Национален институт по метеорология и хидрология



National Institute of Meteorology and Hydrology

Bul. J. Meteo & Hydro 23/1 (2019) 80-96

Forecasting river flow using distributed hydrological model (TOPKAPI)

Valeriya Yordanova*, Snezhanka Balabanova

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

Abstract: Streamflow forecasts with sufficient accuracy and lead time are important to water managers and emergency protection services. To provide these forecasts hydrologists need to predict the behavior of complex coupled human–natural systems. Hydrological forecasting models are used extensively for simulation of river flows in both flood and drought events. The evolution of physically based hydrological models in recent years has significantly improved the ability to describe and represent the hydrological processes at a basin scale. In this thesis the TOPKAPI model (TOPographic Kinematic APproximation and Integration) was applied to the Ogosta river for simulating the rainfall-runoff processes for the watershed. TOPKAPI is a fully-distributed, physically-based hydrological model and is widely used for continuous streamflow modelling. The TOPKAPI model (2009 - 2013) and data for the year 2014 was used for model validation. The model was applied with a grid size of 250m/250m and a time step of 24 h. Due to TOPKAPI physical basis, model parameters were derived from digital elevation maps, soil maps and land cover maps.

Keywords: hydrological modeling, GIS (Geographic information system), fully distributed hydrological model, TOPKAPI

Прогнозиране на речния отток с използване на разпределен хидроложки модел (ТОРКАРІ)

Валерия Йорданова, Снежанка Балабанова

Национален институт по метеорология и хидрология бул. "Цариградско шосе" 66, 1784, гр. София

^{*} Valeriya.Yordanova@meteo.bg, Snezana.Balabanova@meteo.bg

Резюме: Прогнозите за речния отток с висока степен на достоверност и достатъчна предварителност са от изключителна обществена значимост – те са както главна компонента на дейностите свързани с управление на водните ресурси, така и необходимост за редица институции, организации и служби за защита при бедствени ситуации. За изготвянето на тези прогнози е необходимо хидрологът да предвиди поведението на една сложна, комбинирана система човек - природа. Хидроложките прогностични модели се използват за симулиране на речния отток, както в случай на наводнения, така и при засушаване. В последните години развитието на физическибазираните хидроложки модели значително подобри представянето на хидроложките процеси на ниво водосборен басейн. В настоящата разработка е представена числена симулация на процеса валеж-отток за водосбора на р. Огоста, като е използван напълно разпределеният, физически-базиран хидроложки модел ТОРКАРІ. Моделът ТОРКАРІ (TOPographic Kinematic APproximation and Integration) е използван за моделиране на речния отток. Моделът ТОРКАРІ е приложен за периода 2009-2014 г., като калибрирането е извършено с данни за петгодишен период (2009-2013), а данните от 2014 г. са използвани за валидиране на модела. Моделът е разработен върху мрежа с големина на клетката 250x250 m и стъпка по времето 24 часа. Поради физическия характер на ТОРКАРІ, параметрите на модела са определени на база цифров модел на терена, карта на почвите и карта на земното покритие.

Ключови думи: хидроложко моделиране, ГИС (Географска информационна система), напълно разпределен хидроложки модел, ТОРКАРІ

1. ВЪВЕДЕНИЕ

Формирането на речния отток е сложен процес, при който валежите от сняг или дъжд преминават през различни трансформации докато достигнат до реката или до крайната точка на даден водосбор. На практика в хидрологията не могат да бъдат измерени всички елементи, които са част от хидроложката система главно поради голямата хетерогенност и ограниченията на измервателните техники. Това налага моделиране на информацията от наличните измервания в пространството и времето. Еволюцията на физически базираните хидроложки модели през последните години значително подобри способността ни да описваме и представяме хидрологичните процеси на ниво водосборен басейн (Kumar et al., 2009; Nedkov&Artinyan, 2017). В статията е представено прилагането на напълно разпределен физически базиран хидроложки модел ТОРКАРІ за симулиране на речния отток.

2. ОПИСАНИЕ НА МОДЕЛА (ТОРКАРІ)

ТОРКАРІ е физически напълно разпределен, ГИС базиран хидроложки модел, който дава информация с висока резолюция за хидрологичното състоянието на даден водосборен басейн. Моделът се основава на комбиниране на кинематичен модел на разпространение на вълната и топографията на водосборната област (Mazzetti, 2015; Liu&Todini, 2002).

