

ГОДИШНИК НА СОФИЙСКИЯ УНИВЕРСИТЕТ „СВ. КЛИМЕНТ ОХРИДСКИ“

ГЕОЛОГО-ГЕОГРАФСКИ ФАКУЛТЕТ

Книга 2 – ГЕОГРАФИЯ

Том 113

ANNUAL OF SOFIA UNIVERSITY “ST. KLIMENT OHRIDSKI”

FACULTI DE GEOLOGIE ET GEOGRAPHIE

Livre 2 – GEOGRAPHIE

Volume 113

---

## МОДЕЛИРАНЕ НА ОТТОКА НА РЕКА МУСАЛЕНСКА БИСТРИЦА – САМОКОВ ЗА ПЕРИОДА ОТ 01.09.2007 ДО 31.08.2010 г.

ИЛИЯ ДИМИТРОВ

*Катедра по климатология, хидрология и геоморфология  
e-mail: iliapropstoyanov@abv.bg*

*Iliia Dimitrov. MODELLING OF THE MUSALENSKA BISTRITSA RIVER DISCHARGE  
NEAR THE TOWN OF SAMOKOV DURING THE PERIOD 01.09.2007 TO 31.08.2010*

The paper presents the results of modelling the Musalenska Bistritsa river discharge near the town of Samokov where the river's basin outlet is ungauged during the period 01.09.2007 to 31.08.2010. For this purpose, the Martinec's Snowmelt Runoff Model (SRM) is used. Also, meteorological, climatological and historical hydrological data from the stations at Samokov, Borovets and Musala peak are used to calculate daily average temperature, daily precipitation, runoff coefficient and recession coefficient. Satellite scenes from Landsat 5 and Landsat 7 are used to determine the snow-covered area using NDSI. Simulation results are shown.

*Keywords:* Snowmelt Runoff Model, ungauged river basin outlet.

### УВОД

Определянето на обема на речния отток във водосбори без хидрометрични наблюдения е един от основните проблеми в хидроложките проучвания и се отнася както за райони с голяма пространствена изменчивост, така и за високопланински територии. Един от подходите за изучаване на хидроложките процеси в речни водосбори, наред с районирането (и използване на хид-

рометрична информация от речни басейни с хидрометрични наблюдения), е моделирането на връзката валежи и речен отток (Patil & Stieglitz 2014 и др.), моделиране на основата на сателитни данни (Sun et al. 2015 и др.) и др. Хидроложкото моделиране е съпътствано от несигурност при симулациите на модела (Gupta et al. 2012; Xie et al. 2014; Khaki et al. 2019 и др.) и затруднения при калибрирането и при оценката на модела (Hartanto et al. 2017; Xiong et al. 2019 и др.). Заедно с посочените проблеми редица хидроложки модели изискват голям брой разнородни данни – климатични (температура на въздуха, валежи, снежна покривка и др.), геоморфоложки (наклон на склоновете и др.), параметри на земната повърхност (почви – типове и влажност и др.) и др. През последните години се разработват модели, които не изискват калибриране – напр. Hydrological Modeling and Analysis Platform – HyMap (Getirana et al. 2012) и Forecasting Model Hydrological modeling extension package (Хуе et al. 2018), и които симулират всекидневен речен отток чрез съчетаване на атмосферни модели, модели на наземна повърхност и хидроложки модели.

Целенасочено симулиране на речния отток на територията на страната е извършвано от Колева-Лизама и Ривас (2009) за р. Врана, от Недков (2017) за реките Вит и Осъм. По-широко приложение намират ГИС модели на основата на хидроложки и хидравлични HEC-RAS анализи (Колева 2018), моделите KINematic runoff and EROsion – KINEROS и Soil and Water Assessment Tool – SWAT в ГИС среда (Nedkov & Burkhard 2012; Боянова 2015), Бурназки и др. (2012), Кирилова и Георгиева (2014), Цанов (2014), Йорданова и др. (2017), Йорданова (2019), Пенчева и Маврова-Гиргинова (2019) и др.

