



Set-up of hydrological forecasting model for the basin of Veleka river

Georgy Koshinchanov*

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

Abstract: The hydrological modelling and forecasting (Stoyanova&Balabanova, 2019) are an essential part of the effective use of the water resources in a given catchment. With their help, in case of forecasted hydrological extremes or flood hazards, measures could be taken to mitigate the damages. Hydrological modelling is especially important for watersheds and areas, which are determined as areas with high risk of future floods as well as such with past flood events. According the Preliminary Flood Risk Assessment (PFRA) for the Black Sea Basin Directorate, the selected basin of Veleka river is in such a region. The steps for building a hydrological model are presented in the paper. After calibration a sensitivity analyses of the model parameters was performed. The statistical scores for the created models are presented in the paper and conclusions are drawn.

Key words: hydrological model, MIKE11, sensitivity analyses

Създаване на хидроложки модел за водосбора на река Велека

Георги Кошинчанов*

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

Резюме: Хидроложкото моделиране и прогнозиране (Stoyanova&Balabanova, 2016) са важна част за ефективното използване на водните ресурси на даден водосбор. С тяхна помощ, в случай на прогнозираны неблагоприятни хидрологични явления, могат да бъдат взети

* Georgy.Koshinchanov@meteo.bg

мерки за намаляване на щетите. Особено важно е хидроложкото моделиране за водосбори и места, които са със значителен риск от бъдещи наводнения, както и за райони със случили се в миналото наводнения. Според предварителната оценка на риска от наводненията (ПОРН) за Басейнова дирекция „Черноморски район“, избраният водосбор на река Велека попада в такъв район. В статията са показани стъпките по създаване на хидроложки модел. След калибриране е направен и анализ на чувствителността на параметрите на модела. В статията са представени статистическите оценки на създадения модел и са направени заключения.

Ключови думи: хидроложки модел, MIKE11, анализ на чувствителността

1. ВЪВЕДЕНИЕ

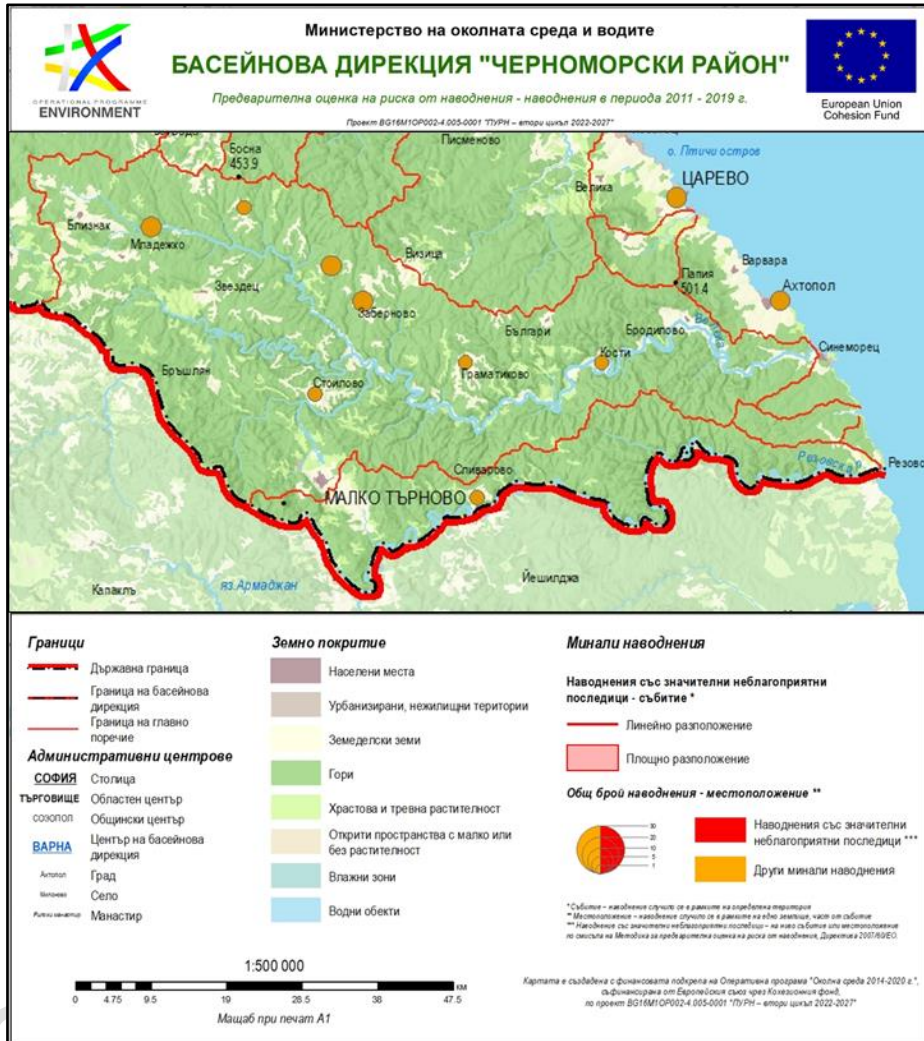
За настоящето изследване е избран водосбора на река Велека. Във водосбора на реката има голям брой случили се значими наводнения (<https://www.bsbd.org/>) (фигура 1). В предварителната оценка на риска от наводнения (ПОРН), районът е определен като такъв със значителен потенциален риск от наводнения. Интензивните валежи, както и комбинацията им със снеготопене са предпоставка за възникване на поройни и речни наводнения в изследвания водосбор. Към устието на реката има предпоставки и за възникване на наводнения, предизвикани от високо морско ниво (вследствие на ветрови нагон), когато вятърът изтласква морската вода към брега и в същото време обилните валежи в горната част на водосбора създават висока вълна, която бива възпрепятствана да се оттече нормално. Така се получава едновременно заливане от морето и от реката, което увеличава засегнатите територии и щетите по инфраструктурата в района. Основната цел на това изследване е да се покажат стъпките по създаване на модела. След това чрез статистически оценки ще бъде оценен създадения модел дали е подходящ за прогнозиране на екстремни хидрологични явления. Така създадения модел ще подпомага вземането на решения за устойчиво управление на водните ресурси във водосбора на реката.

