



Определяне на подхранването на подземните води с прилагане на електронна таблица за баланса на почвената влага

Таня Василева, Татяна Орехова

Геологически институт, Българска академия на науките, ул. „Акад. Г. Бончев“, бл. 24, 1113 София

Estimation of the direct groundwater recharge based on soil water balance with the use of spreadsheet

Tanya Vasileva, Tatiana Orehova

*Geological Institute, Bulgarian Academy of Sciences, "Acad. G. Bonchev" str., bl. 24, 1113 Sofia;
E-mail: tanyav@geology.bas.bg; tvorehova@gmail.com*

Abstract. Groundwater is a renewable resource. Quantification of the groundwater recharge is important for the management of water resources. The choice of methods depends on local conditions and the available data. Water balance methods with a daily time step are commonly used for this purpose.

The aim of the study is to develop a spreadsheet to estimate the recharge based on the balance equations of soil moisture proposed by Brunner (2002), with additional accounting for the processes of interception and surface runoff. The inputs of the model are daily rainfall, potential evapotranspiration, initial soil moisture, and the daily interception threshold. The outputs of the model are daily values of the surface runoff, actual evapotranspiration, groundwater recharge and soil moisture reserves. The method was applied to the area east of Veliko Tarnovo for the period October 2001 – December 2005.

The developed spreadsheet is a good tool for preliminary evaluation of the groundwater recharge and other elements of the water balance, which is important in view of rather variable rainfall conditions in Bulgaria.

Key words: groundwater, recharge, soil water balance, spreadsheet.

Резюме. Подземните води са възобновим ресурс. Количественото определяне на подхранването на подземните води е важно при управление на водните ресурси. Изборът на методите зависи от местните условия и наличните данни. За тази цел често се използват балансови методи със стъпка един ден.

Целта на изследването е да се разработи електронна таблица за оценка на подхранването на база на балансовите уравнения на почвената влага, предложени от Brunner (2002) с допълнителното отчитане на интерцепция и повърхностен отток. Входните данни на модела са дневните валежи, потенциалната евапотранспирация, началната почвена влажност и дневния праг на интерцепция. На изхода се получават повърхностен отток, действителна евапотранспирация, подхранване на подземните води и влагозапас в почвата със стъпка един ден. Методът бе приложен за района източно от гр. Велико Търново за периода октомври 2001 – декември 2005.

Предложената електронна таблица е добър инструмент за предварително определяне на подхранването на подземните води и други елементи на водния баланс, което е важно при доста променливите валежни условия в България.

Ключови думи: подземни води, подхранване, баланс на почвена влага, електронна таблица.

Въведение

Подземните води са възобновим природен ресурс. Подхранването на подземните води е променлива величина както в пространството, така и във времето и зависи от конкретните климатични и хидроложки условия в дадения район. Количественото определяне на подхранването на подземните води е необходимо при управление на водните ресурси, особено важно при установена тенденция към засушаване в Южна и Югоизточна Европа (Mishra, Singh, 2010).

Същевременно „количествена оценка на подхранването е най-трудният компонент за оценка в системата на подземните води“ (Bredehoeft, 2007).

Съществуват два основни типа подхранване: разсеяно (diffuse or direct recharge) и фокусирано (focused recharge). Подхранването от първи тип е бавен процес, който обхваща обширни територии. То е в резултат на инфилтриране на валежи през почвения слой, които се просмукват надолу през ненаситената зона и достигат водното ниво (Healy, 2010). Това подхранване се нарича още

директно или пряко (direct – Lerner et al., 1990). Подхранването от втори тип, т.е. фокусираното или индиректно подхранване (indirect – Lerner et al., 1990), е просмукването на вода от повърхностни водни обекти – потоци, реки, канали и езера.

Методите за количествено определяне на подхранването на подземните води са многобройни (Scanlon et al., 2002; Healy, 2010). Балансовите методи са сред широко използваните. Въз основа на баланса на почвената влага са били разработени софтуерни продукти и електронни таблици за определяне на подхранването на подземните води. Тези опростени модели често не отчитат такъв важен елемент на водния баланс като интерцепция.