Моделът се основава на следните основни допускания на ниво клетка (Mazzetti, 2015; Peng et al., 2008):

- Валежите имат една стойност за всяка клетка и са получени, чрез осредняване с използване на интерполационни техники, като Тисен или др..
- Цялото количество валеж, което попада върху почвата се инфилтрира в нея, освен ако почвата вече не е наситена в определена зона (единичната клетка), когато започва да се формира повърхностния отток.
- Наклонът на водната повърхност съвпада с наклона на земната повърхност.
- Локалната пропускливост зависи от общото водно съдържание в почвата, т.е. зависи от интеграла на водното съдържание във вертикална посока.
- Локалната пропускливост, като хоризонтален подповърхностен отток в клетка, зависи от общото водно съдържание в почвата във вертикалния профил.
- Хидравличната проводимост при насищане е постоянна в дълбочина на повърхностния почвен слой и е много по-голяма от тази в по-дълбоките почвени слоеве.

Три нелинейни диференциални уравнения са използвани, за да се опишат подповърхностен, повърхностен и речен отток и прилагане на подхода на Кинематичната вълна.



Фиг. 1. Моделирани резервоари в модела ТОРКАРІ

$$\frac{\partial V_i}{\partial t} = Q_i^{in} - b V_i^{\alpha},$$
 където: (1)

 $\frac{\partial V_i}{\partial t}$ - промяната на съдържанието на вода във времето за резервоара; Q_i^{in} - общият приток към резервоара; V_{i} - общият обем на резервоара;

b - константа във времето, но се променя в пространството и е функция от геометрията и физическите характеристики на резервоара;

 $lpha\,$ - константа във времето и пространството и зависи от типа на резервоара.

• Подповърхностен отток

За дадена клетка уравнението е:

$$\frac{\partial V_s}{\partial t} = \left(pX^2 + Q_o^u + Q_s^u\right) - \frac{C_s X}{X^{2\alpha_s}} V_s^{\alpha_s},$$
 където: (2)

 V_{s} - обемът на водата, съхранявана в дадена клетка [m³];

t - време [s];

p - интензивност на валеж [m/s];

X - размер на клетката [m];

 $\mathcal{Q}^{\scriptscriptstyle u}_{\scriptscriptstyle o}$ - водно количество към дадена клетка от повърхностния отток на водосбора, който е от водосбора над тази клетка [m³/s];

 $\mathcal{Q}^{\scriptscriptstyle u}_{\scriptscriptstyle s}$ - водно количество към дадена клетка от подповърхностен отток от водосборната област над тази клетка [m³/s].

Хидравличните характеристики на подповърхностния почвен слой зависят от параметрите на почвата и могат да се получат на основа на текстурата на почвата, която е представена в % пясък, % глина и % прах.

 $C_{\rm s}\,$ - коефициент на хоризонталната пропускливост/проводимост [m/s];

 α_s - параметър, който зависи от характеристиките на почвата. Стойността зависи от вида на почвата, но обикновено се определя на постоянна стойност, равна на 2,5.

• Повърхностен отток

За дадена клетка уравнението е:

$$\frac{\partial V_{o_i}}{\partial t} = r_{o_i} X W_{o_i} - \frac{C_{o_i} W_{o_i}}{(X W_{o_i})^{\alpha_o}} V_{o_i}^{\alpha_o},$$
, където: (3)

 V_o - обемът на водата на повърхността на i-тата клетка [m³]; *h*_o - дълбочина на водата над повърхността на земята [m]; X - размер на клетката [m];

 W_o - ширина на повърхността (свободна от речна мрежа) [m];

 r_o^{\prime} - излишъкът след насищане или е резултат от уравнението на водния баланс на почвения слой, или е резултат от ексфилтрацията от почвата [m/s];

 $C_{\scriptscriptstyle o}\,$ - коефициент свързан с формулата на Манинг за повърхностен отток.

