оттока и изготвяне на навременни предупреждения при екстремни явления.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е реализирана с подкрепата на Национална програма “Млади учени и постдокторанти” към Министерство на образованието и науката (МОН) по Решение на МС No 577/17.08.2018 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Balabanova, Sn., (2011), River flow modelling and operational evaluation with Neural networks, Bulgarian journal of Meteorology & Hydrology 16/1 2011
- Bocheva, L., Malcheva, K., (2020), Climatological Assessment of extreme 24 hour precipitation in Bulgaria during the period 1931-2019, 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM (2020), ISBN:978-619-7603-09-5, ISSN: 1314-2704
- Bojilova, E., (2020), Applicability of Rainfall-Runoff Models to the Conditions of River Runoff in Bulgaria, 20th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM 2020, ISBN: 978-619-7603-08-8, ISSN: 1314-2704
- García-Gaines, R.A., Frankenstein, S., (2015), USCS and the USDA Soil Classification System, <http://www.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a614144.pdf>

- Koshinchanov, G., Balabanova, S., (2019), Hydrological modelling using remote sensing techniques in Bulgaria, Proceedings Volume 11174 Seventh International Conference On Remote Sensing And Geoinformation Of The Environment (RSCY2019)
- Koshinchanov, G., Dimitrov, D. (2008, November). Precipitation intensity probability distribution modelling for hydrological and construction design purposes. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 4, No. 1, p. 012009). IOP Publishing.
- Mazzetti, C., (2015), TOPKAPI Model Reference
- Nachtergaele, F., Velthuisen, H., Verelst, L. (2009), http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/HWSD/HWSD_Documentation.pdf
- Stoyanova, S., Balabanova, S., (2019), Hydrological modeling with the soil and water assessment tool: spatial data processing for identifying model parameters using geographic information system, 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2019, ISBN: 978-619-7408-81-2, ISSN: 1314-2704
- Stoyanova, S., Koshinchanov, G., (2019), Sensitivity analyses of conceptual and semidistributed hydrological models applied over a pilot basin, 19th International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM, 2019, ISBN: 978-619-7408-81-2, ISSN: 1314-2704
- Йорданова, В., Балабанова, С., (2019), Прогнозиране на речния отток с използване на разпределен хидроложки модел (TOPKAPI), Bulgarian Journal of Meteorology & Hydrology 23/1 2019
- Койнов, В., Кабакчиев, И. & Бонева, В., (1998), Атлас на почвите в България