



Alternative maps of soil and vegetation parameters for hydrological modeling of rivers Vit and Osam in Bulgaria

Nikolay Nedkov*, Petko Tsarev, Eram Artinyan

*National Institute of Meteorology and Hydrology (NIMH)
139, Ruski Blvd., Plovdiv 4000, Bulgaria*

Abstract: One of the most important activities in engineering hydrology is the objective assessment and optimal use of water resources through their rational distribution in time and space. In this respect, the preparation of numerical hydrological analyzes and forecasts are of great economic importance. Quality implementation of these activities reduces the risk of natural disasters: floods and shortages of water resources. In this study, with the coupled land surface and hydrological model SURFEX-TOP, the influence on the statistical indicators for the capacity of the model to adequately simulate the outflow of the rivers Vit and Osam in Bulgaria is analyzed, depending on the change in the input static maps for soil and vegetation. This is done by comparing the results of the simulations performed with the currently available altitude map - GTOPO30 (USGS, 2002), soil parameters maps HWSD v.1.2 (FAO, 2008) and vegetation maps (ECOCLIMAP v2) with simulations performed when introducing these ones from alternative sources. An important point is the additional introduction of new maps for the depth of the root-inhabited layer in the soil and the depth of the root system. For the purpose of this project, a modelling period of 4 months was initially used for a quick analysis of the sensitivity of the model to changes in the parameters in the maps. Then, for verification of the changed model, a period of 27 months is used with available data on the meteorological parameters that feed the distributed hydrological model, with a step in space of 8 km for the meteorological data and 100 m for the hydrological network. The article describes the methods for obtaining and using the new maps of soil and vegetation parameters, as well as the results of the sensitivity analysis and the verification of the model for rivers Vit and Osam in Bulgaria. A positive influence of the ECOCLIMAP-SG detailed maps on the statistical indicators of the simulations was found.

Keywords: Maps for the hydrological parameters of the soil, map of ground depth, map of rooting depth, distributed hydrological model, ECOCLIMAP

* nikolay.nedkov@meteo.bg

Алтернативни дигитални карти на параметри на почвата и растителната покривка за хидрологично моделиране на р. Вит и р. Осъм

Николай Недков*, Петко Царев, Ерам Артинян

*Национален Институт по Метеорология и Хидрология (НИМХ)
бул. Руски, 139 Пловдив 4000, България*

Резюме: Една от най-важните дейности в инженерната хидрология е обективната оценка и оптимално използване на водните ресурси чрез рационалното им разпределение във времето и пространството. В това отношение от голямо икономическо значение е изготвянето на числени хидроложки анализи и прогнози. Качественото изпълнение на тези дейности намалява риска от природни бедствия: наводнения и недостиг на водни ресурси. В изследването с комбинирания хидро-метеорологичен модел SURFEX - TOP, се анализира влиянието върху статистическите показатели за капацитета на модела да симулира адекватно оттока на река Вит до с. Биволаре и р. Осъм до с. Изгрев, в зависимост от промяната във входните данни за почвата и растителната покривка. Това се извършва, като се съпоставят резултатите от симулациите извършени с наличните използвани до момента бази данни за надморската височина - GTOPO30 (USGS, 2002), за почвите HWSO v. 1.2 (FAO, 2008) и за растителността (ECOCCLIMAP v2) със симулации извършени при въвеждане по-прецизни такива от алтернативни източници. Съществен момент е допълнителното въвеждане в употреба на карти на дълбочината на корено-обитаемия слой в почвата и дълбочина на кореновата система. За целта на този проект първоначално се използва период за моделиране от 3 месеца за бърз анализ на чувствителността на модела към промяна на параметрите в картите. След това за проверка на променения модел се ползва период от 27 месеца с налични данни за метеорологичните параметри, с които се захранва разпределения хидрологичен модел, със стъпка в пространството 8 км за метеорологичния вход и 100 м за хидрологичната мрежа. В статията са описани методите за получаване и използване на новите карти на параметрите на почвите и на растителността, както и резултатите от анализа на чувствителността и проверката на модела за р. Вит и р. Осъм. Установено е положително влияние на детайлните карти ECOCCLIMAP-SG върху статистическите показатели на симулациите.