2. ФИЗИКО-ГЕОГРАФСКО ОПИСАНИЕ НА ВОДОСБОРА

Водосборът на река Велека се намира в югоизточната част на България (фигура 2). Извират от Странджа планина в Турция, като по-голяма част (около 74 %) от водосбора на реката се намира на българска територия. Някои основни хидроложки характеристики на реката са посочени в таблица 2. Релефът на водосбора е равнинен до нископланински в най-горните му части. В горното течение (до село Звездец) реката тече в тясна долина с голям надлъжен наклон. Характерно за тази част от водосбора е, че е добре залесен с високостеблени гори. След село Звездец наклона рязко намалява и реката силно меандрира. Залесеността също намалява като основно е нискостеблени гори. Средният процент на залесеност на водосбора е 60. (Генерални схеми, 2000). Близо до

Създаване на хидроложки модел за водосбора на река Велека

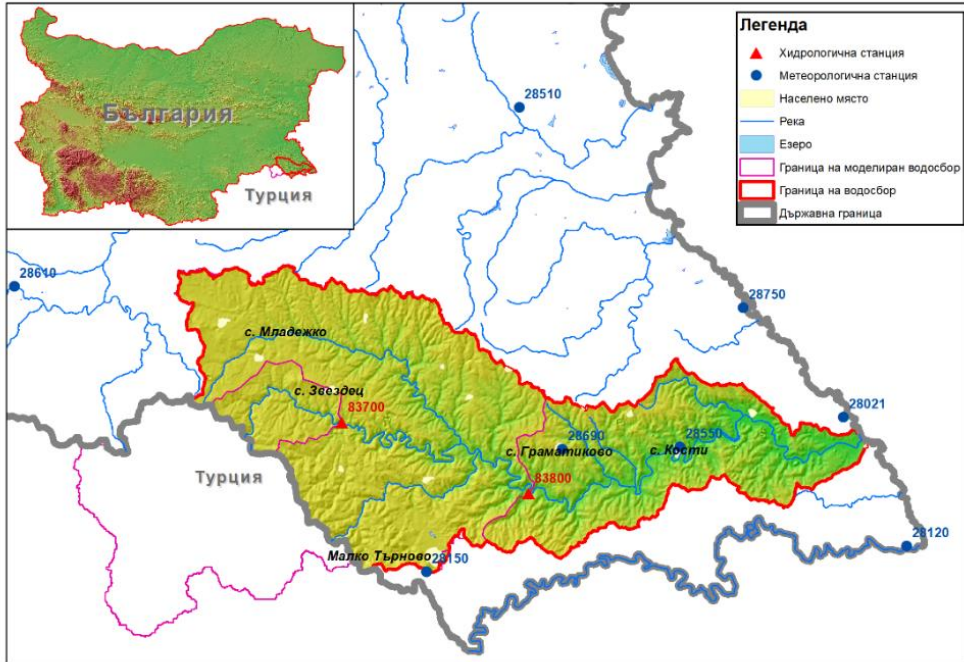
устието влиянието от подприщването на морето е значително, особено при силен изток-североизточен вятър. В съчетание с висока вълна (вследствие на валежи и/или снеготопене), там нерядко се случват разливи на реката.



Фиг. 1. Райони с минали наводнения във водосбора на река Велека

(<https://www.bsbd.org/>)

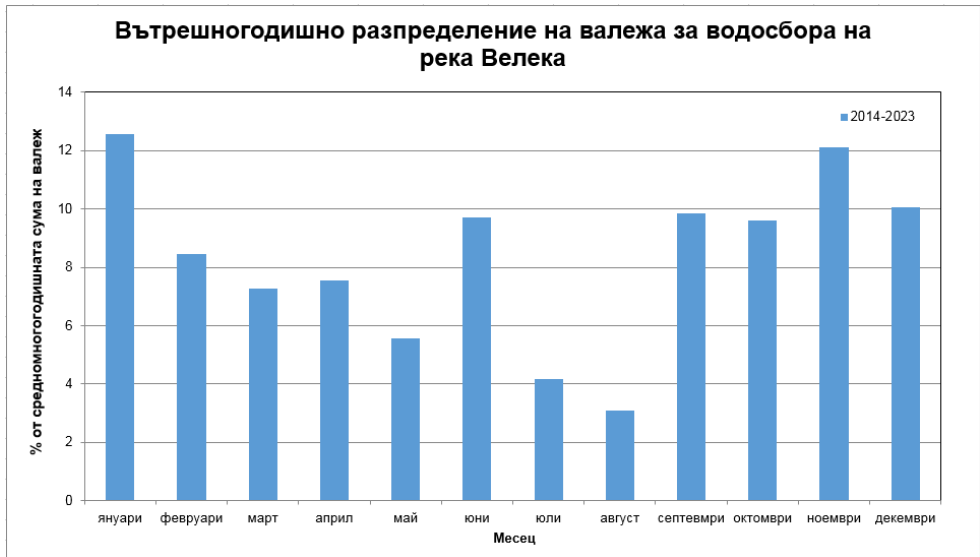
Fig. 1. Areas with past flood events in Veleka river basin (<https://www.bsbd.org/>)



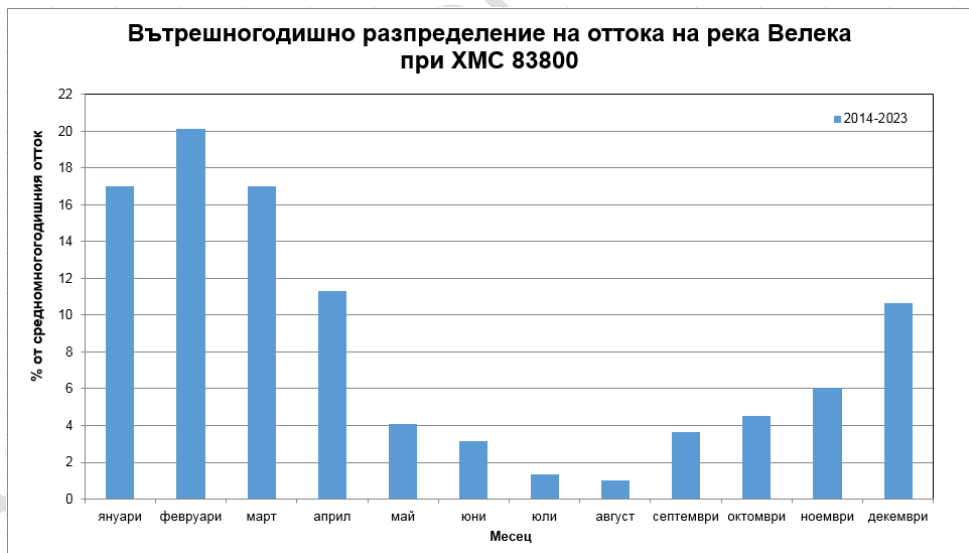
Фиг. 2. Местоположение на водосбора на река Велека и налични хидрологични и метеорологични станции във и около водосбора

Fig. 2. Location of watershed of Veleka river and available hydrological and meteorological stations around and in the watershed

Водосборът попада в континентално-средиземноморска климатична област. Той се характеризира с мека и влажна зима, хладна и влажна пролет, сухо и топло лято и топла и влажна есен. На фигура 3 е показано вътрешногодишното разпределение на валежните суми като процент от средномногогодишната сума за периода 2014-2023 година. Графиката е представителна за водосбора на реката до ХМС Граматиково. При направата ѝ е използвана интерполация по метода на Thiessen в GIS (фигура 6).