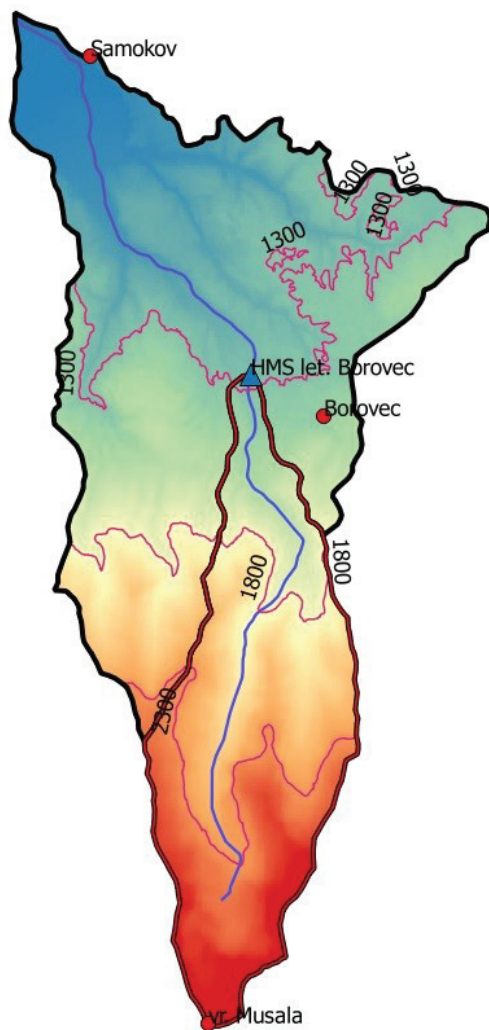
Целта на настоящото изследване е получаване на всекидневния речен отток на р. Мусаленска Бистрица – Самоков за периода 01.09.2007–31.08.2010 чрез модела Snowmelt Runoff Model (SRM).

## МЕТОДОЛОГИЯ

### **Териториален обхват**

Водосборният басейн на р. Мусаленска Бистрица е развит в северния склон на Рила планина, между 963 m при Самоков и 2925 m при вр. Мусала, със средна надморска височина 1644 m. Заема площ 56,44 km<sup>2</sup> и има продълговата форма с разширена долна част. Хидрометричните наблюдения в речния басейн започват през 1952 г. при леговище Боровец (ХМС 18360). Средната надморска височина на речния водосбор на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, е 2113 m, а площта е 19,43 km<sup>2</sup>.

За целите на изследването речният водосбор е поделен на четири височинни зони, условно обозначени с първите четири главни латински букви и описани чрез площта им и средната надморска височина (фиг. 1, табл. 1).



Фиг. 1. Схема на водосборния басейн на р. Мусаленска Бистрица до Самоков  
 Fig. 1. Scheme of the Musalenska Bistritsa river basin near the town of Samokov

Височинни зони на водосбора на р. Мусаленска Бистрица до Самоков  
Elevation zones of the Musalenska Bistritsa river basin near the town of Samokov

Зона (име)	Площ [km <sup>2</sup> ]	Средна надморска височина [m]		Височинен обхват (от–до) [m]
		Средна аритметична	Медиана	
A	18,5	1175,71	1201	963–1300
B	17,26	1454,69	1401	1300–1800
C	12,88	2055,09	2054	1800–2300
D	7,8	2480,34	2451.5	2300–2925
За водосбора	56,44	1643,55	1429	963–2925

## МЕТОДИ НА ИЗСЛЕДВАНЕ

Моделът Snowmelt Runoff Model (SRM), наричан още „Martinec – Rango“ (Филипов и Попов 1998; Филипов 2001) има вида:

$$(1) Q_{n+1} = [c_{S_n} \cdot a_n \cdot (T_n + \Delta T_n) \cdot S_n + c_{R_n} \cdot P_n] \cdot \left( \frac{A \cdot 100000}{86400} \right) \cdot (1 - k_{n+1}) + Q_n \cdot k_{n+1},$$

където:

$Q$  – средноденонощен речен отток на изхода на изследвания водосбор [m<sup>3</sup>/s];

$c$  – коефициент на оттока, който показва загубите като отношение (отток–валеж), представен от  $c_s$  за снеготопенето и  $c_r$  за дъжда;