Ключови думи: Карти на хидроложките параметри на почвата, карта на корено-обитаем слой, карта на дълбочина на кореновата система, разпределен хидроложки модел, ECOCCLIMAP

1. УВОД

Определянето на водните ресурси с традиционни методи в България се допълва и съчетава с използване на резултати от моделиране на повърхностните процеси на границата между атмосфера и земя. Това е наложително поради две основни

причини: традиционните методи не могат да покрият цялата територия и второ – не могат да изчисляват прогнози, било на очаквани наводнения или на засушавания. Това обаче поставя въпроса за адекватността и точността на използваните модели. Тъй като физичните модели, на които се базират по-точните балансови изчисления на водните ресурси изискват значителен обем входна информация, обикновено грешката се разпределя между входните данни и параметри, качествата на модела и дори върху данните от измерванията, с които се сравняват моделните резултати.

В това изследване първо произведохме детайлни карти на редица статични входни параметри, различни от традиционно използваните карти за процентно съдържание на пясък и глина в почвата, дълбочина на корено-обитаемия слой, дълбочина на кореновата система, които имат влияние върху резултатите от моделирането със схемата за симулиране на процесите между атмосфера и земя с отворен код SURFEX (Le Moigne et al., 2020).

На второ място, изследвахме възможността за подобрене на статистическите резултати на симулациите в сравнение със средно-денонощните измерени водни количества, като функция на използването на алтернативни карти на параметрите на почвите и на дълбочината на кореновата система.

2. МАТЕРИАЛИ И МЕТОДИ

2.1. Описание на картите за параметрите на почвата и растителността и метода на обработка.

По принцип картите на процентното съдържание на пясък и глина в почвата се ползват в схемата за симулиране на процесите между атмосфера и земя SURFEX, и по-специално в частта за симулиране на физиката на естествена земна покривка ISBA (Noilhan&Mahfouf, 1996), за емпирично определяне на три прага на съдържание на вода в почвата: пълна влагемност (ПВ), пределна полска влагемност (ППВ), и влажност на завяхване (ВЗ). Тези карти в двоичен вид могат да се създадат от потребителите, но наличните на сайта на проекта SURFEX са изготвени на основата на картите на ФАО – HWSD v1.2 (FAO, 2012) с резолюция 1 км. Ние изследвахме ефекта върху симулациите от замяната на тези карти с по-детайлни такива с резолюция 500 m, аналогично на изследването на Lovat et al. (2018). Новите карти за територията на ЕС са налични на сайта на Европейския център за данни за почвите (ESDAC) (Ballabio et al., 2016). Тези карти бяха преобразувани от географска проекция ETRS89 Lambert Azimuthal Equal Area (LAEA) към географски координати в необходимата за използване в SURFEX проекция WSG84 и записани в двоичен формат.