Фиг. 3. Вътрешно годишно разпределение на валежа като процент от средногодишния валеж за водосбора на река Велека до ХМС Граматиково
Fig. 3. Intra-annual distribution of the precipitation as percentage of the annual average precipitation for the watershed till Gramatikovo station



Фиг. 4. Вътрешно годишно разпределение на оттока на река Велека при ХМС Граматиково като процент от средногодишния отток
Fig. 4. Intra-annual distribution of the discharge as percentage of the annual average discharge of Veleka river at Gramatikovo station

Формирането и режимът на речния отток е в тясна зависимост, както от климатичните условия, така и характеристиките на постилащата повърхнина. На фигура 4 е показано вътрешногодишното разпределение на оттока на река Велека при село Граматиково (ХМС 83800) като процент от средномногогодишния отток. Пълноводието в басейна се наблюдава през зимата и началото на пролетта (декември-април), като в периода декември-февруари по-често се случват и интензивни и обилни дъждове, понякога комбинирани с интензивно снеготопене. От фигури 3 и 4 прави впечатление, че процентно валежа през месец ноември е повече сравнен с оттока. Това може да бъде обяснено с факта, че през ноември все още почвата е с по-малко съдържание на вода в нея и по-голяма част от падналия валеж отива като подземен отток.

Снежната покривка има голямо значение като фактор при формирането на речния отток. Съдържанието на вода в снежната покривка, характерът на натрупването ѝ през зимата и топенето ѝ определят в значителна степен пролетния отток, а следователно и режима на реката. Върху задържането и натрупването на снежна покривка влияят много физикогеографски фактори: географско положение, релеф, изложение и метеорологични условия (температура, скорост и посока на вятър, относителна влажност на въздуха). Във водосбора снежна покривка има главно в по-високите части от втората половина на декември до началото на март. В ниските части на водосбора снежна покривка почти не се образува поради влиянието на Черно море. В Таблица 1 са представени данните за наличие на снежна покривка в станциите намиращи се около и във водосбора на реката.

Таблица 1. Брой на дните със снежна покривка по месеци за периода 1991-2017 г. (Bocheva et al, 2019)

Table 1. Number of days with snow cover by months for the period 1991-2017 (Bocheva et al, 2019)

Станция	Брой дни със снежна покривка				
	XI	XII	I	II	III
Средец	-	3	9	6	2
Малко Търново	1	6	12	10	3

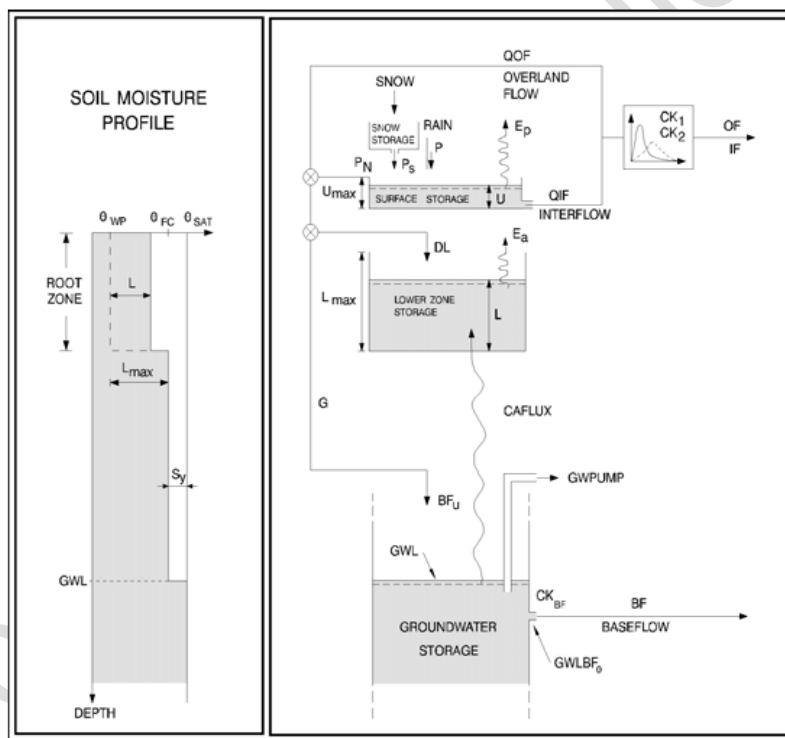
Намаляването на снежната покривка през февруари и март обяснява и повишият процент на оттока през тези месеци в сравнение с валежните суми (фигури 3 и 4).

3. МОДЕЛИРАЩА ПЛАТФОРМА

За моделираща платформа е избран NAM модулът на MIKE11 - софтуерен пакет, разработен от института "DHI Water&Environment", Дания. Модулът валеж-отток (NAM) е концептуален хидроложки модел със съсредоточени параметри. За да се

описат хидроложките процеси в басейна, NAM модулът използва 4 резервоара, които задържат и разпределят водата от натрупания сняг, повърхностни води, води в коренообитаемия почвен слой и подземни води. Тези резервоари пресъздават компонентите на хидроложкия цикъл в модела (MIKE BY DHI, 2009) (фигура 5). Също така се използват и параметри за симулиране на процеса на снеготопене – използва се т. нар. *degree-day* подход, гранична температура между твърд и течен валеж и височинни зони с цел по-добро описание на процеса на снеготопене във височина. Данните необходими за калибриране на модела са осреднени за водосбора стойности на:

- валеж;
- температура;
- потенциална евапотранспирация;
- водно количество в крайния створ.