Savenije (2004) подчертава важната роля на интерцепцията като отбелязва, че болшинството хидроложки модели не я отчитат, което води до изкривяване на съотношението между другите елементи на водния баланс. Zhang and Savenije (2005) са показали, че дори най-опростен подход за отчитането ѝ в модели (с праг на дневна интерцепция) води до подобряване на резултатите. Обичайните стойности на интерцепция са от 1 до 4 mm, което може да достигне до 30% от общия валеж (Fenicia et al., 2008). De Groen and Savenije (2006) подчертават, че при хидроложко моделиране следва да се разглеждат всички видове на интерцепция, които възпират част от влагата като не я допускат до повърхностен отток или инфилтрация в почвата. Много често под интерцепция се разбира задържане на влага само от короните на дървета. Например, Раев и Роснев (2003) разделят сумарното изпарение на интерцепция, транспирация и почвено изпарение, като по данни от сухата 1983 г. интерцепцията от короните на дърветата е достигнала 11,7% за цер и 30,3% за черен бор в Суворово (Североизточна България).

Целта на изследването е да се разработи електронна таблица за определяне на инфилтрационното подхранване на подземните води и да се приложи в избран район на България въз основа на дневните валежи и температури като допълнително да се отчитат интерцепцията и повърхностния отток. Тези елементи на водния баланс по величина са съизмерими с подхранването, което обуславя важната им роля при оценка на възобновяемите ресурси на подземните води.

Описание на района на изследване

Избраният район на изследване обхваща територия от ~164,59 km² и се намира в Централна Северна България, източно от гр. Велико Търново. Във физикогеографско отношение попада в Средния Предбалкан. Релефът е полухълмист с надморска височина ~400 m.

Според климатичното райониране на България (Велев, 2002а) територията на изследване по-

пада в Умереноконтиненталната област, район Предбалкан. Районът се отличава с по-голямото си овлажнение, със средно многогодишна валежна сума от ~700 mm за периода 1961–1990 г. и 679 mm за станция Велико Търново за периода 1899–2000 г. За същата станция средно многогодишната стойност на температурата за периода 1916–2000 г. е 11,3 °C (Велев, 2002б).

Пролетта настъпва рано и е сравнително хладна, лятото е горещо, а есента е по-топла от пролетта. Средната януарска температура е около –1,0 °C, но под влияние на релефа температурните условия са твърде различни, като в речните долини са значително по-ниски отколкото в съседните издигнати места. Зимният период е с минимални валежи и незадържаша се дълго снежна покривка. Основна дrenaраща артерия в района на изследване е р. Лефеджа (приток на р. Янтра) с нейния ляв приток – р. Джулюница.

В района почвите са разнообразни и според почвено-географското райониране на България той попада в Долнодунавската почвена подобласт, на границата на две провинции – Средна Дунавска и Средна Предбалканска (Нinov, 2002). Доминират сивите горски почви (фиг. 1). Релефът е добре дрениран, със слаба и средна ерозия.

Земеделските земи се редуват с гори, храсти и естествени ливади. Флората е представена от широколистни гори от средноевропейски тип (Велчев, 2002).