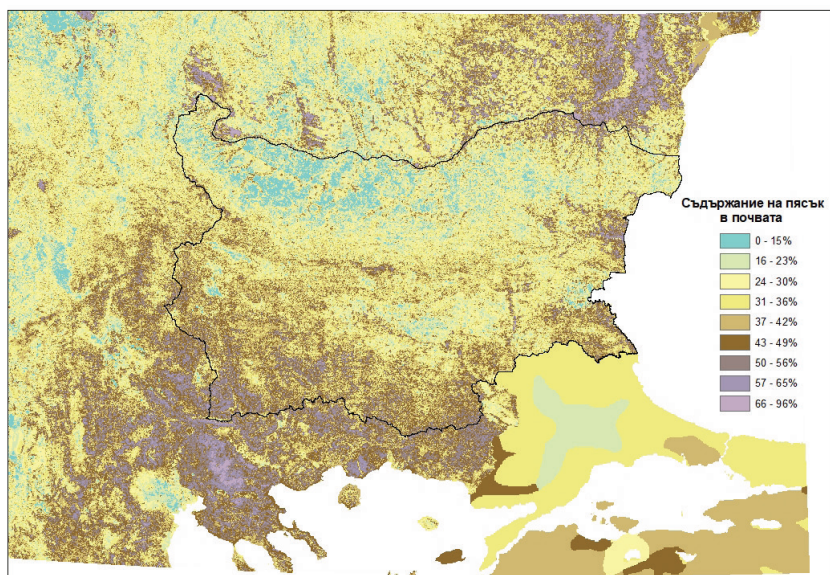


Fig. 1. Map of sand fraction in soils in %

Фиг. 1. Карта на процентно съдържание на пясък в почвата

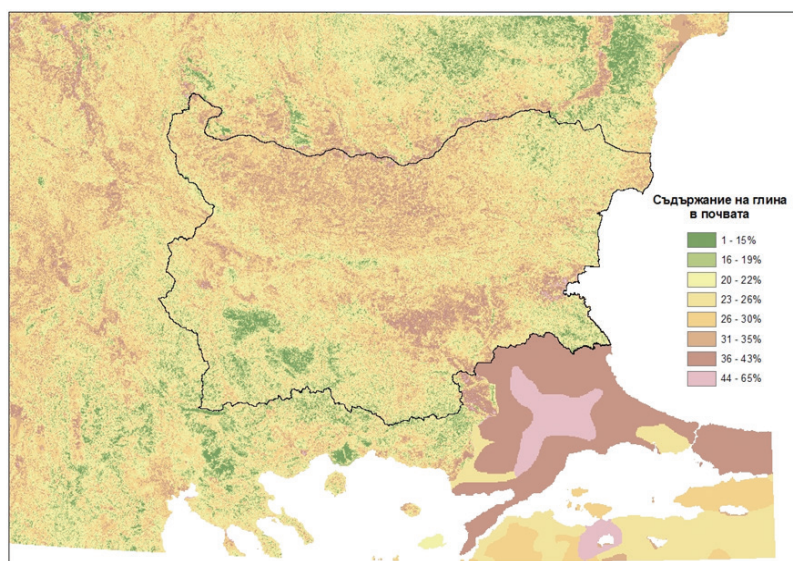


Fig. 2. Map of clay fraction in soils in %

Фиг. 2. Карта на процентно съдържание на глина в почвата

Тъй като при моделиране на някои речни басейни в България се налага покритие и на съседни територии, се наложи съчетаване на картите с част от територията извън ЕС, като за целта са ползвани картите HWSD v1.2. На фигури 1 и 2 се вижда ясно различната резолюция в двете части от територията.

В началните етапи на развитие на модела ISBA (Habets et al., 1999) картите на почвената дълбочина се задаваха от потребителя, като за планинската зона на басейна на р. Марица бяха използвани стойности на дълбочината на почвата около 40 cm (Artinian et al., 2008). Впоследствие, с оглед на улесняването на потребителите и използване на SURFEX в глобални модели, при съставянето на картите на параметрите за растителната покривка ECOCLIMAP v2, от които в ISBA се влияе водния цикъл на континентите (Faroux et al., 2013), за определяне на дълбочина на корено-обитаемия слой почва и отделно на кореновата система, се използва зависимостта между типа растителност и дълбочината на почвата под него (Delire et al., 1997). Така се получава, че при повечето дървесни видове дълбочината на почвата е около и над 2 m и съответно тази на кореновата система рядко е под 1.5 m. Това контрастира с наблюдаваните в планинските екосистеми в България (Богданов, 2020) съчетания на дървесни видове с по-плитки почви (фигура 3).



Fig. 3. Example of ground profile under fir/spruce tree in Bulgarian Rhodope Mountains

Фиг. 3 Пример на почвен профил под иглолистна растителност в Родопите

В същото време, заложените в ECOCLIMAP v2 по-дълбоки почви за дървесните видове, изкуствено увеличават симулираната евопотранспирация в тези зони с реално по-плитки почви. В крайна сметка стандартната конфигурация

на схемата SURFEX създава условия в планинската зона в България, където се формира основна част от оттока, да се симулира по-малък инфилтрационен отток поради изкуствено завишеното изпарение от растителността. Последната официално разпространена версия на модела SURFEX v.8.1 (Albergel et al., 2018) позволява, да се въвеждат отделно карти за различни параметри, включително за дълбочина на корено-обитаемия слой и тази на кореновата система, които по принцип се получават директно от използваните карти за растителната покривка ECOCLIMAP. Тази възможност е реализирана в рамките на нашето проучване с подготовката на карти на тези параметри от алтернативни източници.

За целта са обработени и пригодени наличните карти за почвени параметри за дълбочина на почвата (фигура 4) от сайта на Европейския център за данни за почвите (ESDAC) (Panagos et al., 2012). За дълбочина на кореновата система е използвана карта с резолюция 0.5° географски градуса (виж Yang et al., 2016). Характерно за тази карта (фиг. 5) е, че се основава на изчисления на баланса на въглерода (Carbon Cost-Benefit Model) (Yang et al., 2016).