$a$  – множител градус-ден, представящ всекидневния воден еквивалент на разтопения сняг от един градус-ден  $\left[ \frac{cm}{^{\circ}C \cdot d} \right]$ ;

$T$  – стойност на градус-дните [ $^{\circ}C \cdot d$ ] (на практика това е средната денонощна температура [ $^{\circ}C$ ], но е наричана и градус-ден именно защото е средна температура за денонощие [ $^{\circ}C \cdot d$ ]);

$\Delta T$  – поправка, получена чрез използването на вертикалния температурен градиент, когато се екстраполира температурата от метеостанцията, за която има данни, към средната надморска височина на басейна или на дадена зона [ $^{\circ}C \cdot d$ ];

$S$  – отношението между площта от басейна или зоната, покрита със снежна покривка, към общата площ на басейна или зоната;

$P$  – валеж, допринасящ за речен отток [cm], като предварително избран праг на критичната температура  $T_{CRIT}$  определя дали това допринасяне е от дъжд и е мигновено, или валежът е определен като нов сняг и е оставен в запас, докато не настъпят условия за снеготопене;

$A$  – площ на басейна или зоната [km<sup>2</sup>];

$k$  – коефициент на спад, който показва намаляването (спада) на речния отток в период без снеготопене или без валеж от дъжд:  $k = \frac{Q_{m+1}}{Q_m}$  (тук  $m$  и  $m + 1$  са поредица от дни по време на реалния маловоден период (true recession flow period);

$n$  – индекс за денонощие, което е част от изчислителния период за речния отток.

Моделът е приложен за хидроложка година с начало 1 септември на година  $i$  и край 31 август на година  $i + 1$ .

## ИЗХОДНА ИНФОРМАЦИЯ

За прилагане на модела SRM се използват публично достъпни и предоставени от НИМХ модифицирани данни. Средно денонощни данни за температурата на въздуха и валежите са налични от три метеорологични станции – Самоков, Боровец и вр. Мусала. Данните за валежите са обработени с метода на многоъгълниците (метод на Тисен), чрез който са получени териториални стойности за денонощните валежи за всяка височинна зона. Данните за температурата на въздуха са обработени чрез изчисляването на средно денонощен вертикален температурен градиент и на средно денонощните температури към средната надморска височина на всяка височинна зона. Данни за валежите, температурата и дефицита на атмосферна влажност са извлечени от Климатичен справочник (1979, 1983, 1990), а за водните количества – от Хидрологичен справочник на реките в НР България (1981). Чрез климатичните данни и историческите водни количества се изчисляват показатели, които са необходими за симулациите с модела SRM. Такива са коефициентът на оттока и коефициентът на спад. От предприятие „Язовири и каскади“ са ползвани данни за плътността на снежната покривка за станции в Западните Родопи за периода 2007–2010 г. Използвани са и данни за плътността на снежната покривка в планините в България (Природният и икономическият потенциал..., 1989). Плътността на снежната покривка е необходима при изчисляването на множителя градус-ден, от който се получава водният еквивалент на снега.

Обработени са спътникови сцени от мисиите Landsat 5 и Landsat 7 с пространствена разделителна способност от около 30 m и времева разделителна способност от около една седмица. Чрез тези спътникови сцени се получават данни за площта на снежната покривка във водосборния басейн и неговите височинни зони. Използвани са 53 спътникови сцени от Landsat 5 и 51 спътникови сцени от Landsat 7 за периода от 1 септември 2007 до 31 август 2010 г. Величината, която е получена след обработката на спътниковите сцени, е т.нар. Normalized – Difference Snow Index (NDSI). Индексът NDSI има стойности в интервала от  $-1$  до  $+1$ . Условна граница, която е използвана за разграничаване на покритите със сняг земи, е  $0,2$ . Над тази стойност се приема, че има сняг.