19974ncd\Nam-1.cdr\al

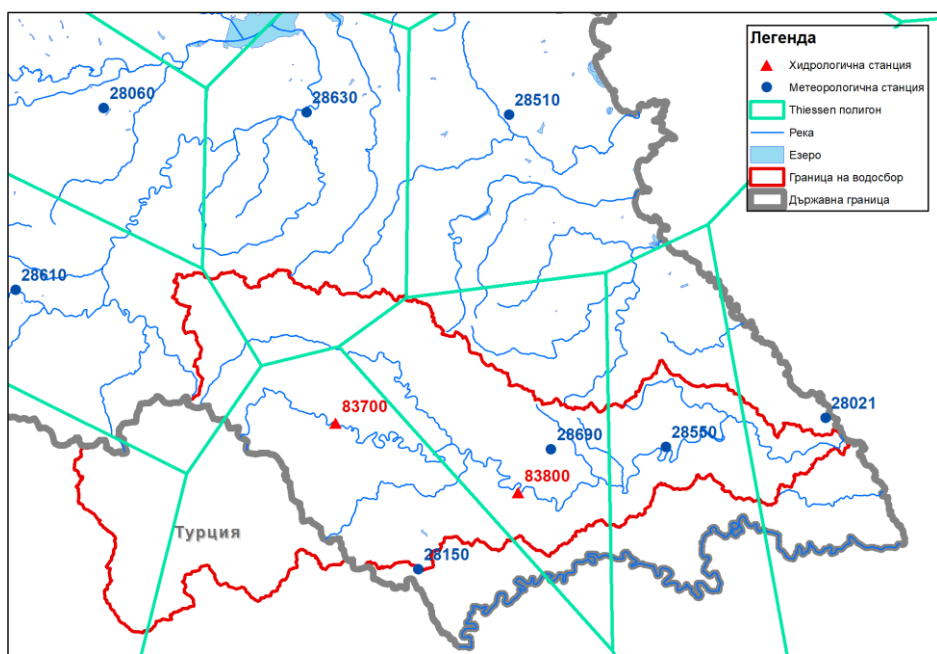
Фиг. 5. Структура на NAM модела (MIKE BY DHI, 2009)

Fig. 5. Structure of the NAM model (MIKE BY DHI, 2009)

4. МЕТОДИ И ДАННИ

Поради редица обстоятелства е решено че създадените модели е подходящо да са с 24-часова стъпка. При създаването им е използвана историческа метеорологична информация за валеж и средноденонощна температура от общо пет климатични и валежмерни станции, които са разположени на границата и извън водосбора. Една от климатичните станции и две от трите дъждомерни станции, са разположени извън границите на водосбора, а другите две (една климатична и една дъждомерна) се намират на границата на водосбора на реката до село Граматиково. Използвана е също историческа хидрологична информация. Във водосбора има две хидрометрични станции на основната река – една в горната част на водосбора – при село Звездец (№ 83700) и една в долната част му част – при село Граматиково (№ 83800) (фигура 2). Основните хидроложки характеристики на водосбора на реката към двете хидрометрични станции са показани по-долу в Таблица 2.

Поради факта, че NAM моделът е модел със съсредоточени параметри, е необходимо да бъде приета една (осреднена за водосбора) стойност за всеки вид входна информация, използвана в модела. За получаване на 24-часовата сума на валежа ще се използва метода на Тийсен (Thiessen) полигони от валежмерните станции (фигура 6). Така, за всеки от двата моделирани водосбора са избрани тежестните коефициенти на всяка от станциите попадащи във водосборите.



Фиг. 6. Thiessen полигони на валежмерните станции за водосбора на река Велека
Fig. 6. Thiessen polygons of the rainfall stations in Veleka watershed

Таблица 2. Основни хидроложки характеристики на водосбора на река Велека
Table 2. Basic hydrological characteristics of the watershed of Veleka river

Станция	Площ на водосбор, [km ²]	Дължина на реката, [km]	Средна надморска височина, [m]	Среден наклон на водосбора, [%]	Среден наклон на реката, [‰]
83800-село Граматиково	730	93.2	383	15.4	5.6
83700-село Звездец	248	49.3	494	15.1	7.9

Поради сравнително малката пространствена изменчивост на температурата (при еднакви други условия) е изчислена средно-аритметична стойност на средноденоношната температура от климатичните станции Малко Търново и Средец около водосбора за периода 2014-2023 г. За по-доброто описание на процеса на снеготопене ще бъде използван вертикален градиент на по-горе изчислената температура. Той е изчислен за периода 2014-2023 г. на база надморската височина на двете климатични станции, като получената стойност е 0.33°C/100 m.

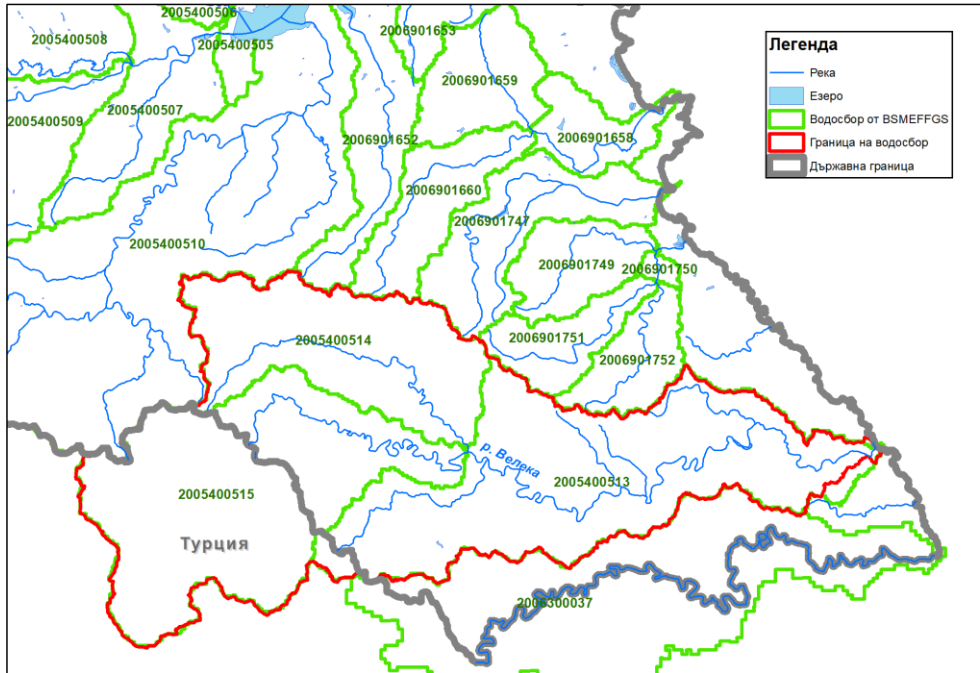
Освен метеорологична и хидрологична информация за изграждането на NAM модел е необходимо да бъде изчислена и потенциалната евапотранспирация (PET) за моделирания водосбор. В литературата (Alexandris, 2008; Fontenot, 2004; Alkaeed, 2006) има различни анализи, експерименти и опити за изчисляване на потенциалната евапотранспирация и използването ѝ като входна информация в модел тип "валеж-отток". Всички те се стремят към намаляване на използваните параметри в оригиналната формула на Penmann-Montieth (Allen, 1998). За 24-часова симулационна стъпка, с каквато ще бъде изграден настоящият модел, са необходими месечни стойности на PET. Поради причина, че на по-късен етап може да се премине към учестена моделна стъпка е решено да се използват дневни средномногогодишни стойности на PET, изчислени в рамките на проекта "Black Sea Middle East Flash Flood Guidance System" (BSMEFFGS). За целите на този проект, територията на България е разделена на 433 водосбора. За всеки от тях са изчислени дневни стойности на референтната потенциална евапотранспирация. Водосборът на река Велека попада в три подводосбора с номера 2005400515, 2005400514 и 2005400513 (фигура 7). За всеки ден от годината е изчислена средноаритметична стойност на PET.