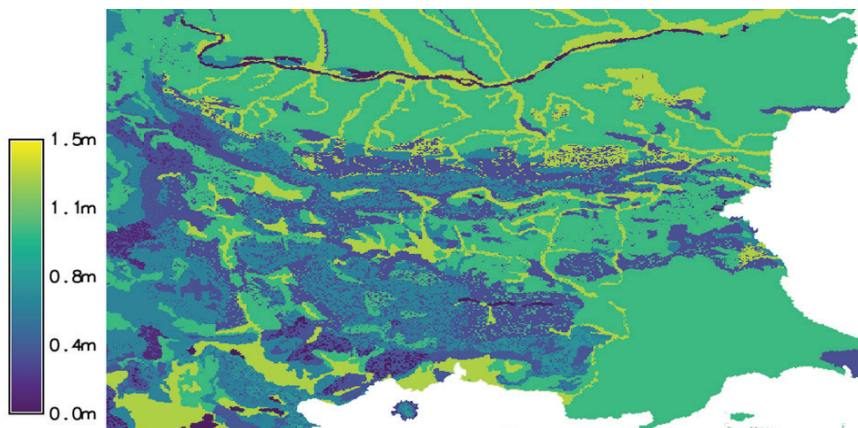


Fig. 4. Map for Bulgaria of ground depth available for plant roots

Фиг. 4. Карта за България на дълбочината на корено-обитаемия слой извлечена от данните на ESDAC

За прецизиране на топографията използвана от SURFEX е обработена карта за надморската височина с резолюция 90 м от сайта на Shuttle Radar Topography Mission ([SRTM](#)) (Jarvis et al., 2008).

За да се адаптират към изискванията на етап PGD на модела SURFEX, включително за промяна на географската проекция и запис на файловете в двоичен RAW формат, цифровите карти бяха обработени с ГИС софтуер: QGIS 3.14 и GRASS 7.8, като и двата продукта са с отворен код.

За изследване на влиянието върху резултатите от моделирането от въвеждането в употреба на най-новата версия на картите на параметрите на растителната

покривка ECOCLIMAP-SG (2nd generation) с резолюция 300 m (Samuelson, 2019) съответните файлове, с размер близо 800 GB, бяха свалени и разархивирани на сървър в НИМХ.

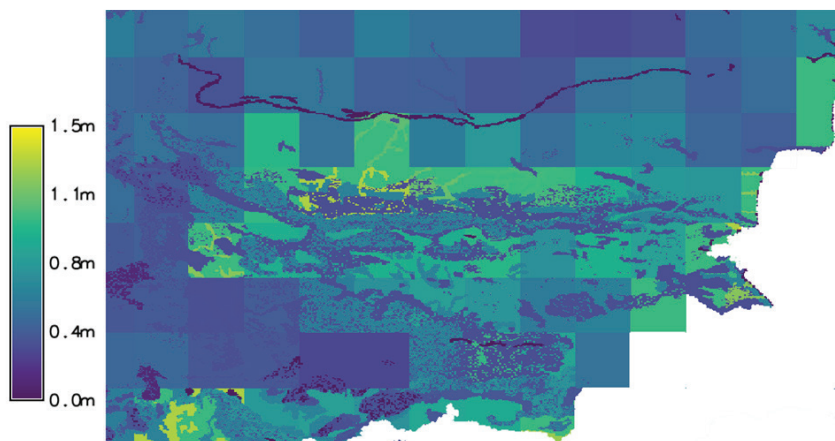


Fig. 5. Map for Bulgaria of roots depth according to Yang, et al.(2016), corrected with ESDAC data.

Фиг. 5. Карта за България на дълбочината на кореновата система, с резолюция 0.5°, съгласно Yang, et al.(2016), коригирана с данните на ESDAC.

2.2. Използвани входни метеорологични и сравнителни хидрологични данни

За вход на етап OFFLINE (модела за повърхностни процеси) са адаптирани пространствено определени данни със стъпка във времето 3 часа и резолюция около 1 km, за валежите, температурата и влажността на въздуха. Данните са изчислени чрез Cressman (1959) анализ (Господинов, 2012) на основата на оперативната информация от валежимерни, климатични и синоптични станции на НИМХ. Преди използване в SURFEX данните са предварително усреднени в пространството върху клетки 8x8 km.

За изчисление на статистическите показатели на симулациите на оттока за р. Вит и р. Осъм са ползвани за сравнение данни от хидрологични станции р. Вит – с. Биволаре (№ 21850) и р. Осъм с. Изгрев (№ 22800). Средно-деноношните водни количества са изчислени на основата на ключовите криви, изготвени от сектор „Хидрологичен” на НИМХ филиал Плевен.

