

Експериментално измерване и числено симулиране на енергийния поток и потока на влагата между атмосфера и земя в две синоптични станции на НИМХ – БАН

**Ерам Артинян, Екатерина Бъчварова, Станислава Радева,
Надежда Шопова, Андрей Налджиян, Атанас Васев,
Христо Червенков**

Национален институт по метеорология и хидрология,
Българска академия на науките,
бул. Цариградско шосе 66, 1784 София

Abstract. Measures of the energy flow and the flow of moisture between the atmosphere and the land is a necessary basis for calibration and validation of the parameters of the simulation schemes for surface processes involving soil and vegetation cover. These schemes are an integral part of atmospheric circulation models used for meteorological and hydrological forecasts but also of climate change analysis models.

The paper presents intermediate results of conducting the experimental in-situ measurement of the components of the energy and water budget as compared to those resulting from a numerical simulation of surface processes occurring at the boundary of contact between the surface layer of the atmosphere and the earth's surface (and within soil) in two synoptic stations of NIMH: near to the town Chirpan (with lowland conditions) and at Rozhen peak (1759 m) for periods of 2 years and 8 months respectively.

The micro - meteorological method of covariance was used to measure the latent heat and sensible heat fluxes. Other measures include short wave and thermal radiation, falling and reflected, soil moisture and temperature.

To simulate surface processes and to compute components of energy and water budget was used ISBA land surface scheme as part of the open access SURFEX platform.

Analysis of the differences between measured components of the energy and water balance and corresponding simulated values indicates the direction of work to bring the simulation to more realistic representation of the processes in the natural environment.

1 Въведение

Водният и енергийният баланс на повърхността на земята определя процесите на евапотранспирация, инфилтрация, подпочвен и повърхностен отток. Тези процеси от своя страна са в основата на формирането на речния отток и чрез еволюцията на почвената влажност пряко влияят на вегетацията на растителните видове. По отношение на влагата приходната част се формира от валеж от дъжд и сняг, а разходната – от евапотранспирация, инфилтрация и повърхностния отток.

Балансът на енергията е определен от прихода: нетна слънчева радиация или радиационен баланс (разликата между падащата и отразена такава) и разхода: поток топлина в почвата, латентна топлина на изпарение и явен турбулентен топлинен поток, както и от два члена, отразяващи енергийния резервоар между инструмента и почвата (S) и Q – сумата на всички останали източници и разходи [1].

$$LE + H = Rn - G - S - Q, \quad (1)$$

където G е топлинният поток в почвата, Rn [W] е радиационният баланс на повърхността, H [W] и LE [W] са явният турбулентен поток и латентният поток топлина от повърхността, разпространявани чрез турбулентното движение на въздуха.

Изчислението на годишния воден баланс за отделни речни басейни и територията на България в момента се базира на данните от измерванията на валежите и речния отток, като реалната евапотранспирация се изчислява като разлика между двете [2]. Този подход е реалистичен за годишен или многогодишен период в двата края на които почвената влажност достига минимум – напр. хидроложка година, но в случаи на период от последователни календарни години натрупаният влагозапас в почвата и в снежната покривка от последната година може погрешно да се причисли към евапотранспирацията. Двугодишна симулация на водния баланс за басейна на р. Марица [3] показва, че само влагозапасът в почвата пренася в следващата година воден обем представляващ до 10% от годишната сума на изпарението. Това показва, че за изчисление на воден баланс при наличие на достатъчно метеорологични данни е подходящо да се използват и числени модели, симулиращи развиваща се растителност и използващи детайлни данни за постилащата повърхност.

Моделирането се базира на редица приближения както на физичните процеси, така и при отчитането на физическите характеристики на постилащата повърхност, вследствие на което резултатите не са валидни по подразбиране. При разпределените модели резултатите от една клетка на модела не са меродавни за резултата над цялата

Експериментално измерване и числено симулиране на ...

моделирана площ, но при 1D приложения е възможно да се оценят качествата и недостатъците на параметризацията и впоследствие тя да се усъвършенства. Необходима е проверка чрез сравнение на резултатите с независими измервания. Това става включително чрез използване на прецизни уреди и технологии за експерименталното им in-situ измерване в природна среда. Сравнението на резултатите от измерванията с тези от симулациите позволява да се проверят на практика моделите, да се прецизират някои от параметрите им и валидират резултатите. Микрометеорологичният метод е един от методите за измерване на елементите на енергийния и воден баланс съществено технологично развитие през последните 20 години. Той се основава на ковариацията между флукуациите на вертикалната компонента на скоростта на вятъра и съответно: а) изменението на плътността на водната пара (за потока латентна топлина на изпарение) и б) изменението на температурата на въздуха (за явния турбулентен поток топлина). За тази цел високоскоростното измерване (10 Hz) на скоростта на вятъра в трите оси – x , y , и z , се съчетава с измервания на плътността на водната пара и температурата на въздуха. Методът се развива и използва в научните среди включително за измервания на естествения баланс на CO_2 [4,5], като в момента функционира около 560 станции в цял свят [6].