4.1 Калибриране на модела

4.1.1 Първоначален избор на някои от параметрите на модела.

Стойностите на параметъра *L_{max}* (параметър възпроизвеждащ почвената влажност в коренообитаемия слой на водосбора), получени при калибрационния процес, могат да бъдат предварително определени и в по-тесен диапазон, в зависимост от водно-физичните характеристики на почвите във водосбора –

пределна полска влагоемност (ППВ), влажност на завяхване (ВЗ) и дълбочината на кореновата система. Преобладаващите почвени типове във водосбора на река Велека са канелени горски почви – излужени и оподзолени и жълтоземни позолисти (Койнов, 1998), чиято дълбочина варира от 100 до 140 cm (Донов, 1967). За настоящата разработка ще се приеме, че средната дълбочина на коренообитаемия почвен слой достига до 120 cm.



Фиг. 7. Разпределение на водосборите в проекта BSMEFFGS и идентификационен номер на водосбора на река Велека

Fig. 7. Distribution of the watersheds in the BSMEFFGS and their identification numbers for the Veleka river basin.

Във водосбора на реката не попадат агрометеорологични станции от мрежата на НИМХ, но върху същите почви са разположени станциите в Ямбол и Сливен. За станцията в град Сливен стойностите на ППВ и ВЗ за 100 cm слой са съответно: 356 mm и 210 mm, и продуктивният воден запас е 146 mm. За станцията в Ямбол съответните стойности са 386 mm и 208 mm, като продуктивният воден запас е 178 mm.

От по-горе цитираните данни в процеса на калибриране се приемат граници на изменение на параметъра L_{max} от 120 до 180 mm.

В литературата (MIKE BY DHI, 2009) се препоръчва параметърът U_{max} (параметър възпроизвеждащ задържането на вода от неравностите на терена и най-горния обработваем почвен слой), при първоначалния стадий на калибриране

да се приеме в границите 0.1 до 0.2 от L_{max} . Поради тази причина за U_{max} ще бъдат зададени граници на изменение от 10 до 40 mm.

От Таблица 3 се вижда, че средно между 25 и 65 % от валежа на годишна база се реализира в повърхностен отток. Тези граници ще бъдат заложени за коефициента на повърхностен отток $CQOF$ при първоначалния етап на калибриране на модела.

Таблица 3. Процентно отношение на оттока спрямо валежа на годишна база за водосборите на река Велека до станции 83700 и 83800

Table 3 Ratio in [%] between the annual surface runoff up to the station 83700 and 83800 and the annual precipitation over the respective basins.

година	83700			83800		
	валеж [mm]	отток [mm]	отношение	валеж [mm]	отток [mm]	отношение
2014	1324.8	315.1	23.8	1322.0	396.5	30.0
2015	829.9	382.9	46.1	755.9	399.6	52.9
2016	745.3	209.0	28.0	681.6	225.0	33.0
2017	1290.6	419.2	32.5	1224.6	585.6	47.8
2018	1085.7	580.2	53.4	1014.7	762.1	75.1
2019	848.2	289.6	34.1	737.0	297.4	40.4
2020	643.4	139.6	21.7	601.4	107.7	17.9
2021	1033.8	426.0	41.2	974.6	349.8	35.9
2022	821.2	259.3	31.6	780.5	256.0	32.8
2023	834.7	368.0	44.1	826.4	212.9	25.8

4.1.2. Процес на калибриране на модела

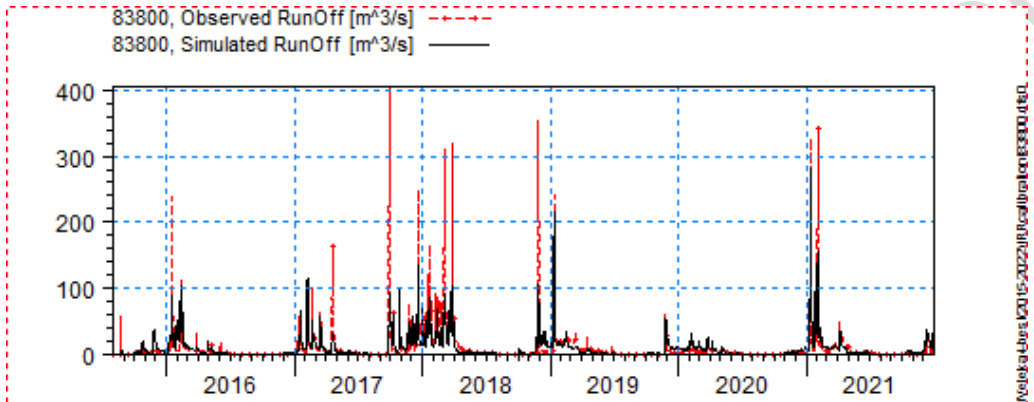
За период на калибриране е избран периода август 2015 – декември 2021, а за период на валидиране е избран периода януари 2022 – декември 2023. В периода на калибриране имаме както влажни години (2018 и 2021), така и нормални години (2016 и 2017), а също и сухи години (2019 и 2020). В периода на валидиране и двете години се характеризират като сухи.

При калибрирането на моделите могат да се използват автоматични процедури разработени от DHI (MIKE BY DHI, 2009), като се разработени следните цели (целеви функции):

- оптимизиране на водния баланс – съблюдаване на симулирания и наблюдавания отток;
- оптимизиране на средната квадратична грешка (RMSE);
- оптимизиране на пиковите – фокусира се върху водни количества над определен праг;
- оптимизиране на ниските води – фокусира се върху водни количества под определен праг.

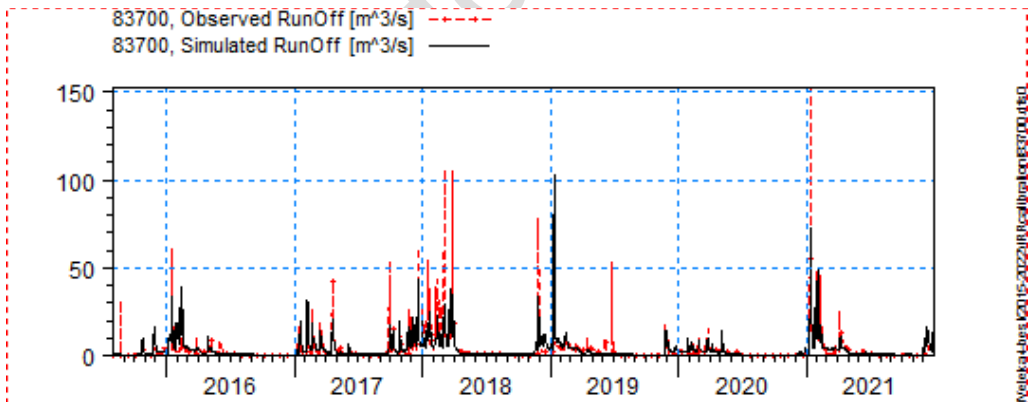
При калибрирането могат да се използват 1 или повече от горните целеви функции. Най-често, включително и в този случай, при първоначалното калибриране на параметрите се използва комбинацията от първите две функции.