Използваните статистически критерии за оценка на съпоставимостта на резултатите от симулациите с редиците на измерения отток са: коефициент на корелация **R**; коефициент на Nash-Sutcliffe – **NSE** и коефициент на Kling-Gupta – **KGE**. Коефициентите са показатели на различни свойства на сходимостта

(Knoben et al., 2019) на редиците на симулирания спрямо измерения отток, като и за трите оптималната стойност е 1.

2.3. Последователност на работа

Първоначално са извършени шест симулации (таблици 1 и 2) с използване на кратък период от 4 месеца от юли до ноември 2020 г. с различни съчетания на използваните карти:

- **А.** без никакви промени – референтна симулация;
- **Б.** с промяна на картата на релефа с по-детайлна такава;
- **В.** с допълнително заменени карти за съдържание на пясък и глина;
- **Г.** с допълнително участие на новите данни за дълбочина на почвата и дълбочина на кореновата система;
- **Д.** с настройки съответстващи на новата версия на картите със свойства на растителната покривка ECOCLIMAP-SG, с променени дълбочина на почвата и дълбочина на кореновата система;
- **Е.** с настройки съответстващи на новата, значително по-детайлна версия, на картите със свойства на растителната покривка ECOCLIMAP-SG, но без никакви други допълнения;

Използването на първоначално кратък период е продиктувано от относително дългото изчислително време, необходимо за подготовка преди всяка симулация (етап PGD на схемата SURFEX), и нуждата от бърза оценка на чувствителността на модела към влиянието на различните карти на постилащата растителна и земна покривка. Статистическата оценка на тези симулации направихме единствено върху резултатите със стъпка 3 часа за последния месец (октомври 2020), за да се изключи началния период с все още небалансирана влажност и температура на почвата, в който моделът се инициализира.

На втори етап бяха приготвени входни данни за валеж, температура на въздуха и другите необходими полета, със стъпка 3 часа, за период от 27 месеца (от 1.8.2015 до 31.10.2017 г.). Бяха проведени две нови симулации, с параметри съответстващи на кратките симулации **Д** и **Е**, тъй като при тях бяха отчетени повисоки статистически резултати за р. Вит и при корелацията за р. Осъм. Целта на тези по-дълги симулации е да се проверят хипотезите направени въз основа на кратките 5 месечни симулации. Статистическата оценка на дългите симулации се извърши върху средно-денонощните данни за 2017 г. а данните от 2015-2016 са използвани за инициализация на модела.

3. РЕЗУЛТАТИ

3.1. Резултати от кратките симулации

Симулациите с участие на по-подробната карта на релефа (**Б**) не показаха разлика спрямо референтната симулация и не са включени в таблици 1 и 2. Симулация **В** с по-висока резолюция на картите за механичен състав има слабо повишени статистически резултати спрямо референтните симулации. Симулации **Г** и **Д** с нови карти на дълбочината на корено-обитаемия слой и ефективна дълбочина на кореновата система очаквано показват по-висок среден отток за периода, (с 123-70% и 35-60%) съответно за р. Вит и р. Осъм. При симулация **Д** корелацията се повишава при двете станции, а при р. Вит се повишава коефициентът KGE и отделно коефициентът NSE, но само за симулация **Д**. При симулация **Е**, чрез която се анализира чувствителността на модела към по-детайлната информация за растителността, се наблюдава подобрене на показателите, но само за р. Вит.

Table 1. Statistical results for the station of Vit River at Bivolare

Таблица 1. Статистически резултати за станция на р. Вит – Биволаре

Статистика Симулация	Среден отток [m ³ /s]	R	KGE	NSE
А	4.479	0.753	0.447	0.488
В	4.471	0.755	0.445	0.490
Г	10.082	0.694	0.452	0.275
Д	7.637	0.798	0.770	0.571
Е	5.084	0.793	0.619	0.589
Измерен	6.931			

Table 2. Statistical results for the station of Osam River at Izgrev

Таблица 2. Статистически резултати за станция на р. Осъм – Изгрев

Статистика Симулация	Среден отток [m ³ /s]	R	KGE	NSE
А	4.012	0.734	0.684	0.365
В	4.026	0.731	0.680	0.358
Г	5.408	0.722	0.293	-0.100
Д	6.613	0.762	-0.154	-0.726
Е	5.285	0.769	0.273	-0.100
Измерен	3.691			

За отбелязване е относителното влошаване на показателите KGE и NSE на р. Осъм при използване на новите карти (симулации Г, Д, Е). За да се анализира причината, ще бъде необходимо да се направят допълнителни изследвания с промяна и на други параметри на хидрологичната симулация: например на скоростта на стичане на водата в руслото и скоростта на стичане по склон (Недков, 2018). В таблици 1 и 2 подобрените статистически показатели спрямо референтната симулация А са дадени в курсив.