 $\alpha_o=5/3$ експонента получена от комбиниране на формулата на Шези и Манинг;

*n*_{*o_i*} - коефициент на повърхностната грапавина по Манинг [s/m^{1/3}]. Този параметър се използва за регулиране на времето до пика и формата на високата вълна и се получава на базата на информация за земното покритие и земеползването.

• Речен отток



Фиг. 2. Схема на придвижване на водата в клетките на модела

Fig. 2. Scheme of routing the water through the cells of the model

Когато наклоните станат твърде малки, под 0,01% (т.е. в равнинните участъци), ТОРКАРІ използва подход базиран на метода на Muskingum-Cunge.

В модела може да има различна форма на речното корито за различните притоци, в зависимост от порядъка на речната мрежа.

Правоъгълно напречно сечение на речното корито

Речният отток в този случай се приема с дървовидна структура на речната мрежа с правоъгълно напречно сечение.

$$\frac{\partial V_c}{\partial t} = \left(r_c + Q_c^u\right) - \frac{\sqrt{S_0}}{n_c} \left(\frac{B_x}{C_x}\right)^{\frac{2}{3}} \frac{1}{B^{\frac{2}{3}} X^{\frac{5}{3}}} V_c^{\frac{5}{3}}, \text{ където}$$
(4)

t - време [s];

 r_c - странично водно количество, включващо повърхностен отток и дренирано водното количество от почвата достигащо до канала [m³/s];

 Q_c^u - входно водно количество от по-горна клетка [m³/s];

 n_c - коефициентът на грапавина по Манинг за канала [s/m^{1/3}];

 S_0 - наклон на леглото, който се приема, че е равен на наклона на земната повърхност = tan (β);

 $A_x = B.y_c$ - площ на намокреното сечение [m²];

 $C_x = 2y_c + B$ - намокрен периметър [m];

 $B_x = B_{-}$ ширина на сечението на повърхността [m];

У_с - дълбочина на водата в канала [m].

Триъгълно напречно сечение на речното корито

Речния отток в този случай се приема с дървовидна структура на речната мрежа, имаща триъгълно напречно сечение.

$$\frac{\partial V_{c}}{\partial t} = \left(r_{c} + Q_{c}^{u}\right) - \frac{\sqrt{S_{0}}\left(\operatorname{cosec} \gamma\right)^{\frac{2}{3}}}{2^{\frac{2}{3}}n_{c}\left(\tan\gamma\right)^{\frac{1}{3}}X^{\frac{4}{3}}} V_{c}^{\frac{4}{3}}, \text{ KЪДЕТО:}$$
(5)

t - време [s];

 r_c - странично водно количество, включващо повърхностен отток и дренирано водното количество от почвата достигащо до канала [m³/s];

 Q_c^u - входно водно количество от по-горна клетка [m³/s];

 n_c - коефициентът на грапавина по Манинг за канала [s/m^{1/3}];

 S_0 - наклон на леглото, който се приема, че е равен на наклона на земната повърхност = tan (β);

 $\tan \gamma = \frac{2y_c}{B_x} - \gamma$ е ъгъла на страните на канала с хоризонталната ос; $B_x = \frac{2y_c}{\tan \gamma} -$ ширина на сечението на повърхността [m]; $A_x = \frac{1}{2}B_x \cdot y_c = \frac{y_c^2}{\tan \gamma} -$ площ на намокреното сечение [m²];

 $cosec\gamma$ - намокрен периметър [m];

У_с - дълбочина на водата в канала [m].

• Евапотранспирация

В модела ТОРКАРІ актуалната евапотранспирация се изчислява от потенциалната евапотранспирация. Потенциалната евапотранспирация е изчислена на месечна база с прилагане на метода на Торнтуейт.

Прогнозиране на речния отток с използване на разпределен хидроложки модел...

• Компонент за натрупването на сняг и снеготопене

Модулът за натрупването на сняг и снеготопенето се основава на температурата на въздуха и валежите.

Процентът на течните валежи се изчислява, като функция на температурата на въздуха и е представено на Фигура 3.



Фиг. 3. Процент на течните и твърдите валежи от общия валеж

Fig. 3. Percentage of liquid and solid precipitation from total precipitation

$$F(T) = \frac{1}{1 + e^{\frac{T - T_s}{\sigma}}},$$
 KELETO: (6)

 $\sigma = 0,6$ (получено от експериментални данни);

 T_s (която обикновено варира между -2,15 и 1,85°С);

Т - температура на въздуха[°С].