2 Материали и методи

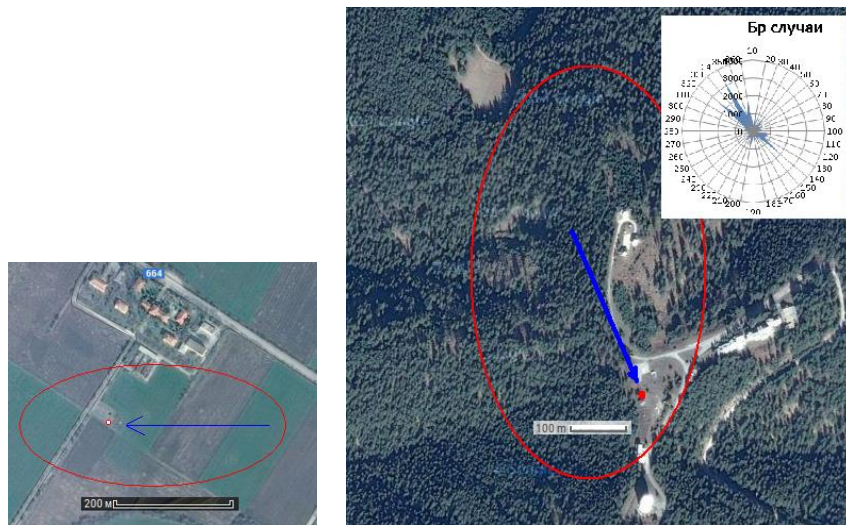
През 2014 и 2015 г. в метеорологичните паркове на синоптичните станции на Националния Институт по Метеорология и Хидрология (НИМХ) в НАО – Рожан (1759 m) и в Института по Памука и Твърдата пшеница – Чирпан (172 m) за пръв път в България бяха инсталирани микрометеорологични системи за мониторинг на компонентите на водния и енергиен баланс. Целта е да се сравнят и анализират разликите между измерените компоненти на водния и енергиен баланс с резултатите, получени от числен модел. При това сравнение са възможни два подхода: а) използване на кратки интервали от време до 2–3 денонощия с типични условия, през които условията за измерване са оптимални; б) използване на целия наличен интервал на измерване, за да се оценят разликите в сезонните и/или средногодишни стойности на измерен и симулиран поток енергия и влага. Вторият подход ни дава допълнителна информация, но е натоварен с грешка, тъй като уредите, най-вече газанализаторът, не измерват с еднакво качество през цялото време. С други думи, базата за изчисление на средните стойности (от измерени данни) е по принцип редица с разнородно качество. По отношение на компонентите на енергийния баланс тук ще бъде представен вторият подход поради наличието на данни от български автор за многогодишен период

Ерам Артинян и др.

[7,8], с които резултатите могат да бъдат сравнени¹. Измерванията и симулациите на водното съдържание на почвата и височината и водното съдържание на снежната покривка са сравнени с данни от наблюдателната мрежа на НИМХ за 2014-2016 г.

2.1 Инсталирани сензори

В двете комплексни станции се измерват и архивират данните от прецизни сензори за: а) температура [$^{\circ}\text{C}$] и относителна влажност на въздуха [%]; б) скорост на вятъра по трите оси – x , y и z [m/s]; в) плътност на водната пара [g/m^3]; д) атмосферно налягане [kPa]; е) падаща и отразена късовълнова и атмосферна радиация [W]; ф) температура [$^{\circ}\text{C}$] и влажност на почвата на 8 cm и 40 cm [%]; г) поток топлина в почвата [W], валежи [mm]. Тъй като снежната покривка играе важна роля при формирането на водния баланс (високото алbedo на снега води често до отрицателен радиационен баланс при много слаб обмен на енергия при повърхността), в Рожен са инсталирани и сензори за височина [cm] и плътност [kg/m^3] на снежната покривка.



Фиг. 1: Разположение на метеорологичните паркове на синоптичните станции в Чирпан (ляво) и Рожен (дясно). С червена елипса е обозначен приблизителния обхват (“footprint”) на уредите измерващи турбулентния поток топлина (H) и латентния поток топлина (LE). Синята стрела показва посоката на преобладаващия вятър.

¹Данните в [7] са изчислени по климатичен справочник от 1959 г.

Експериментално измерване и числено симулиране на ...

Височината на инсталиране на основната група сензори е определена спрямо височината на околната растителност и желания пространствен обсег на сензорите ("foot print"). По тази причина в Чирпан сензорите са инсталирани на 4.20 m а в Рожен на височина 10.0 m. По този начин се достига хоризонтален обсег на измерванията в посока на преобладаващия вятър за Чирпан до 360 m, а за Рожен до 530 m (Фиг. 1). Данните от сензорите за температура и влажност на въздуха, скорост на вятъра, атмосферно налягане и дълговълнова радиация са сравнени с данните от синоптичните измерванията и с изчисленията, извършвани въз основа на данните от синоптичните станции. Анализът на разликите изисква отделно проучване, като най-съществената е в стойностите на относителната влажност на въздуха при станция Чирпан, която има влияние при изчислението на специфичната влажност [9] и падащата дълговълнова радиация [10].