3.2. Резултати от симулациите с продължителност 27 месеца

В таблици 3 и 4 са представени статистическите показатели изчислени за последните 12 месеца от симулациите за периода 2015-2017. Те отчасти потвърждават първоначалните предположения след изследване на първите по-кратки симулации. Най-съществен ефект върху средния симулиран отток оказва едновременната промяна в дълбочините на корено-обитаемия слой и тази на кореновата система: симулация Д показва съответно с 41% и 56% по-голям среден отток, за двете поречия, спрямо референтната симулация А.

Симулация Д има по-ниски статистически показатели от тези на референтната симулация. Симулация Е има като цяло по-добри статистически показатели от референтната симулация за станцията на р. Осъм при Изгрев и близки до референтните статистически показатели за р. Вит. Това потвърждава тенденцията забелязана и при кратките симулации, използването на по-детайлната карта на параметри на растителността ECOCLIMAP-SG да повишава качествените критерии на хидрологичната симулация спрямо референтната и то без необходимост от калибриране на други параметри на модела.

Table 3. Statistical results for year 2017 for the station of Vit River at Bivolare

Таблица 3. Статистически резултати 2017 г. за станция на р. Вит – Биволаре

Статистика Симулация	Среден отток [m ³ /s]	R	KGE	NSE
А	12.017	0.620	0.486	0.381
Д	17.179	0.486	0.364	-0.213
Е	15.889	0.617	0.492	0.317
Измерен	12.639			

Table 4. Statistical results for year 2017 for the station of Osam River at Izgrev

Таблица 4. Статистически резултати 2017 г. за станция на р. Осъм – Изгрев

Статистика Симулация	Среден отток [m^3/s]	R	KGE	NSE
A	8.022	0.528	0.461	0.030
Д	12.522	0.581	0.321	-0.549
Е	10.981	0.557	0.517	-0.093
Измерен	10.778			

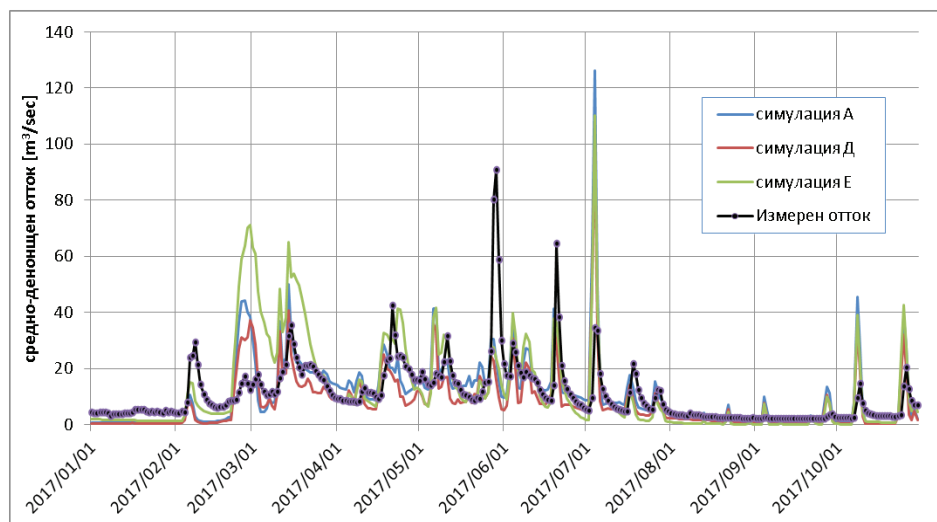


Fig. 6. Results of simulations of daily average discharge for year 2017.

Фиг. 6. Резултат от симулациите на средно-денонощния отток на р. Осъм за 2017 г.

4. ДИСКУСИЯ

В хода на работата се установиха редица проблемни моменти, в това число:

- За по-точно определяне на проблемите при симулациите е от първостепенно значение първо да се осигури внимателно проверена входна метеорологична информация. Въпреки че анализът на валежното поле (Господинов, 2012) е с максимално реалистични характеристики, пространствено изчислените валежи за отделни периоди и райони са превишени с до 20-30% (Artinyan et al., 2017). Поради първоначално полученото превишение на средногодишния моделиран отток спрямо измерения отток в двете

поречия при 27 месечната референтна симулация, валежите ползвани за вход на модела бяха редуцирани с коефициент от 1.15 до 1.30 получен от съотношението между клетката от полето на валежа съответстваща на климатична станция Ловеч и данните от станцията за съответната година. Необходимостта от такава относително груба корекция се потвърждава косвено от получения при окончателната референтна симулация близък до измерения среден отток за 27 месечния период.