Параметрите на снеготопенето са:

 T_s - прагова стойност на температурата[°C];

 H_{Active} - максимална височина на снежната покривка [mm];

 $T_{\rm min}$ - минимална температура, при която започва натрупване на снежна покривка [°С];

 T_{FROST} - температура на замръзване на почвите [°C].

3. ПОДХОД И МЕТОДОЛОГИЯ

Тема на изследването е използване на разпределения физически базиран хидроложки модел TOPKAPI (TOPographic Kinematic APproximation and Integration), който представя речния отток, като функция на метеорологична входна информация и геоморфологичните характеристики във всеки пиксел на водосбора, като се използва информация от цифровия модел на терена, типа на почвите, земното покритие, влиянието на язовирите и др., за прогнозиране на речния отток и подобряване на изготвянето и представянето на прогнози за опасни екстремни явления (наводнения) с цел намаляване негативните последици от наводненията в нашата страна. Избраният пилотен водосбор е този на река Огоста.



Фиг. 4. Водосбор на р. Огоста, метеорологични станции и хидрометрични станции

Fig. 4. Ogosta river basin, meteorological stations and hydrometric stations

Река Огоста се формира в западния дял на Стара планина и пресичайки Дунавската хълмиста равнина се влива в р. Дунав. Площта на водосборния басейн на река Огоста е 4 282,225 km².



Фиг. 5. Хипсографска крива на водосбора на р. Огоста

Fig. 5. Hypsographic curve of the Ogosta river basin

По-голямата част от територията на водосбора на р. Огоста се намира в умерено-континенталната климатична област, докато високо-разположените части на водосбора попадат в планинската климатична област. В планинските части на водосбора средната годишна сума на валежите е 800 – 1000 mm. В зоната на умерено - континенталния климатичен пояс годишната сума на валежите от 500 – 600 mm в Дунавската равнина, достига до 800 mm в Предбалкана и котловинните полета.

3.1. Входни данни за модела ТОРКАРІ

- *Цифров модел на терена (DEM)* грид. Използван е грид с големина на клетката 250x250 m;
- Тип на почвите полигони. Типовете почви във водосбора на р. Огоста са определени, като е използвана информация от: Атлас на почвите в България (Фигура 6); Класификацията на Организация по прехрана и земеделие FAO (Фигура 7) и Хармонизирана световна база данни на почвите (HWSD) (Nachtergaele et al., 2009).



Фиг. 6. Почви във водосбора на р. Огоста (Атлас на почвите в България от 1998 г.)

Fig. 6. Soils in the Ogosta river basin

От представената карта на Фигура 6 се вижда, че основните почвени видове във водосбора са черноземи в долните части, сиви /канелено-сиви/ горски почви в средните части и кафяви горски почви в горните части на разглеждания водосбор. Според класификацията на Организация по прехрана и земеделие - FAO във водосбора на р. Огоста има 3 основни типа почви – карбонатни черноземи (Ck10-2ab), сиви горски почви (Lc103-2ab) и кафяви горски (Bd68-2bc) почви (Фигура 7).



Фиг. 7. FAO класификация на почвите за водосбора на р. Огоста

Fig. 7.	FAO	soil o	classificati	on of th	ne Ogosta	river	basin
					0		

Определени са стойностите на параметрите на почвата хоризонтална пропускливост при насищане (K_{sh}), водното съдържание при насищане на почвата (θ_s), остатъчното водно съдържание в почвата (θ_r); дълбочина на почвения слой (L), експонентата в уравнението, описващо компонента на хоризонталното движение на водата (α), вертикална пропускливост при насищане (K_{sv}), експонентата в уравнението, описващо компонента на вертикалното движение на водата в подповърхностния почвен слой (α_n).