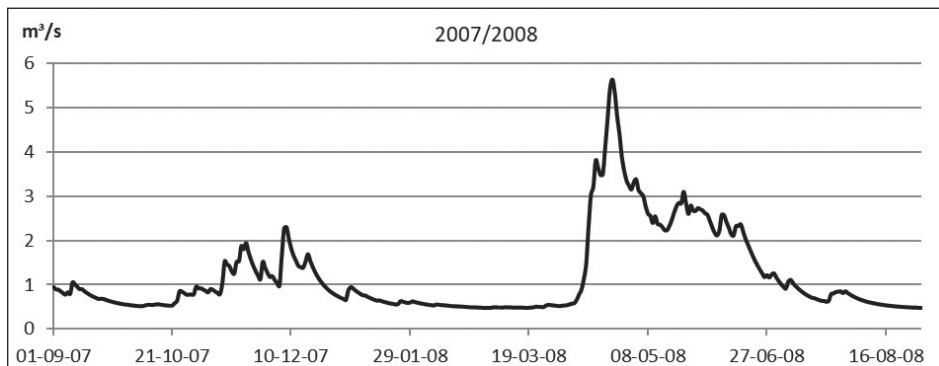
По този начин се определят териториите във височинните зони на басейна, в които има снежна покривка, и тези, в които няма. Получените данни за обхвата на снежното покритие от спътниковите сцени са интерполирани с помощта на линейна интерполация, за да се получат стойности за снежното покритие за всички дни от изследвания период.

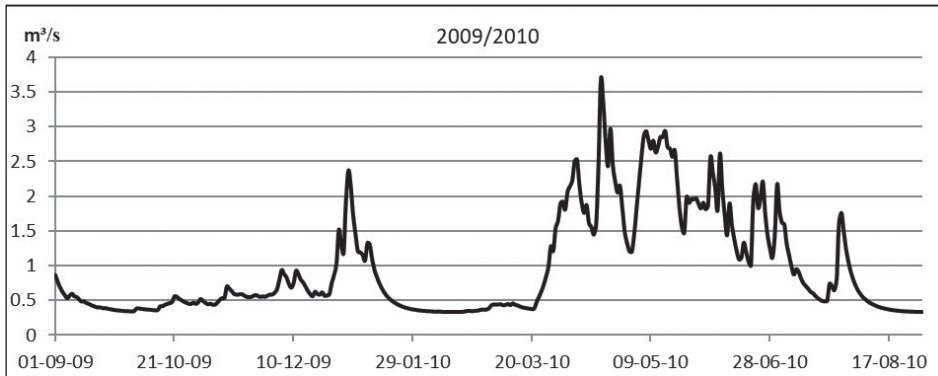
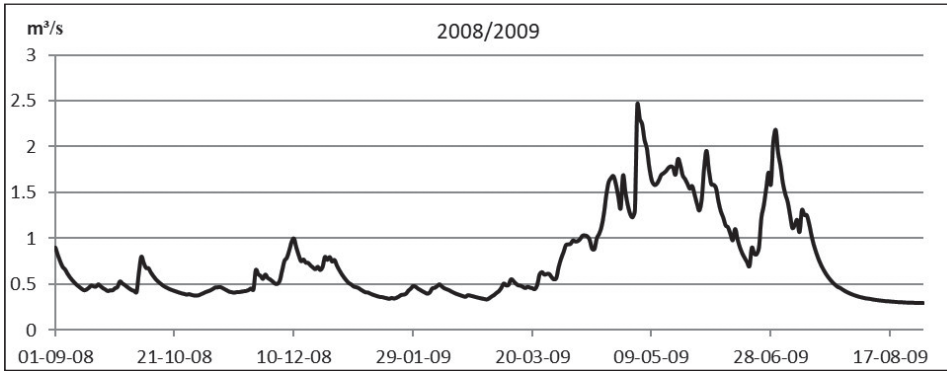
Морфохидрографската информация и резултатите от обработката на спътниковите сцени са получени с помощта на QGIS 2.18. Обработката на метеорологичните и климатичните данни е направена с помощта на MS Excel и езика за програмиране R. Моделът SRM е в основата на софтуера WinSRM.

## РЕЗУЛТАТИ

Средното денонощно симулирано водно количество на р. Мусаленска Бистрица – Самоков е около  $1,0 \text{ m}^3/\text{s}$ , между  $1,19 \text{ m}^3/\text{s}$  за 2007–2008 г. и  $0,75 \text{ m}^3/\text{s}$  за 2008–2009 г. Получените стойности са по-големи от годишния отток на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, който варира между  $0,33$  и  $0,77 \text{ m}^3/\text{s}$ . Причина за посочените различия е по-голямата площ на речния водосбор на р. Мусаленска Бистрица – Самоков.