- Твърде ниската резолюция на картата на ефективната дълбочина на кореновата система съгласно Yang, et al. (2016), с глобално покритие 0.5° географски градуса, не отразява достатъчно детайлно локалните характеристики на дълбочината на кореновата система. Това би могло да се преодолее ако се увеличи резолюцията чрез ползване на допълнителни данни за почвите и растителността (downscaling).
- Тъй като при изчислителната процедура на моделирането се използват усреднени параметри на почвата за цялата площ на клетката, относително ниската резолюция (8x8 km) на мрежата от клетки използвана за схемата за повърхностни процеси най-вероятно частично неутрализира ефекта от подобренията резолюция на картите на почвените параметри за процентно съдържание на глинеста и песъчлива фракции в почвата. Същото може да се предположи и за липсващия ефект от използването на по-детайлна топографска информация.
- При сравнението с измерения отток не се отчита, че моделът симулира естествен отток, непроменен от водохващания и язовири. Възможно е в определени периоди, например през пролетното снеготопене (фигура 6), това да се отразява негативно върху статистическите показатели, тъй като част от водите са задържани в язовири и съответно не се отчитат от хидрометричните станции. Също така, симулацията не може да отчете изпускането на води от язовирите през летния период.
- За по-добро изясняване на влиянието на промяната в дълбочините на корено-обитаемия слой и тази на кореновата система е необходимо по-подробно изследване на двата параметъра поотделно, съчетано с и без използване на новата карта на параметрите на растителността ECOCLIMAP-SG.

5. ИЗВОДИ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Създадените в рамките на нашето проучване детайлни карти за процентното съдържание на глинеста и песъчлива фракции в почвата, както и картите за дълбочина на корено-обитаемия слой и тази на ефективната дълбочина на кореновата система, могат да бъдат използвани в хидрологичното моделиране, за цялата територия на България, като по-прецизна алтернатива на тези, стандартно използвани при схемата за повърхностни процеси SURFEX. Ефекта

от използването на новите карти за дълбочина на корено-обитаемия слой, на кореновата система и по-детайлната карта на параметрите на растителността ECOCLIMAP-SG е съществен, като при първите две се отбелязва чувствително по-голям симулиран отток спрямо референтната симулация. Самостоятелното използване на ECOCLIMAP-SG има положително влияние върху статистическите показатели на симулациите. Използването на картите с дълбочините е необходимо да се прилага при водосборни райони където има тенденция симулирания отток да е дългосрочно по-нисък спрямо реално измерения отток и само в случаи в които няма други предполагаеми причини за това. Същевременно, въпреки че според статистическите резултати новите карти за процентно съдържание на глинеста и пясъчлива фракции са напълно равностойни на „стандартните“ карти, за положителен ефект и за по-детайлен анализ на влиянието им върху симулациите е необходимо ползване на по-висока резолюция на пространствената изчислителна мрежа приложена за схемата за повърхностни процеси, например с клетки 4x4 km или по-малки.

БЛАГОДАРНОСТИ

Статията е реализирана с помощта на национална програма на Министерство на образованието и науката „Млади учени и пост-докторанти“ – модул „Пост-докторанти“, 2020 г по договор ЧР-04-18/28.02.2020 г.

ЛИТЕРАТУРА

- Богданов, С., (2020). Почвени условия под високопродуктивни смърчови насаждения, Екологично инженерство и опазване на околната среда, No 4, 2019, 66-72.
- Господинов, И., (2012). Национален Метеорологичен Анализ с Висока Резолюция (НМАВР), Технически доклад от годишния договор НИМХ - МОСВ, София, 2012.
- Недков Н., (2018). Хидроложки прогнози и прогностични модели, Дисертационен труд, НИМХ – София, 2018.
- Albergel, C., Dutra, E., Munier, S., Calvet, J.-C., Munoz-Sabater, J., de Rosnay, P., & Balsamo, G., (2018). ERA-5 and ERA-Interim driven ISBA land surface model simulations: which one performs better?, Hydrol. Earth Syst. Sci., 22, 3515–3532, <https://doi.org/10.5194/hess-22-3515-2018>,
- Artinyan, E., Habets, F., Noilhan, J., Ledoux, E., Dimitrov, D., Martin, E., & Le Moigne, P., (2008). Modelling the water budget and the riverflows of the Maritsa basin in Bulgaria. Hydrology and Earth System Sciences. 12. 10.5194/hessd-4-475-2007.
- Artinyan, E., Dimitrov, D., Kroumova, K., Rankova, M., (2017). Annual water resources assessment using different observations and models. XXVII Conference of the Danubian countries on hydrological forecasting and hydrological bases of water management, Golden Sands, Bulgaria, September 2017.