2.2 Технология на работа със сензорите

Синхронизираното измерване на скоростта на вятъра, флуктуациите на температурата чрез ултразвук и на плътността на водната пара чрез инфрачервен газ анализатор се извършва с висока честота – 10 Hz (100 ms). Измерванията на повечето други параметри са с честота 5 s.

Грешки в данните възникват от природен и от технически източник. Основният проблем при газ-анализаторите от отворен тип са атмосферните условия или замърсяване от прах, които препятстват пътя на инфрачервения лъч на уреда. Други проблемни предпоставки са много ниска скорост на вятъра (близо до 0 m/s) или посока обратна на оста на уреда, при което са нарушени условията за оптималност на измерването. Тези проблеми, както и такива от техническа неизправност, се установяват и елиминират, като се анализират флаговете за качество изчислени от специализирания софтуер. За анализ се ползват само успешните измервания.

Данните от съгстените наблюдения (на газ анализатора) се архивират на технически носител в реално време. Впоследствие въз основа на набраната информация след прилагане на стандартните корекции [11], филтриране на пиковете и автоматизирано елиминирание на грешните данни се изчисляват енергийните потоци за всеки 30 минутен интервал. Обработката на данните до март 2016 г. от Чирпан (от 1.09.2014) и Рожен (от 1.01.2016) е извършена със софтуера EddyPro[®] а след тази дата данните се обработват от софтуера EasyFlux[™]-DL. Двата софтуера използват подобни изчислителни методи, за да елиминират грешките при измерването на пото-

ците [12], като вторият е създаден за комбинацията от използвани тук уреди и поради това изчислява също потокът топлина в почвата, “затварянето” на енергийния баланс – “closure” и др. След февруари 2016 г. изчисленията в реално време потоци, както и другите измервани параметри, се въвеждат в база данни и са текущо достъпни в интранет мрежата на НИМХ през специално създадена интранет страница в табличен и графичен вид.

2.3 Модел за изчисление на воден и енергиен баланс.

Използван е моделът Interface Soil Biosphere Atmosphere (ISBA) [13], който е част от платформата със свободен достъп SURFEX 8.0 [14]. ISBA изчислява водния баланс на клетка от равномерна пространствена мрежа, вземайки предвид растителната покривка и три слоя в почвата: един повърхностен с дебелина $d_1 = 1$ cm и с водно съдържание w_1 , втори с водно съдържание w_2 и дебелина d_2 , който включва корените на растенията и трети – под кореновата система. При валеж водата първо преминава през растителността, после достига до почвата. Изчислява се повърхностното оттичане, а остатъкът се поема от резервоара почва. Симулира се задържането на част от валежа от листата и отнемането на влага от почвата от корените на растенията. Изменението на водното съдържание в почвата се изчислява, като се вземат предвид еволюцията на снежната покривка (дебелина на снега, плътност и алbedo), изпарението от гола почва, транспирацията на растителността, повърхностното стичане и гравитационното дрениране от дъното на резервоара почва. Последният вариант на ISBA включва алтернативен дифузионен метод на разпространението на водата в почвата, подробен модел за снежната покривка и т.н.

В ISBA радиационният баланс се изчислява като сума от погълнатата слънчева радиация $R_G(1 - \alpha_t)$, погълнатата падаща дълговълнова атмосферна радиация εRAT , намалена с излъчената от повърхността дълговълнова радиация $\varepsilon\sigma T_s^4$:

$$R_n = R_G(1 - \alpha_t) + \varepsilon(RAT - \sigma T_s^4) = H + LE + G, \quad (2)$$

където σ е константата на Стефан-Болцман, α_t общото алbedo (почва, растителност и сняг) и ε – коефициентът на топлоотдаване.

Турбулентният поток ефективна топлина се описва с аеродинамична формула [15]:

$$H = \rho_a C_p C_H V_a (T_s - T_a), \quad (3)$$

където C_p е специфичната топлемост на въздуха, ρ_a , V_a и T_a са плътността на въздуха, скоростта на вятъра и температурата на въздуха, C_H е коефициент на обмяна, който зависи от температурната

Експериментално измерване и числено симулиране на ...

стабилност на атмосферата, T_s е температурата на земната повърхност.

Потокът енергия в почвата G се изчислява на основата на изменението на градиента на температурата и характеристиките на почвата. Общата евапотранспирация [mm] се изчислява като сума от четири части: изпарение от частта с гола повърхност, изпарение от задържаната от растителността част от валежа, транспирацията от растителността и изпарението от снежната покривка. [mm] и латентната топлина на изпарение LE [W/m] са свързани чрез уравнението:

$$LE = \rho_v l_v E, \quad (4)$$

където ρ_v и l_v са съответно плътността и латентната топлина на изпарение на водата: 1000 kg/m^3 и 2.5 MJ/kg при температура 0°C , или при 20°C за изпарението на 1 mm/day са необходими 28.35 W/m^2 .