Таблица 1. Начални стойности на параметрите на почвата

Table 1. Initial values of soil parameters

Тип почва	Наименование	Механичен състав	K _{sh} [m/s]	ϑs	մ ,	L [m]	α	K _{sv} [m/s]	α _p
Bd68-2bc	кафяви горски	праховита/Loam	5.47E-05	0.328	0.065	0.8	2.5	5.47E-08	13.8
Ck10-2ab	черноземи	праховита/Loam	6.67E-05	0.275	0.065	1.2	2.5	6.67E-08	17
Lc103-2ab	сиви горски	праховита/Loam	5.47E-05	0.368	0.065	1	2.5	8.19E-08	23.8

 Растителна покривка – полигони. Използвана е информацията от CORINE_ LAND_COVER_2012. За всеки клас е определен коефициента на грапавина по Манинг за земната повърхност и месечни стойности на фактора на растежа на растенията в зависимост от земното покритие и земеползването.



Фиг. 8. Земно покритие за водосбора на р. Огоста

Fig. 8. Land cover in the Ogosta river basin

• Хидрометеорологични данни:

<u>Метеорологични данни</u> – Във водосбора има 14 метеорологични станции, като за по-доброто представяне на пространственото разпределение на характеристиките на валежа и температурата са използвани и 7 метеорологични станции намиращи се извън водосбора, от които е използвана историческа метеорологична информация (Фигура 4).

<u>Хидроложки данни</u> – В пилотния водосбор има 10 хидрометрични станции, от които е използвана историческа хидрологична информация за водно ниво и водно количество (Фигура 4).

3.2. Калибриране на модела

Моделите "валеж-отток" представят хидрологичните процеси, които протичат в даден водосбор. По принцип физически базираният модел не изисква калибриране, защото неговите параметри се определят предварително от информация за водосбора, почви и земно покритие. Въпреки това така определени те не могат адекватно да представят моделираните процеси поради пространствената променливост на характеристиките на водосбора.

Измерените водни количества и метеорологичните данни за периода 01.07.2009 г. – 01.07.2010 г. са използвани за инициализация на модела (warm-up period). По този начин може да се предположи, че в началото на периода за

калибриране симулираното състояние на водосбора ще представя реалното състояние.



Фиг. 9. Периоди за инициализация, калибриране и валидиране на модела

Fig. 9. Warm-up, calibration and validation periods of the model

При оценка на резултатите на модела са анализирани следните статистически критерии:

- *MAXQOBS* максимална наблюдавана стойност на водното количество;
- *MAXQ* максимална симулирана стойност на водното количество;
- *SHIFT* време на отместване на MAXQOBS и MAXQ;
- *RMSE* средно-квадратично отклонение;
- R^2 Coefficient of determination коефициентът на определяне (R^2);
- *E Nash and Sutcliffe coefficient* коефициентът на Nash-Sutcliffe;
- d Index of Agreement индекс на съответствие (d).

3.3. Изследване на чувствителността на параметрите на модела

Анализът на чувствителността на параметрите на модела е извършен за периода 01.07.2009 - 31.12.2013 г. за наблюдавани валежи и температура, главно по отношение на високите вълни и пиковете им. Използвана е информация за високите вълни във водосбора на р. Огоста в периодите 2010 – 2013 г. По-специално анализът на чувствителността е направен, като фокуса е върху физически базирани параметри, които имат най-голямо влияние върху формирането на оттока – хоризонтална хидравлична пропускливост при насищане (K_{sv}), дебелина на повърхностния почвен слой (I), коефициентът на грапавина на речното корито по Манинг (n_c) и коефициентът за грапавина на земната повърхност по Манинг (n_o).

В случая почвените типове във водосбора са само три от FAO, за по-точното определяне на почвените параметри, които оказват влияние върху формирания отток в отделните водосбори за всеки водосбор са определени стойности на параметрите за отделните почвени типове. На Фигура 10 е представено разделянето на почвените типове по водосбори, за които са определени стойностите на параметрите. Новите параметри за почвените характеристики по водосбори, като входна информацията в модела са представени на Фигура 11.