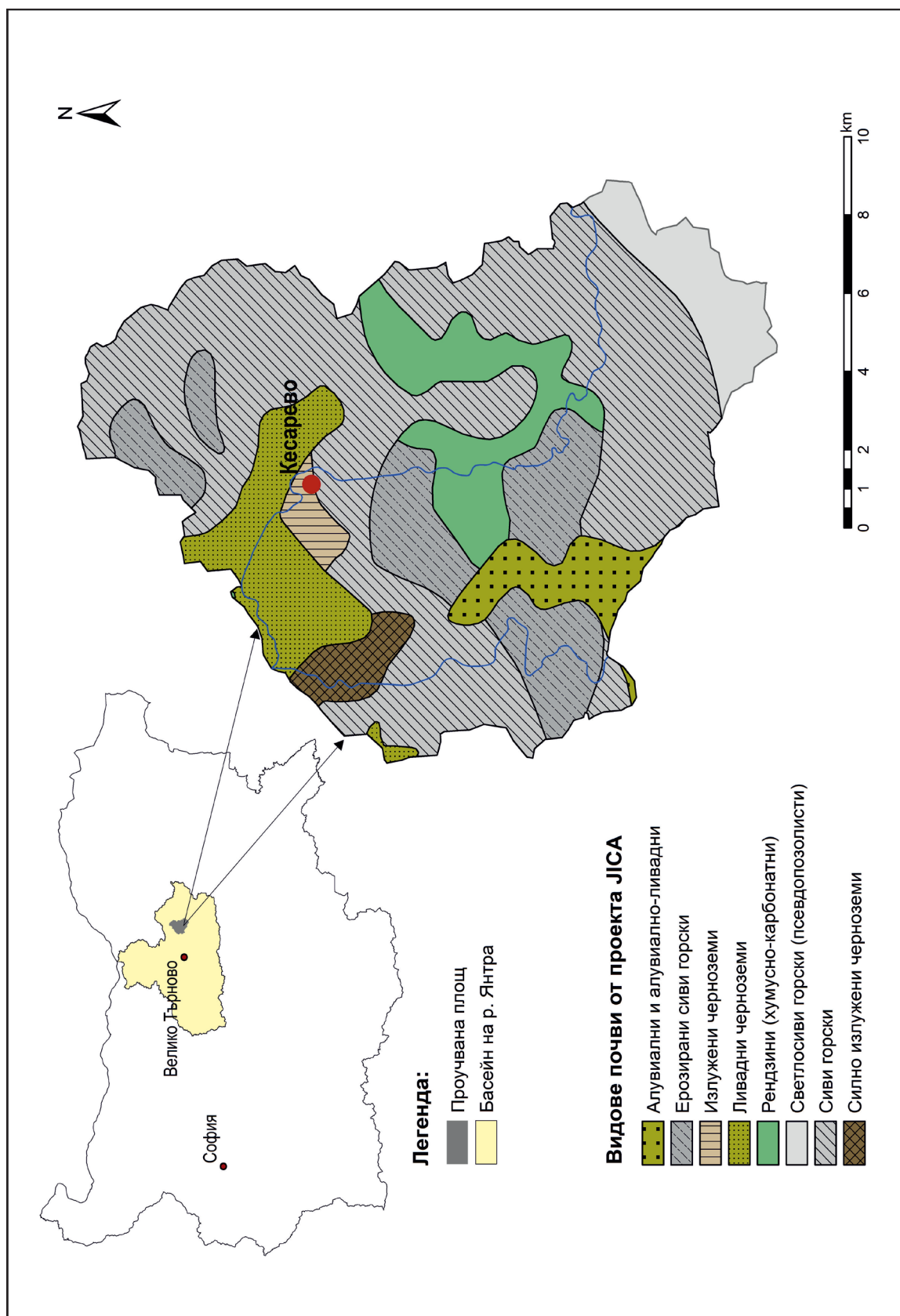
Геоложки условия

Анализът на геоложката информация за района е направен на базата на Геоложката карта на България в М 1:100 000, картни листове Велико Търново и Омуртаг, както и обяснителните записки към тях (Хрисчев и др., 1990, 1993; Чешитев и др., 1995; Чешитев, Филипов, 1995).

В района се разкриват мезозойски седименти на Средната Юра и Долната Креда с възрастов обхват от Късен Калов до Апт и кватернерни наслаги на Плейстоцена и Холоцена. Преобладават седиментите на Долната Креда (Бериас–Апт).

Разрезът е разчленен на няколко официални литостратиграфски единици (Тенчов, 1993; Чешитев и др., 1995; Чешитев, Филипов, 1995), включващи отдолу нагоре: Златаришка свита (пясъчници, мергели и аргилити), Златаришко-Тичанска свита (пясъчници, алевролити, аргилити и мергели), Камчийска свита (незакономерно редуване на пясъчници и мергели), Разпоповски член на Камчийската свита (мергели, глинести варовици и пясъчници), Горнооряховска свита (глинести мергели и мергели с прослойки от пясъчници и алевролити) и Романска свита (пясъчници, алевролити, глинести мергели).