Резултатите от моделирането на речния отток на р. Мусаленска Бистрица – Самоков са представени на фиг. 2.

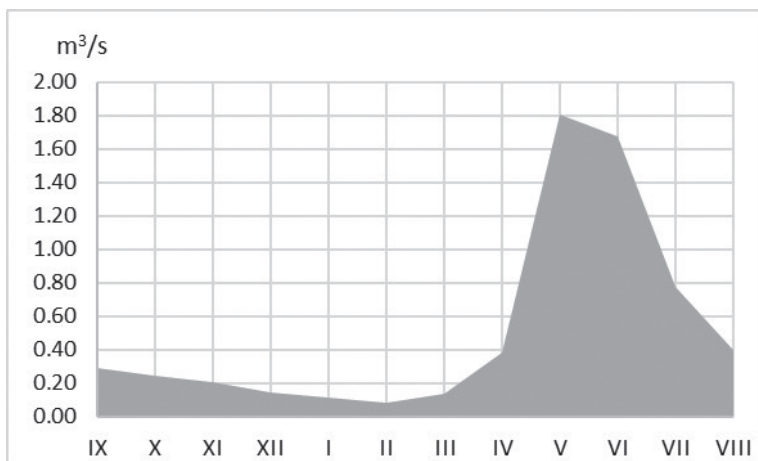




Фиг. 2. Хидрографи на изчислените средноденонощни водни количества на река Мусаленска Бистрица – Самоков [m<sup>3</sup>/s]

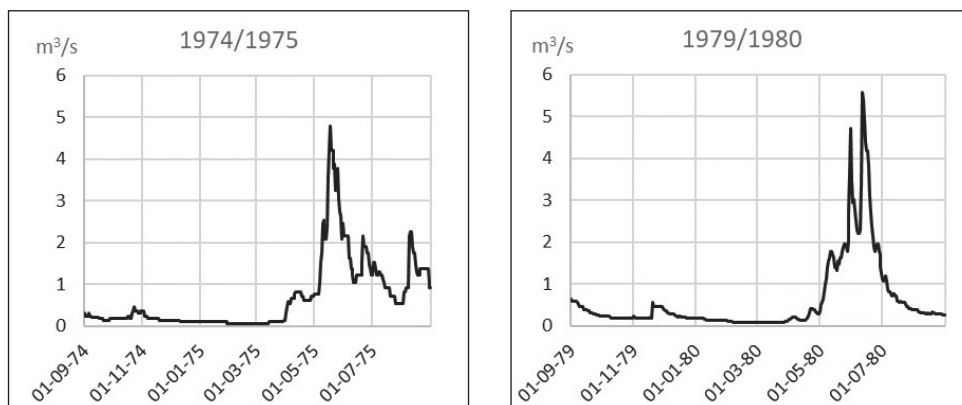
Fig. 2. Hydrographs of the computed daily average discharge of the Musalenska Bistritsa river near the town of Samokov, in [m<sup>3</sup>/s]

Годишните хидрографи на р. Мусаленска Бистрица – Самоков за изследвания период разкриват пълноводие през март–юли/август и през ноември–декември, което се съгласува в голяма степен с месечния хидрограф на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, за периода 1952–1983 г. (фиг. 3). Средната дата за настъпване на пълноводието според изследванията на Стойчев (1977) е 2 април, а крайната дата за прекратяване на пълноводието – 16 август, т.е. многогодишен период с продължителност 136 дена. За Панайотов (1965) продължителността на пълноводието в Рила планина е 80–90 дена над 2300 m, 90–100 дена в речните водосбори със средна надморска височина 2000–2300 m и 110–120 дена за поречията, развити между 1400 и 2000 m. Получената продължителност на периода с високи водни нива е сходна с досегашните изследвания, което е свидетелство за сравнителна точност на симулираните водни количества при високи води.