3 Подготовка на входни данни за симулациите

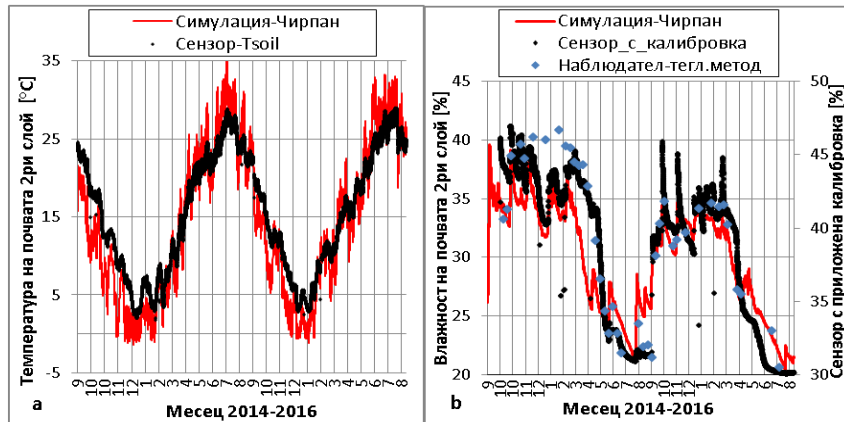
При стандартното използване на ISBA в НИМХ за симулиране на оттока и водния баланс на речни басейни се налага някои входни данни, за които няма достатъчно преки измервания, като пряка и атмосферна радиация, да бъдат заместени с такива, получени от други модели. Данните за скоростта на вятъра и пряката радиация със стъпка 3 часа се извличат от модела ALADIN. За изчислението на стойностите на атмосферната радиация се използва метод [10], при който се ползват температурата, специфичната влажност на въздуха и облачността.

Набраната информация от сензорите позволява в настоящото проучване за пръв път да се използват пряко измерени стойности за всички входни параметри със стъпка във времето 1 h. Данните за температура и специфична влажност на въздуха, скорост на вятъра, атмосферно налягане, падаща късовълнова и дълговълнова радиация и валежи са детайлно проверени и липсите са допълнени чрез линейна интерполация от данните, измервани от синоптичната станция. Периодът на измервания и съответно на симулация за Чирпан включва две пълни години до 1-09-2016 г., а за Рожен – 8 месеца до същата дата.

4 Резултати и дискусия

4.1 Сравнение на измерванията на водното съдържание в почвата и в снега

Температурата на почвата (за Чирпан) е по-точно симулирана в дълбочина (Фиг. 2а), отколкото на повърхността, където моделът пре-



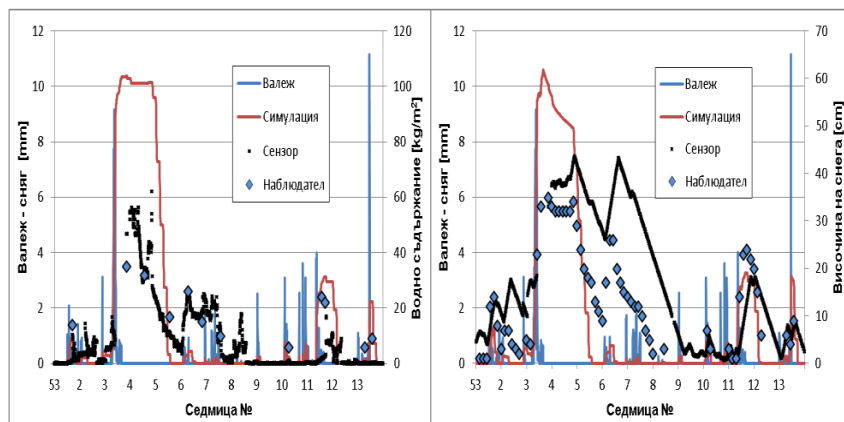
Фиг. 2: Сравнение на симулираните от модела данни за почвената температура [°C] (в ляво) и обемната влажност на почвата [%] (лява скала) за слоя от 30 cm до 60 cm с тези, измерени от сензора (към дясна скала) и от наблюдателя (към дясна скала).

създава по-голяма от измерваната дневна амплитуда. Симулираната влажност на почвата за Чирпан е сравнена с измерените данни от сензора след калибровка (Фиг. 2b). За корекцията е използвана регресия, изчислена на основа данните, измерени от наблюдателя. Изяснява се, че въпреки универсалното приложение на преводното уравнение [16], за да се получи адекватна на измерваната по тегловен начин обемна влажност на типа “излужена смолница”, е необходимо данните от сензора, директно измерващ диелектричната проводимост на почвата, да се калибрират за конкретния тип почва. Наблюдава се съвпадение между измерените от наблюдателя стойности за почвената влага и тези от сензора с изключение на 2 месеца през зимата 2014-15 г. Годишният ход на изменение на влажността на почвата е добре симулиран от модела с изключение на периода март-април, когато в симулацията тя спада значително по-бързо в сравнение с измерванията. Този спад не се компенсира през следващата зима и се отразява на отношението между елементите на енергийния и водния баланс.