На фигури 8 и 9 са показани хидрографи на симулираните и наблюдавани водни количества на станциите при село Звездец и село Граматиково с дневна стъпка за периода на калибриране.



Фиг. 8. Наблюдавано и симулирано водно количество с дневна стъпка при станция Граматиково за периода на калибриране

Fig. 8. Observed and simulated discharge with daily time step at Gramatikovo station for the calibration period



Фиг. 9. Наблюдавано и симулирано водно количество с дневна стъпка при станция Звездец за периода на калибриране

Fig. 9. Observed and simulated discharge with daily time step at Zvezdets station for the calibration period

За оценка на представянето на моделите са използвани критериите използвани три статистически оценки: коефициент на Nash-Sutcliffe (NSC), коефициент на корелация (CC) и процентно отклонение (PBIAS), дефинирани като:

$$NSC = 1 - \frac{\sum_{k=1}^N (Qo_k - Qs_k)^2}{\sum_{k=1}^N (Qo_k - \bar{Qo})^2} \quad (1)$$

$$PBIAS = \frac{\sum_{k=1}^N (Qs_k - Qo_k)}{\sum_{k=1}^N Qo_k} * 100 \quad (2)$$

където:

Qo_k - наблюдавано водно количество в k -тия ден [m^3/s];

Qs_k - симулирано водно количество в k -тия ден [m^3/s];

\bar{Qo} - средноаритметична стойност на водното количество за изследвания период [m^3/s];

N - брой на дните в изследвания период.

NSC варира от $-\infty$ до 1. Колкото по-близо до 1 е стойността, толкова по-добре моделът описва реалния хидрограф. Една от причините за избора на този критерий е, че дава по-голяма тежест на високите стойности и времето на настъпване на водните количества, в сравнение с други популярни методи за оценка (Sevrat&Dezeter, 1991).

Статистическият критерий PBIAS дава тенденцията на симулираното водно количество. Оптималната стойност на PBIAS е 0, като положителните стойности показват завишаване на симулираните водни количества, а отрицателните – занижаване. В Таблица 4 са дадени границите на двата коефициента според (Moriassi et.al., 2007), за определяне на модела като много добър, добър, задоволителен и незадоволителен.

Таблица 4. Статистически критерии за качеството на модела (Moriassi et al, 2007)

Table 4. Statistical scores for model performance (Moriassi et al, 2007)

Оценка на работата на модела	NSC	PBIAS
	дневна стъпка	дневна стъпка
Много добър	$0.65 < NSC \leq 1.00$	$PBIAS \leq \pm 10$
Добър	$0.54 < NSC \leq 0.65$	$\pm 10 \leq PBIAS \leq \pm 15$
Задоволителен	$0.50 < NSC \leq 0.54$	$\pm 15 \leq PBIAS \leq \pm 25$
Незадоволителен	$NSC \leq 0.50$	$PBIAS \geq \pm 25$

5. РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЯ

Статистическите оценки на създадените модели за периода на калибриране 2015 – 2021 г. са показани в Таблица 5, а за периода на валидиране са показани в Таблица 6.

Таблица 5. Статистически оценки на моделите за периода на калибриране

Table 5. Statistical scores for model performance for the calibration period

	83800	83700
NSC	0.57	0.54
PBIAS	0.89	1.2

Таблица 6. Статистически оценки на моделите за периода на валидиране
Table 6. Statistical scores for model performance for the validation period

	83800	83700
NSC	0.21	0.41
PBIAS	37	-49

От статистическите оценки се вижда се, че създадените модели могат да се класифицират като добри за периода на калибриране. В повечето случаи пиковете са добре описани по време, но често се случва да са подценени като стойности. За сметка на това ниските води много често са завишени. Общото заключение на създадените модели с калибрирани параметри е, че те са статистически значими и симулираните водни количества са леко завишени и при двете станции, което се вижда и от стойността на PBIAS (Таблица 5).

Не толкова значимите статистически оценки в периода на валидиране на модела (Таблица 6) могат да бъдат обяснени с това, че в периода на калибриране има и влажни периоди, а в периода на валидиране и двете години са сухи.

В Таблица 7 са показани получените при калибрирането параметри.

Таблица 7. Стойности на параметрите получени при калибрирането на моделите
Table 7. Values of the parameters obtained in the calibration process of the models

Параметър	Избрани стойности	Избрани стойности
	83700	83800
U _{max}	35	30.2
L _{max}	116	81.8
CQOF	0.939	0.994
СК1F	503.1	524
СК1	17.2	16.6
СК2	42.2	35.6
ТОF	0.311	0.538
Т1F	0.54	1.76*10 ⁻⁶
TGW	0.0714	0.395
СКBF	4444	4237

С цел да се провери кои от параметрите на модела оказват най-съществено влияние при симулациите на отока, както и какви са оптималните им стойности, е направен анализ на чувствителността на всеки един от използваните параметри. Анализът е проведен чрез поставяне на даден параметър като променлива и запазване на останалите параметри (Rodger, 2004), (Galkate, 2014). При анализа са използвани три статистически оценки: коефициент на Nash-Sutcliffe (NSC), коефициент на корелация (CC) и сума от квадрата на разликите (SSE), като стойностите на CC и SSE се дават съответно с формули (3) и (4):

Създаване на хидроложки модел за водосбора на река Велека

$$CC = \frac{\sum_{k=1}^N (Q_{O_k} - \bar{Q}_O)(Q_{S_k} - \bar{Q}_S)}{\sqrt{\sum_{k=1}^N (Q_{O_k} - \bar{Q}_O)^2 (Q_{S_k} - \bar{Q}_S)^2}} \quad (3)$$

$$SSE = \sum_{k=1}^N (Q_{O_k} - Q_{S_k})^2 \quad (4)$$

където:

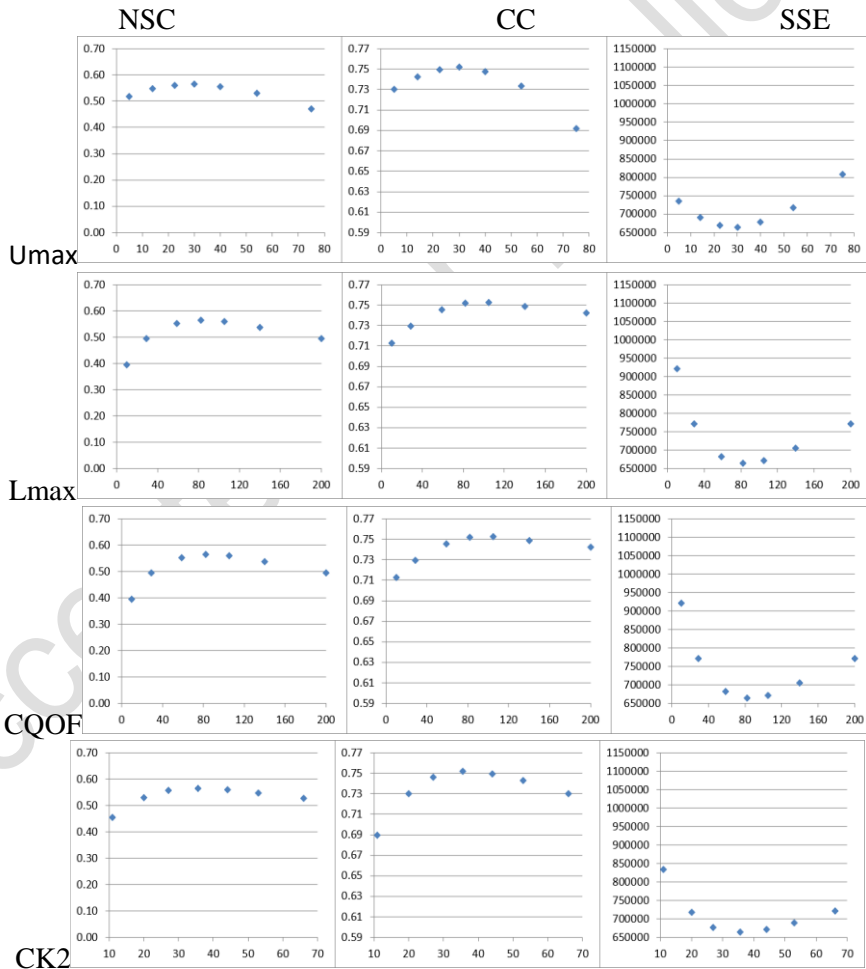
Q_{O_k} - наблюдавано водно количество в k -тия ден [m^3/s];

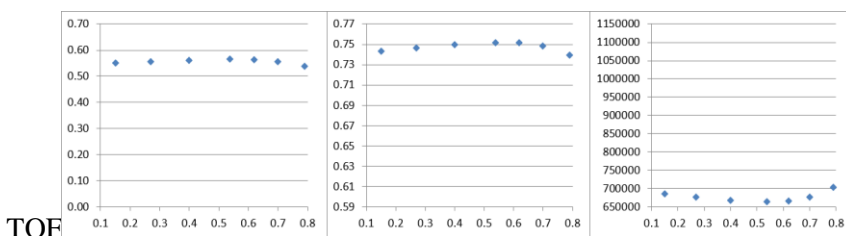
Q_{S_k} - симулирано водно количество в k -тия ден [m^3/s];

N - брой на дните в изследвания период.

След направения анализ се установи, че за водосбора на река Велека:

- параметрите свързани с повърхностния отток: L_{max} , U_{max} , $CQOF$, $CK2$, TOF (фигура 10), оказват най-съществено влияние върху резултатите и точността на модела;

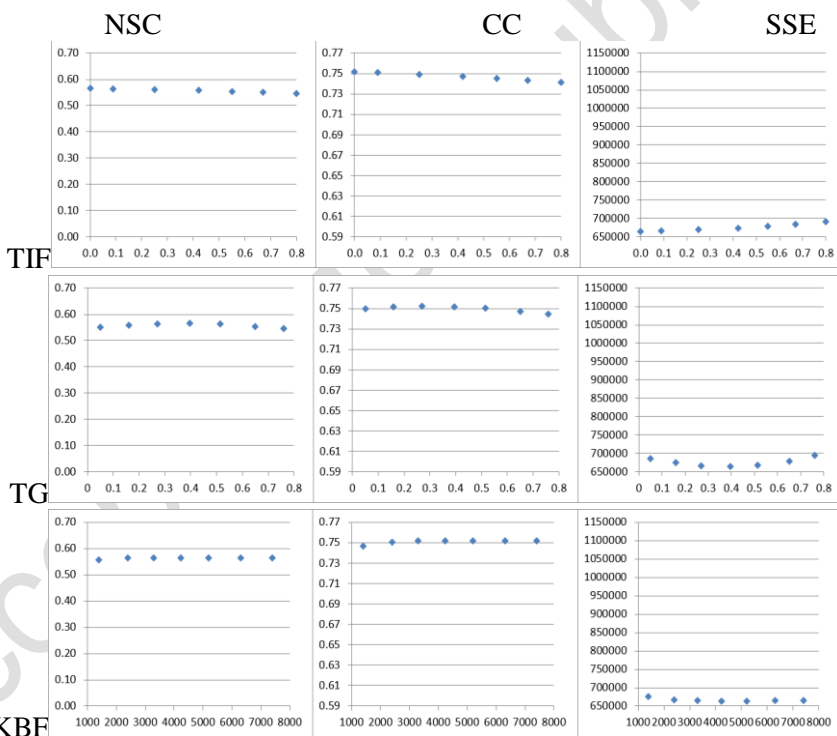




Фиг. 10. Графична зависимост между статистическите оценки и промяната на част от параметрите на модела за река Велека при село Граматиково

Fig. 10. Graphical relationship between the statistical scores and change of some of the parameters for Veleka river model up to Gramatikovo village

- промяната на параметрите свързани с подхранването от подземни води - TIF, TG, СКБФ не оказва влияние върху резултатите и точността на модела (фигура 11).



Фиг. 11. Графична зависимост между статистическите оценки и промяната на тези параметри, които не оказват съществено влияние върху резултатите и точността на модела за река Велека при село Граматиково

Fig. 11. Graphical relationship between the statistical scores and the parameters which do not significantly affect the results and accuracy of the Veleka river model up to Gramatikovo village

От направения анализ по-горе анализ се вижда, че стойностите получени в процеса на калибриране на моделите са оптимални и не се налага промяната им.