Фиг. 10. Схема на почвените типове по водосбори, за които са определени стойностите на почвените параметри

Fig. 10. Scheme of soil types by catchments for which values of soil parameters are assigned

SUIL PARAMETERS									
Code	Horizontal Per	Saturated Wa	Residual Wate	Soil Depth [m]	Horizontal No	Vertical Perm	Vertical Non-L	Description	
3009	2.8E-005	0.4	0.027	0.58	2.5	5.66E-08	18	Bd68-2bc	
3037	6.65E-005	0.4	0.027	0.6	2.5	3.2E-08	18	Ck10-2ab	
3182	7.2E-005	0.43	0.075	0.87	2.5	3.1E-10	18.5	Lc103-2ab	
6997	1E-009	0.002	0.001	0.01	2.5	1E-10	12	Water	
13009	1.4E-006	0.4	0.027	0.275	2.5	5.49E-08	18	Bd68-2bc	
13182	1.7E-004	0.43	0.075	0.874	2.5	1.59E-08	18.5	Lc103-2ab	
23009	2.4E-004	0.4	0.027	0.81	2.5	9.04E-09	18	Bd68-2bc	
23182	2.4E-003	0.43	0.075	0.901	2.5	1.71E-08	18.5	Lc103-2ab	
33009	3.8E-005	0.4	0.027	0.288	2.5	3.6E-08	18	Bd68-2bc	
33182	7.8E-004	0.43	0.075	0.867	2.5	6E-07	18.5	Lc103-2ab	
43037	6.65E-005	0.4	0.027	0.6	2.5	3.2E-08	18	Ck10-2ab	
43182	5.27E-004	0.43	0.075	1	2.5	1.8E-07	18.5	Lc103-2ab	
999999	1E-009	0.002	0.001	0.01	2.5	1E-10	12	Lake	

Фиг. 11. Входна информация в модела

Fig. 11. Input data for the model

4. ПРЕДСТАВЯНЕ И ВИЗУАЛИЗАЦИЯ НА РЕЗУЛТАТИТЕ ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ОТТОКА

Представени са статистическите резултати, като в таблиците са показани стойностите за: PEAK [m³/s] – максимално изчислено водно количество от лимниграфа; MAXQOBS – максимално среднодневно водно количество; MAXQ – максимално симулирано водно количество; SHIFT – време на отместване на

MAXQOBS и MAXQ; RMSE - Root Mean Squared Error; R2 – коефициентът на определяне; Е – коефициентът на Nash-Sutcliffe; d - индекс на съответствие.



Фиг. 12. Високи вълни в периода 22.05. – 07.06.2012 г. симулирани от модела водни количества и статистика

Fig. 12. High waves - May 22 – June 7, 2012 simulated by the model discharges and statistics

През 2012 г. в периода 22.05. – 07.06.2012 г. във водосбора, вследствие на валежи е преминала висока вълна. На Фигура 12 са представени хидрографите на високите вълни в някои от наблюдаваните хидрометрични станции в разглеждания водосбор. За всяка станция са показани хидрографите на симулираните и наблюдаваните водни количества в периода на високата вълна. Представени са и статистическите резултати.

5. АНАЛИЗ НА РЕЗУЛТАТИТЕ

Моделът с калибрираните параметри добре описва високите вълни и статистическите оценки са значими, както по отношение на пика на високата вълна, така и по отношение на времето на настъпване на пика. Симулираните ходографи на високите вълни са с по-стръмно покачване и по-стръмно спадане, което е в резултат на това че данните и стъпката на модела е 24 часова, с което не може достатъчно подробно да бъде представено развитието на процесите в почвения слой. Станциите при с. Кобиляк и с. Бутан са повлияни от работата на язовир Огоста и затова статистическите резултати не са добри, но все пак коефициентът на корелация и времето на настъпване на пика за станцията при с. Кобиляк са задоволителни. Следващото развитие на модела е да бъде взето в предвид влиянието на работата на яз. Огоста върху оттока след него.

6. ПРОГНОЗИРАНЕ НА РЕЧНИЯ ОТТОК С МОДЕЛА ТОРКАРІ ВЪВ ВОДОСБОРА НА РЕКА ОГОСТА

Моделът ТОРКАРІ показва много добри резултати при симулирането на високи вълни, пиковете на високите вълни и време на настъпване на пика. С калибрираните параметри за модела прогнозирането на оттока във водосбора на р. Огоста започна на 31.10.2018 г.. Стойностите на физически базираните параметри за модела са получените след калибриране и валидиране на модела. Файлът, който съдържа информация със стойностите за тези параметри и е използван за прогностичния период е създаден за 25.10.2013 г., защото условията във водосбора са същите, каквито са в началния период (няма сняг, няма повърхностен отток, нивата и водните количества в станциите са близки като стойности).