Сравнението на симулацията на водното съдържание и височина на снежната покривка за Рожен и измерените данни показва, че по време на първия голям снеговалеж модела бързо натрупва и през 5-тата седмица стопява по-голямо количество сняг (Фиг. 3).

В действителност натрупването е по-малко като водно съдържание и височина, но снежната покривка продължава по-дълго време до 9-

Експериментално измерване и числено симулиране на ...



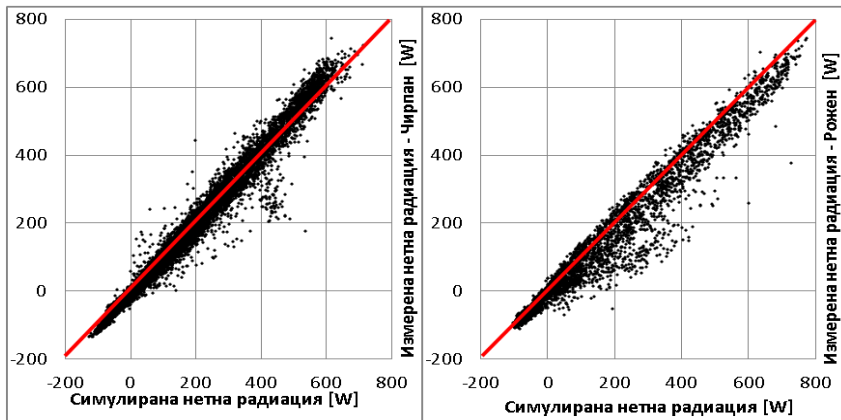
Фиг. 3: Сравнение на симулираните данни за водно съдържание (ляво) и височина на снежната покривка (дясно) за Рожен за периода декември 2015 март 2016 г.

тата седмица, включително поради допълнителен снеговалеж. Симулацията отразява относително по-точно периода на снеговалеж през 11-12 седмица. Резултатите показват, че следва да се тестват и други подходи като например алтернативната по-сложна схема за симулация на снежна повърхност CROCUS [17].

4.2 Сравнение на елементите на топлинния баланс за целия интервал от измервания за Чирпан с резултатите от симулацията и с климатичните данни

Междинните резултати показват добро съвпадение на измерената R_n с изчислената от модела ISBA за Чирпан и Рожен за целия период на измерване (Фиг. 4). Това показва, че отразената директна и излъчваната инфрачервена радиация, които се изчисляват от модела с участието на общото алbedo, симулираната температура на повърхността на земята (уравнение (2)) и съответно ефективното излъчване, са правдоподобни.

При сравнение на средните месечни стойности на R_n и LE за Чирпан, симулирани от модела, средните месечни стойности, измерени от сензорите, и климатичните средно месечни стойности [7] се вижда, че те са близки през някои месеци, а в други съществено се различават (Фиг. 5; Табл. 1). Независимо от вътре-годишните разлики средногодишните стойности на съотношението на Bowen H/LE [18] от измерванията и от климатични данни [7] са съответно 0.57 и 0.56. По-ново проучване [8] показва съотношения 0.81 и 0.86 за Садово