Не дотам добрите статистически оценки на моделите могат да се дължат на множество фактори:

- работи се с модел със съсредоточени параметри – входната информация (валеж, температура, евапотранспирация) се приема осреднена за целия водосбор, а много често метеорологичните и хидрологични елементи имат значителна пространствена изменчивост;

- работи се с дневна стъпка - намаляването ѝ (например на 6 ч или дори на 1 ч) вероятно би довело до по-добри резултати, особено що се отнася до прогнозирането на екстремните явления (Кошинчанов, Балабанова, 2021) и с оглед резултатите от хидроложкия модел за водосбора на р. Струма (Balabanova et. al., 2023);

- липсата на достатъчно гъста мрежа от метеорологични станции във водосбора – до село Граматиково има една дъждомерна станция, намираща се на границата на моделирания водосбор и нито една станция измерваща температура (климатична или синоптична);

- около 26 % от целия водосбор се намира на територията на република Турция и остава необхваната от наблюдения. Това оказва влияние особено за модела в горната част на водосбора (до ХМС Звездец), който в по-голяма си част (около 78%) е на турска територия.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Прогнозирането на речния отток е важна част от доброто управление на водните ресурси, както и за вземане на навременни и адекватни мерки с цел смекчаване на неблагоприятните последици от екстремни хидрометеорологични явления.

Създадените прогностични модели са на база историческа информация от мониторинговата мрежа на НИМХ, осреднени върху водосборите. След калибрирането на модела е направен анализ на чувствителността на модела към изменения на параметрите като по този начин са избрани оптималните такива. Анализът на резултатите (симулираните водни количества) показва, че моделът дава задоволителни до добри резултати.

Върху резултатите от хидрологичното моделиране влияят множество фактори, основен сред които е гъстота на мониторинговата мрежа. Автоматизацията на наблюденията, както и използването на дистанционни методи (радары, сателити) за пространствено представяне на необходимите данни за съставяне на модела – валежни суми и температура на въздуха, биха могли да допринесат за по-прецизен краен резултат.

Само част от горе-споменатите фактори могат да бъдат отчетени използвайки модели със съсредоточени параметри. Едно решение за подобряване на резултатите може да бъде използване на напълно разпределени физически-базираны модели като TOPKAPI. С него са създадени моделите за прогнозиране

на наводнения за водосборите на реките Огоста (Yordanova&Stoyanova, S., 2020) и Айтоска (Yordanova&Stoyanova, V., 2020).

Създадените за река Велека хидроложки модели са поредните създадени в секция „Хидрологични прогнози“ на НИМХ. С тях още повече се подпомага бързото вземане на решения при екстремни ситуации и успешно се включва към вече създадените модели и системи за ранно предупреждения от наводнения в България за райони в риск от наводнения. Освен вече изброените модели в секцията са създадени хидроложки модели за водосборите на реките Искър (Balabanova, 2014) и Струма (Balabanova et. al., 2023), използвайки невронни мрежи, както и хидроложки модели за водосборите на реките Вит (Stoyanova, S., & Balabanova, 2019) и Осъм, използвайки полуразпределения хидроложки модел SWAT.

ЛИТЕРАТУРА

Генерални схеми за използване на водите в районите за Басейново управление, том III Черноморски район, 2000 г, Институт по Водни Проблеми - БАН.

Донов, В. (1967), Горско почвознание, Изд. "Земиздат", 300 с.

Койнов, В., Кабакчиев, И., Бонева, В., (1998). Атлас на почвите в България, Земиздат, 321 с.

Кошинчанов, Г., Балабанова Сн. (2021) Подобряване прогнозирането на наводнения чрез намаляване на времевата стъпка. *Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology*, vol 25/1 (2021), ISSN 2535-0595

Alexandris, S., Stricevic, R., & Petkovic, S. (2008). Comparative analysis of reference evapotranspiration from the surface of rainfed grass in central Serbia, calculated by six empirical methods against the Penman-Monteith formula. *European Water*, 21(22), 17-28

Alkaeed, O., Flores, C., Jinno, K., & Tsutsumi, A. (2006). Comparison of several reference evapotranspiration methods for Itoshima Peninsula area, Fukuoka, Japan. *Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyushu University*, 66(1), 1-14

Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., and Smith, M. (1998) Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrig. and Drainage Paper No. 56*, Rome, 300 pp.

Balabanova, S., Stoyanova, V., & Yordanova, V. (2023). NEURAL NETWORK-BASED MODELS FOR STRUMA RIVER FLOW FORECASTING. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 23(3.1), 107-113

Balabanova, S. (2014). Operational system for streamflow forecasting in the Iskar river basin based on Artificial Neural Networks, *INHGA - Scientific Conference, Romania, Bucharest*, 10-11.November 2014, pp. 159-166

Bocheva, L., Nikolov, D., Evgeniev, R., & Ivanov, K. (2019). RECENT CLIMATE VARIABILITY OF SNOW COVER AND SNOW PRECIPITATION IN STRANDZHA REGION. *International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM*, 19(4.1), 1047-1052.

DHI-MIKE BY 2009. MIKE11. A modelling System for rivers and channels. Reference manual; https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water_Resources/MIKE_1D_reference.pdf, pp. 165-252

https://www.bsbd.org/bg/index_bg_965885.html

- Fontenot, R. L. (2004). An evaluation of reference evapotranspiration models in Louisiana (Doctoral dissertation, Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Natural Sciences In The Interdepartmental Program of Natural Sciences by Royce Landon Fontenot BS, Louisiana State University).
- Galkate, R. V., Jaiswal, R. K., Thomas, T., Nayak T.R. (2014). Rainfall Runoff Modeling Using Conceptual NAM Model, International Conference on Sustainability and management strategy, Institute of Management and Technology, Nagpur
- Moriasi, D.N., Arnold, J.G., Van Liew, M.W., Bingner, R.L., Harmel, R.D., Veith, T.L., Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations, Transactions of the ASABE 2007 v.50 no.3 pp. 885-900.
- Podger, G. (2004). Rainfall runoff library user guide. Cooperative Research Centre for Catchment Hydrology.
- Servat, E., Dezetter, A. (1991). Selection of calibration objective fonctions in the context of rainfall-runoff modelling in a Sudanese savannah area. Hydrological Sciences Journal, 36(4), 307-330.
- Stoyanova, S., & Balabanova, S. (2019). HYDROLOGICAL MODELLING WITH THE SOIL AND WATER ASSESSMENT TOOL: SPATIAL DATA PROCESSING FOR IDENTIFYING MODEL PARAMETERS USING GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEM. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 19(3.1), 253-258.
- Yordanova, V., & Stoyanova, V. (2020). MODELING FLOODS WITH A DISTRIBUTED HYDROLOGICAL MODEL IN A RIVER CATCHMENT. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 20(3.1), 249-255.
- Yordanova, V., & Stoyanova, S. (2020). Improved extreme flow modeling by reservoir management input using a physically based hydrological model: a case study of Ogosta reservoir in Ogosta river basin. International Multidisciplinary Scientific GeoConference: SGEM, 20(3.1), 185-191.