Фиг. 3. Месечен хидрограф на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, за периода 1952–1983 г.  
 Fig. 3. Monthly hydrograph of the Musalenska Bistrica river during the period 1952–1983

Маловодните периоди на речния отток се отчитат през юли–август и през зимния хидроложки сезон – януари–февруари. Сравняването на получените резултати с историческите данни показва по-краткотраен маловоден период при симулираните водни количества, свидетелство за което са избрани хидрографи на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец (фиг. 4).



Фиг. 4. Хидрографи на р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец  
 Fig. 4. Hydrographs of the Musalenska Bistrica river near Borovets



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Моделът Snowmelt Runoff Model (SRM) за симулиране на всекидневен речен отток във високопланински речни басейни, приложен към речния водосбор на р. Мусаленска Бистрица – Самоков, показва добра съгласуваност с реалната хидрометрична информация. Сравнителният анализ между симулираните данни за речния отток в изследвания речен басейн с действително отчетените при ХМС р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, разкрива сходство в годишните водни количества и в продължителността на пълноводната отточна фаза. Липсата на публични хидрометрични данни за изследвания период на ХМС р. Мусаленска Бистрица – лет. Боровец, не позволява по-точно съпоставяне на симулираните данни.

## ЛИТЕРАТУРА

- Боянова, К. 2015. Пространствен анализ и оценка на екосистемните и ландшафтни услуги в планински водосбори чрез приложение на геоинформационни технологии. Автореферат.
- Бурназки, Е., Л. Кирилов, Р. Илиев. 2012. Компютърно хидроложко моделиране на процеса валеж-отток в речен басейн. Приложение на системата за хидроложко моделиране HEC-HMS за водосбора на река Места. София: Нова звезда, 2012.
- География на България. 1982. Том 1. Физическа география. Природни условия и ресурси. София: Изд. на БАН.
- География на България. 2002. София: ФорКом.
- Йорданова, В. 2019. Прогнозиране на речния отток с използване на разпределен хидроложки модел. Автореферат.
- Кирилова, С., Д. Георгиева. 2013. Приложение на ГИС при определяне на прилежащите земи и заливаемите ивици на р. Лесновска. – *Водно дело*, 3–4, 7–15.
- Климатичен справочник за НР България. 1979. Том 2. Влажност на въздуха, снежна покривка. София: Наука и изкуство.
- Климатичен справочник за НР България. 1983. Том 3. Температура на въздуха, температура на почвата, слана. София: Наука и изкуство.
- Климатичен справочник. 1990. Валежи в България. София: Изд. на БАН.
- Колева, К. 2018. ГИС модел и база данни за оценка и управление на риска от наводнения в Тунджанското понижение. Автореферат.
- Колева-Лизама, И., Б. Л. Ривас. 2009. Симулиране на речния отток на р. Врана с помощта на климатични и ландшафтни елементи. – *Лесовъдска мисъл*, 2 (38), 122–130.
- Недков, Н. 2017. Моделиране параметрите на речния отток във водосборните басейни на реките Вит и Осъм с помощта на SURFEX – TOPODYN. – *Водно дело*, 5–6, 34–40.
- Панайотов, Т. 1964. Върху някои характеристики на пълноводието на реките в Рила. – *Изв. ИХМ*, VI.