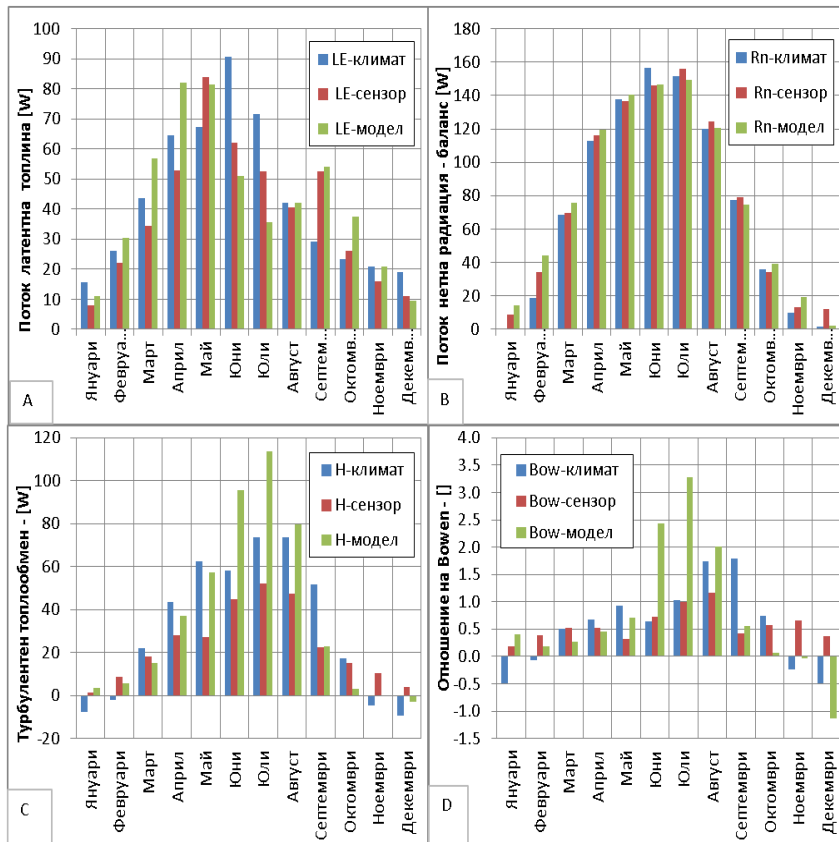


Фиг. 4: Сравнение на симулираната от модела нетна радиация R_n (енергиен баланс) [W]: Чирпан (ляво) и Рожен (дясно); с тази, измерена от сензорите на балансометъра.

и Хасково, които са географски близо разположени. Симулираното от модела средногодишно съотношение попада като стойност по-близо до второто проучване – 0.76. Основната разлика между измерения средно месечен H и симулацията е при летните месеци юни, юли и август. През тези месеци по-високото съотношение на Bowen е признак на преобладаване на турбулентния поток топлина над загубата на топлина за изпарение и показва недостиг на влага в постилащата повърхност при симулацията. Като се има предвид, че в модела ISBA не е приложено специално калибриране сравнителните анализи между данните, пресметнати от модела, и измерените физични величини в голяма част показват съвпадение. Това се отнася за радиационния баланс (R_n) (Фиг. 5b), почвената температура в дълбочина и относителната динамика на влажността в почвата (след калибриране на сензора). При моделирането не са отчетени временните специфики в земеползването, засетите култури и стадите в развитието им за периода 2015-16 г. По принцип моделът ползва глобалната база данни за земеползването и растителността ECOCLIMAP II с резолюция 1 km [19] и световна база данни за почвите [20] с резолюция 1 km. Докато при радиационния баланс разликите са малки, съществени разлики се отчитат между моделните резултати и измерванията във вътрешно-годишното разпределение на потоците латентна (Фиг. 5a) и ефективна топлина: LE и H .

За отбелязване е значително по-ниският измерен турбулентен топлообмен (Фиг. 5c) от май до август в сравнение със симулирания такъв. Симулираната от модела загуба на топлина за изпарение

Експериментално измерване и числено симулиране на ...



Фиг. 5: Сравнителни графики на средно-месечните стойности на елементите на енергийния баланс за Чирпан, измерени от сензорите, изчислени от модела и взети от литературата [7]: А – поток латентна топлина; В – енергиен баланс (нетна радиация); С – турбулентен топлообмен; и D – съотношение на Bowen.

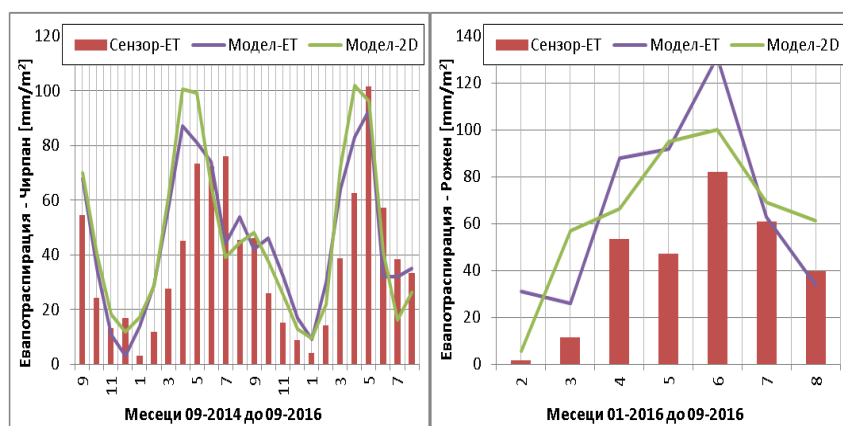
(Фиг. 5а) (евapotранспирация) е по-висока от измерената през пролетните месеци март-април и по-ниска през юни и юли. Обикновено такъв проблем възниква при неправилна инициализация на почвената влага при симулацията, но в конкретния случай инициализацията съвпада точно с измерената почвена влага в началото на симулацията: 26%. Симулацията на почвената влага показва, че моделът следва амплитудата на измерванията (Фиг. 5d), но през пролетно-летния период отнема 5 до 10% повече влага от почвата. Това изоставане не се наваксва през зимния период 2015-16 г. и се задълбочава през лятото на 2016 г. Разликите между резултатите от симулацията

и измерванията изискват внимателно проучване и формулиране на хипотези за обяснението им.