Входната прогностична метеорологична информация е от числения модел ALADIN България и WRF.

Резултатът от модела за водосбора на р. Огоста е прогнозирани водни количества за четирите XMC (хидрометрични станции), за които ежедневно се получават данни. Прогнозата е представена, като графики и таблици с прогнозирани водни количества за следващите три дни и измерени водни количества за девет дена назад. Файлът е "Дневен бюлетин за прогнозирани водни количества за водосбора на р. Огоста" и се публикува всеки ден на страницата <u>http://hydro.bg.</u> На графиките са изобразени и нивата на предупреждение – внимание (жълто), предупреждение (оранжево) и тревога (червено). Водните количества, които съответстват на праговете са определени статистически на базата на историческа хидрологична информация.

На Фигура 13 е представено последователно ежедневната прогноза на водните количества за периода 09-18.04.2019 г. за станцията на р. Дългоделска Огоста при с. Говежда, в резултат на валежи в периодите 08.04. – 10.04.2019 г. и 12.04. – 15.04.2019 г.



Фиг. 13. Дневен бюлетин за прогнозирани водни количества във водосбора на р. Огоста

Fig. 13. Daily bulletin for forecasted discharges in the Ogosta river basin

На Фигура 14 са показани резултати от модела ТОРКАРІ - сравнени са симулираните водни количества с изчислените по временни ключови криви водни количества за горепосочения период. С жълто са представени валежите, със сиво е представено снеготопенето, синята линия е изчислените водни количества по временна ключова крива, а с червено са представени симулираните водни количества за горепосочения период.



Фиг. 14. Резултати от модела ТОРКАРІ за периода 09-18.04.2019 г.

Fig. 14. Results of TOPKAPI model for period 09-18.04.2019

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Температурите в периода 09-18.04.2019 г. са положителни, което е довело до отразеното в модела снеготопене и почвена влажност над 70%. В резултат на това, валежите в първия (19-25 mm) и във втория период (17 mm) са довели до покачване на водното ниво и съответно до увеличаване на водното количество, както показват и регистрираните и симулираните от модела данни. Поради високата почвена влажност и количествата на валежите за по реалистични можем да приемем резултатите от модела, тъй като оперативната ежедневна информация за измерените водни количества по временни ключови криви е на база измерения воден стоеж само в 08 часа сутринта, с което не може да се отрази развитието на процеса валеж-отток.

Моделът може успешно да бъде приложен за прогнозиране на оттока, което ще помогне за изготвяне на предупреждения при екстремни явления и ще повиши обществената осведоменост в случаи на наводнения.

БЛАГОДАРНОСТИ

Към Национална програма "Млади учени и постдокторанти", модул "Млади учени" на Министерството на образованието и науката.

ЛИТЕРАТУРА

- Kumar, M., Duffy, C. J., & Salvage, K. M. (2009). A second-order accurate, finite volume–based, integrated hydrologic modeling (FIHM) framework for simulation of surface and subsurface flow. Vadose Zone Journal, 8(4), 873-890
- Liu, Z., Todini, E., (2002), Towards a comprehensive physically-based rainfall-runoff model, Hydrology and Earth System Sciences, 6(5), 859–881.

Mazzetti, C., (2015), TOPKAPI MODEL REFERENCE

- Nachtergaele, F., Velthuizen, H., Verelst, L. (2009),
- http://www.fao.org/fileadmin/templates/nr/documents/HWSD/HWSD_Documentation.pdf
- Nedkov, N., Artinyan, E. (2017), Modelling and forecasting of the riverflow in lower course of Osam, Vit and Ogosta rivers ISBN:978-954-90537-2-2;

http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf

Peng, D., Zhijia, L., Zhiyu, L., (2008), Numerical algorithm of distributed TOPKAPI model and its application, Water Science and Engineering, Vol. 1, No. 4, 14-21 ISSN 1674-2370, <u>http:// kkb.hhu.edu.cn.</u>