- Ballabio, C., Panagos, P., Montanarella, L., (2016). Mapping topsoil physical properties at European scale using the LUCAS database, *Geoderma*, 261, 110-123.
- Cressman, G. P., (1959). An operational objective analysis system. *Mon. Weath. Rev.*, 87, 367-374.
- Delire, C., Calvet, J.-C., Noilhan, J., Wright, I., Manzi, A., & Nobre, C. (1997). Physical properties of Amazonian soils: A modeling study using the Anglo-Brazilian Amazonian Climate Observation Study data. *J. Geophys. Res.*, 102 (D25), 30119-30133, doi:10.1029/97JD01836.
- FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, (2012). Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- Faroux, S., Kaptué Tchuenté, A. T., Roujean, J.-L., Masson, V., Martin, E., & Le Moigne, P., (2013). ECOCLIMAP-II/Europe: a twofold database of ecosystems and surface parameters at 1 km resolution based on satellite information for use in land surface, meteorological and climate models. *Geoscientific Model Development*, 6 (2), 563–582.
- Habets, F., Noilhan, J., Golaz, C., Goutorbe, J. P., Lacarrère, P., Leblois, E., Ledoux, E., Martin, E., Ottlé, C., & Vidal-Madjar, D., (1999). The ISBA surface scheme in a macroscale hydrological model applied to the Hapex-Mobilhy area. Part I : Model and database, *J. Hydrol.*, 217, 75–96.
- Noilhan, J. & Mahfouf, J.-F., (1996). The ISBA land surface parameterization scheme, *Global and Planetary Change*, 13, (1–4), 1996, 145-159.
- Knoben, W. J. M., Freer, J. E., & Woods, R. A., (2019). Technical note: Inherent benchmark or not? Comparing Nash–Sutcliffe and Kling–Gupta efficiency scores, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 23, 4323–4331, <https://doi.org/10.5194/hess-23-4323-2019>
- Le Moigne, P., Besson, F., Martin, E., Boé, J., Decharme, B., Etchevers, P., Faroux, S., Habets, F., Lafaysse, M., Leroux, D., Rousset-Regimbeau, F., & Boone, A. (2020). The latest improvements with SURFEX v8.0 of the Safran-Isba-Modcou hydrometeorological model for 695 France, *Geosci. Model Dev.*, 2020.
- Lovat, A., Vincendon, B. & Ducrocq, V. (2018). Assessing the impact of resolution and soil datasets on flash-flood modelling. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*. 1-33. 10.5194/hess-2018-374.
- Masson, V., Champeaux, J. L., Chauvin, F., Meriguet, C., & Lacaze, R., (2003). A global database of land surface parameters at 1-km resolution in meteorological and climate models, *Journal of Climate*, <https://doi.org/10.1175/1520-0442-16.9.1261>
- Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., & Montanarella L., (2012). European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements. *Land Use Policy*, 29 (2), 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003
- Samuelson, P., (2019). Overview of HIRLAM surface activities, Power point presentation at EWGLAM and SRNWP meetings, 1.October, 2019, Sofia, Bulgaria, http://srnwp.met.hu/Annual_Meetings/2019/download/tuesday/HIRLAM_Surface_Patrick_autumn_2019.pdf
- SRTM, Shuttle Radar Topography Mission: last access Oct. 1, 2020, <http://srtm.csi.cgiar.org>
- Yang, Y., Donohue, R. J. & McVicar, T. R., (2016). Global estimation of effective plant rooting depth: Implications for hydrological modeling, *Water Resour. Res.*, 52, 8260–8276, doi:10.1002/2016WR019392.
- Yang, Y., Donohue, R., McVicar, T., (2016). Global effective plant rooting depth. v1. CSIRO. Data Collection. <https://doi.org/10.4225/08/5837b3aa9cb90>