4.3 Воден баланс: валежи, повърхностен и под-почвен отток, евапотранспирация

От елементите на водния баланс с инсталираните уреди се измерват, освен разгледаните по-горе вода в почвата и в снега, валежи и евапотранспирация (E). Измерването на под-почвения отток ще се въведе допълнително чрез инсталиране на лизиметър, а повърхностният отток за малки площи е трудно да бъде измерен, тъй като има относително малки суми. Сравнението на симулираната и измерените месечни суми е дадено на Фиг. 6. Тук, освен данните от моделирането с входни данни със стъпка 1 h в една точка, е даден резултатът и от оперативната симулация от модела със стъпка 3 h. Вижда се, че през пролетните месеци на двете години E , изчислена от модела за Чирпан, се приближава повече до измерванията. Същевременно двата варианта на модела надвишават значително измерените стойности през периода февруари-април за Чирпан и март-юни за Рожен.

И за двете години сумата на измерената в Чирпан (464 и 467 mm) е по-малка от тази, която е симулирана от модела, съответно 557 и 515 mm (Табл. 1). В публикувана карта [21] (1931-70) на изпарението за Чирпан за календарна година стойността е около 500 mm. От Табл. 1 се вижда, че в края на 2014 и през зимата 14/15 падат значителни валежи, вследствие на което се симулира повърхностен и



Фиг. 6: Сравнение на измерена (сензор-ЕТ) и симулирана с две версии на модела (Модел-ЕТ и Модел-2D) евапотранспирация за Чирпан (ляво) и Рожен (дясно).

Експериментално измерване и числено симулиране на ...

Таблица 1: Месечни и годишни суми на валежа и симулираните елементи от водния баланс в [mm] за станция Чирпан за периода 2014-09 до 2016-09

Месец 2014-15	сеп	окт	ное	дек	яну	фев	мар	апр	май	юни	юли	авг	год.
Валеж* [mm]	242	135	37	162	50	62	135	17	59	78	13	80	1070
[mm]	68	35	11	3	14	29	57	87	81	74	44	54	557
Под-почв. отг. [mm]	88	44	63	93	18	52	41	0	0	0	0	0	399
Повърхн. отг. [mm]	35	25	5	20	7	9	14	1	0	0	0	0	116
Месец 2015-16	сеп	окт	ное	дек	яну	фев	мар	апр	май	юни	юли	авг	год.
Валеж* [mm]	114	77	63	1	74	28	53	27	75	15	4	26	557
[mm]	42	46	32	17	9	30	64	83	93	32	32	35	515
Под-почв. отг. [mm]	0	0	0	0	10	4	0	0	0	0	0	0	14
Повърхн. отг. [mm]	2	6	5	0	6	0	5	0	1	0	0	0	25

*Данните за валежа не съвпадат точно с измерените от климатичната станция.

под-почвен отток до края на март 2015 г. След март 2015 под-почвен отток има само през зимата на 15/16 от снеготопене а повърхностен се появява също в малки количества. Появата на толкова значителен под-почвен отток за Чирпан е признак за повишена над пределната полска влажност (ППВ) влажност на почвата. Тъй като моделът е инициализиран с близка до измерената от наблюдателя влажност, следва да се провери дали ППВ (“field capacity”), изчислена от модела отговаря на реалната. Тъй като ППВ в модела се изчислява спрямо процентното съдържание на пясък и глина, е възможно тя съществено да се разминава с реалната и тогава инициализиране на моделната почвена влажност с измерената такава въвежда “излишно” количество влага в почвата.

5 Заключение

Направено е сравнение на данните от измерванията, наличните в литературата данни и резултатите от симулациите за радиационния баланс, турбулентния поток топлина и загубата на топлина за изпарение (R_n , H , LE) за Чирпан от септември 2014 до септември 2016 г. Поради по-краткия период на функциониране на сензорите на Рожен (януари – септември 2016) тук са сравнени измерените и симулирани данни за снежната покривка за Рожен: водно съдържание и височина през 2016 г. Представени са резултати от симулацията на водния баланс за Чирпан и Рожен за същите периоди.

Основният извод от сравненията на измерванията и симулациите е, че модел и измервания се разминават в оценката на потока латентна топлина на изпарение (и съответно евапотранспирация) през пролетния период, като в моделните резултати тя е по-висока и за две-

Ерам Артинян и др.

те станции. Впечатлението е, че при моделирането през пролетния сезон “ускорено” се извлича влагата от почвата за изпарение, след което през лятото преобладава турбулентният топлообмен, което не се потвърждава от измерванията на сензорите.

Сравнителният анализ на данните от измерванията и резултатите от симулациите ще позволи да се формулират хипотези за разликите и въз основа на тях да се постигне по-точно калибриране на параметрите на използвания модел с цел да се достигне адекватно симулиране на повърхностните процеси. Евентуално усъвършенстване на параметризацията за Чирпан и Рожен биха се отразили на цялостното функциониране на модела за територията на България и ще позволят теоретичното изчисление на водния баланс (и оттока) за отделни водосборни басейни и топлинен баланс на територията на България с приемлива точност. В тази посока би могло да се експериментира с приложение на по-сложната версия на модела ISBA Multi-Energy Budget (MEB) [22].