- Пенчева, Д., М. Маврова-Гиргинова. 2019. Използване на хидроложки и хидравлични модели за аварийното планиране във водосбори с изградени ХТС. – *Год. на УАСГ*, 52, S1, S1487–S1504.
- Природният и икономическият потенциал на планините в България. 1989. Том 1. Природа и ресурси. София: Изд. на БАН.
- Стойчев, К. 1977. Генезис и сезонно разпределение на речния отток в Рила планина. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 70, кн. 2 – География, 89–135.
- Цанов, Е. 2014. Калибриране на модел WEAP за водосбора на река Вит. – *Водно дело*, 1–2, 32–40.
- Хидрологичен справочник на реките в НР България. 1981. Том 2. ГУХМ. София.
- Хидрологичен справочник на реките в НР България. 1981. Том 3. София.
- Филипов, А., Попов А. 1998. Възможности за оценка на водните запаси в снежната покривка на водосборния басейн на яз. „Искър“ на основата на сателитни изображения. – В: 100 години география в Софийския университет, международна научна конференция, София.
- Филипов, А. 2001. Картографиране на снежната покривка по сателитни изображения. – *Год. на СУ, ГГФ*, т. 92, кн. 2 – География.
- Getirana, A. C. V., A. Boone, D. Yamazaki et al. 2012. The Hydrological Modeling and Analysis Platform (HyMAP): Evaluation in the Amazon Basin. – *J. Hydrometeorol.*, 13, 1641–1665.
- Gupta, H. V., M. P. Clark, J. A. Vrugt et al. 2012. Towards a comprehensive assessment of model structural adequacy. – *Water Resour. Res.*, 48, W08301.
- Hartanto, I. M., J. van der Kwast, T. K. Alexandridis et al. 2017. Data assimilation of satellite-based actual evapotranspiration in a distributed hydrological model of a controlled water system. – *Int. J. Appl. Earth. Obs.*, 57, 123–135.
- Khaki, M., I. Hoteit, M. Kuhn et al. 2019. Assessing data assimilation frameworks for using multi-mission satellite products in a hydrological context. – *Sci. Total Environ.*, 647, 1031–1043.
- Martinec, J., A. Rango, R. Roberts. 2008. Snowmelt Runoff Model (SRM) User's Manual – Updated Edition For Windows, New Mexico State University, 180 p.
- Nedkov, S., B. Burkhard. 2012. Flood regulating ecosystem services – Mapping supply and demand, in the Etropole municipality, Bulgaria. – *Ecological Indicators*, 21, 67–79.
- Patil, S., M. Stieglitz. 2014. Modelling Daily Streamflow at Ungauged Catchments: What Information Is Necessary? – *Hydrological Processes*, 28(3), 1159–1169.
- Sun, W., H. Ishidaira, S. Bastola et al. 2015. Estimating daily time series of streamflow using a hydrological model calibrated based on satellite observations of river water surface width: Toward real-world applications. – *Environmental Research*, 139, 36–45, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envres.2015.01.002>
- Xie, X., S. Meng, S. Liang et al. 2014. Improving streamflow predictions at ungauged locations with real-time updating: application of an EnKF-based state-parameter estimation strategy. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18, 3923–3936.
- Xiong, M. S., P. Liu, L. Cheng et al. 2019. Identifying time-varying hydrological model parameters to improve simulation efficiency by the ensemble Kalman filter: A joint assimilation of streamflow and actual evapotranspiration. – *J. Hydrol.*, 568, 758–768.

- Xue, Z. G., D. J. Gochis, W. Yu et al. 2018. Modeling Hydroclimatic Change in Southwest Louisiana Rivers. – *Water*, 10, 596.
- Yordanova, V., Sn. Balabanova, V. Stoyanova. 2017. Application of the TOPKAPI model on the Ogosta River Basin. – In: Danube conference 2017, 357–364.

#### SUMMARY

##### MODELLING OF THE MUSALENSKA BISTRITSA RIVER DISCHARGE NEAR THE TOWN OF SAMOKOV DURING THE PERIOD 01.09.2007 TO 31.08.2010

Calculating and determining the river discharge of the ungauged river basin outlets are one of the main problems in hydrological research. Hydrological modelling is accompanied by uncertainty and difficulties during the calibration of the model, during the simulation process and in the model assessment. Also, different types of data are needed to reach some reasonable results. In this research Snowmelt Runoff Model is used for modeling the Musalenska Bistritsa river discharge near the town of Samokov during the period 01.09.2007 to 31.08.2010. In this location the river is ungauged. The area of the river basin is about 56 km<sup>2</sup> and the mean elevation of the basin is approximately 1644 m. The river basin is divided into four elevation zones. A combination of different meteorological, climatological, satellite, morphological and historical hydrological data is used for the calculation of the variables which are needed in the SRM. The main variables are the daily average temperature of each elevation zone, the areal daily precipitation, and the snow cover. The daily snow-covered area is determined using Landsat 5 and Landsat 7 data and NDSI. Other important parameters are the runoff coefficient and the recession coefficient. Some acceptable simulation results are shown. In general, they represent the main features of the high-mountain rivers in Rila mountain.