Публикуваните тук резултати не са окончателни, като за вече обработените периоди и данни са възможни промени в следствие корекция на пропуски от различен произход и с различна тежест върху резултатите.

Благодарности

Авторите благодарят на Министерството на околната среда и водите (МОСВ) за финансиране закупуването от НИМХ на значителна част от оборудването, използвано в тази разработка с цел подобряване научно-приложните изследвания на водните ресурси.

Литература

- [1] Wilson, K., et al., 2002: Energy balance closure at FLUXNET sites. *Agricultural and Forest Meteorology* 113 (2002) 223–243.
- [2] Ранкова, М., Крумова, К., 2016: Възможности за оценка на ресурсите от води в България, *Водна Дело 1/2 2016*, с. 22-26, 2016 г.
- [3] Артинян, Е., 2003 г.: Хидроложко моделиране на оттока в басейна на р. България. *Докторска дисертация*. с. 99-100, 2003 г.
- [4] Drexler, J. et al., 2004: A review of models and micrometeorological methods used to estimate wetland evapotranspiration, *Hydrol. Process.* 18, 2071–2101, 2004.
- [5] Consoli, S., 2011: Evapotranspiration Estimation Using Micrometeorological Techniques, *Evapotranspiration - From Measurements to Agricultural and Environmental Applications*, Dr. Giacomo Gerosa (Ed.), ISBN: 978-953-307-512-9, InTech.
- [6] ORNL DAAC. 2016: website FLUXNET. ORNL DAAC, Oak Ridge, Tennessee, USA. https://fluxnet.ornl.gov/site_status, към 18.09.2016 г.

Експериментално измерване и числено симулиране на ...

- [7] Лингова, Ст., 1963: Върху радиационния и топлинен баланс на НР България. *Трудове на института по хидрология и метеорология. Том XV метеорология*. Държавно и-во "Наука и изкуство" – София – 1963, 3-43.
- [8] Лингова, Ст., 1981: Радиационен и светлинен режим на България, БАН, 1981 г., с. 118.
- [9] Monteith, J.L., Unsworth, M.H.; 1990; *Principles of Environmental Physics*; Edward Arnold; 304 pp.
- [10] Staley, D., G. Jurica, 1972: Effective atmospheric emissivity under clear skies. *J. Appl. Meteor.*, 11, 349-356.
- [11] Webb et al., 1980: Correction of Flux Measurements for Density Effects Due to Heat and Water-Vapor Transfer, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 106(447):100 January 1980.
- [12] Burba, G., D. Anderson, 2010: A Brief Practical Guide to Eddy Covariance Flux Measurements: Principles and Workflow Examples for Scientific and Industrial Applications. LI-COR Biosciences, Lincoln, Nebraska, USA, 212pp.
- [13] Le Moigne, P., 2012: SURFEX SCIENTIFIC DOCUMENTATION, 2012.
http://www.cnrm-game-meteo.fr/surfex//IMG/pdf/surfex_scidoc_v2-2.pdf
- [14] SURFEX, 2016: (към 25.10.2016 г.)
<http://www.cnrm-game-meteo.fr/surfex//spip.php?article387>
- [15] Louis, J. F., 1979: A parametric model for vertical eddy fluxes in the atmosphere. *Bound.-Layer Meteor.* 17, 187-202.
- [16] Topp, G.C., J.L. David, A.P. Annan 1980: Electromagnetic, Determination of Soil Water Content: Measurement in Coaxial Transmission Lines. *Water Resources Research* 16:3. p. 574-582.
- [17] Vionnet, V., Brun, E., Morin, S., Boone, A., Faroux, S., Le Moigne, P., Martin, E., J.-M. Willemet, 2012: The detailed snowpack scheme crocus and its implementation in surfex v7.2. *Geoscientific Model Development*, 5(2):773–791.
- [18] Lewis, J.M., 1995: The Story behind the Bowen Ratio. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 76, pp 2433–2443
- [19] Faroux, S, Tchuente, A.T.K, Roujean, J.-L., Masson, V., Martin, E., P. Le Moigne, 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. *Geosci. Model Dev.*, 6, 563-582, 2013.
- [20] Fischer, G., F. Nachtergaele, S. Prieler, H.T. van Velthuisen, L. Verelst, D. Wiberg, 2008: Global Agro-ecological Zones Assessment for Agriculture (GAEZ 2008). IIASA, Laxenburg, Austria and FAO, Rome, Italy.
- [21] КИППК при МСА, 1982: Агроклиматичен атлас на България, 1982 г.: Годишно сумарно изпарение в България за периода 1931-1970 г., КИППК при МСА, София
- [22] Boone, A., Samuelsson, P., Gollvik, S., Napoly, A., Jarlan, L., Brun, E., Bertrand Decharme, 2016: The Interactions between Soil-Biosphere-Atmosphere (ISBA) land surface model Multi-Energy Balance (MEB) option in SURFEX - Part 1: Model description, *Geosci. Model Dev. Discuss.*, doi:10.5194/gmd-2016-269, in review, 2016.