Златаришка свита ($zJ_2^c - K_1^{bs}$). В границите на района, в най-югозападната му част, се разкрива



Фиг. 1. Почвена покривка в района (JICA Report, 2009)

Fig. 1. Soil cover in the study area (JICA Report, 2009)

една много малка площ. Тя е представена от алтернация на пачки от дебелопластови пясъчници и пачки от мергели и аргилити. Покрива се нормално от Разпоповския член на Камчийската свита.

Златаришко-Тичанска свита ($z-tcJ_3^k-K_1^v$). Разкрива се в южната част на района и е представена от пясъчници, алевролити, аргилити и мергели, засебени в отделни пачки. В едни пачки преобладават пясъчниците, в други – аргилитите, в трети – мергелите, а в четвърти – скалите са в еднакви количества и са с флишки характер. В седиментите на Златаришко-Тичанската свита са вместили поне две варовикови пачки (горна и долна). Свитата се покрива от седиментите на Камчийската свита.

Камчийска свита (kmK_1^{bs-h}). Разкритието на свитата е в южната част на района. В литоложкия ѝ състав участват дебели пачки от мергели и пясъчници, които се редуват незакономерно. Мергелните пачки са изградени от мергели или глинести мергели, които в различна степен са алевроитови. Сред тях се наблюдават алтерниращи прослойки от пясъчници и алевролити. В долните части на свитата се срещат прослойки от глинести варовици.

Долната граница на свитата в изследвания район е рязка или с бърз литоложки преход от седиментите на Златаришката и Златаришко-Тичанската свита, а горната граница е размивна или постепенна към Романската свита и Горнооряховската свита.

Разпоповски член на Камчийската свита ($r-kmK_1^v$). Представен е от мергели, глинести варовици и пясъчници, незакономерно редуващи се. В горната част на разреза глинестите варовици изчезват.

Горнооряховска свита (gK_1^{h-ap}). Разкрива се повсеместно и е представена предимно от глинести мергели, с редки прослойки от пясъчници и мергели, с прослойки от пясъчници и алевролити. За долна граница служат седиментите на Тичанската свита от Горната Юра.

Романска свита (rmK_1^{b-ap}). Свитата се разкрива в отделни участъци в централната част на района. Представена е от пясъчници, алевролити и глинести мергели. Свитата заляга над Камчийската и Горнооряховската свита.

Кватернерните седименти имат ограничено разпространение и са представени от плейстоценски и холоценски наслаги (чакъли, пясъци и глинени) – алувиални образувания на първа и втора надзаливни тераси и руслови алувиални образувания и алувиални образувания на заливните тераси.

Хидрогеоложки условия

Геоложките условия предопределят формирането на порови води в алувиалните отложения и пукнатинни води в седиментите на Романската, Златаришката и Златаришко-Тичанската свита (разположени в най-южната част на района). В горната

част на Горнооряховската и Камчийската свита, представени от изветрели и натрошени мергели и пясъчници, също има предпоставки за формирането на води. Тоест това са води в изветрителната зона, докато надолу в разреза под тази зона подложката от мергели става плътна и в хидрогеоложки аспект се разглежда като много слабо проницаема зона, която на практика играе ролята на един добре издържан регионален водоупор.

Алувиалните отложения имат неголямо площно разпространение. Въпреки това подземните води, натрупани в тях, са с важно практическо значение. Алувиалните отложения западно от с. Кесарево изграждат ниската тераса и представляват тясна ивица по течението на реката. В долната си част алувиите са чакълесто-песъчливи, а в горната – песъчливо-глинест. В порите на чакълесто-песъчливия пласт на дълбочина от повърхността до ~5–6 m е формирана ненапорна подземна вода.

Подземните води се подхранват основно от инфилтрация на валежи. Подхранване се осъществява и от реките при високи води и изливане на скатови води на прехода от склоновете към терасата (склонови води от по-стари скали). Дренажът става към реката.

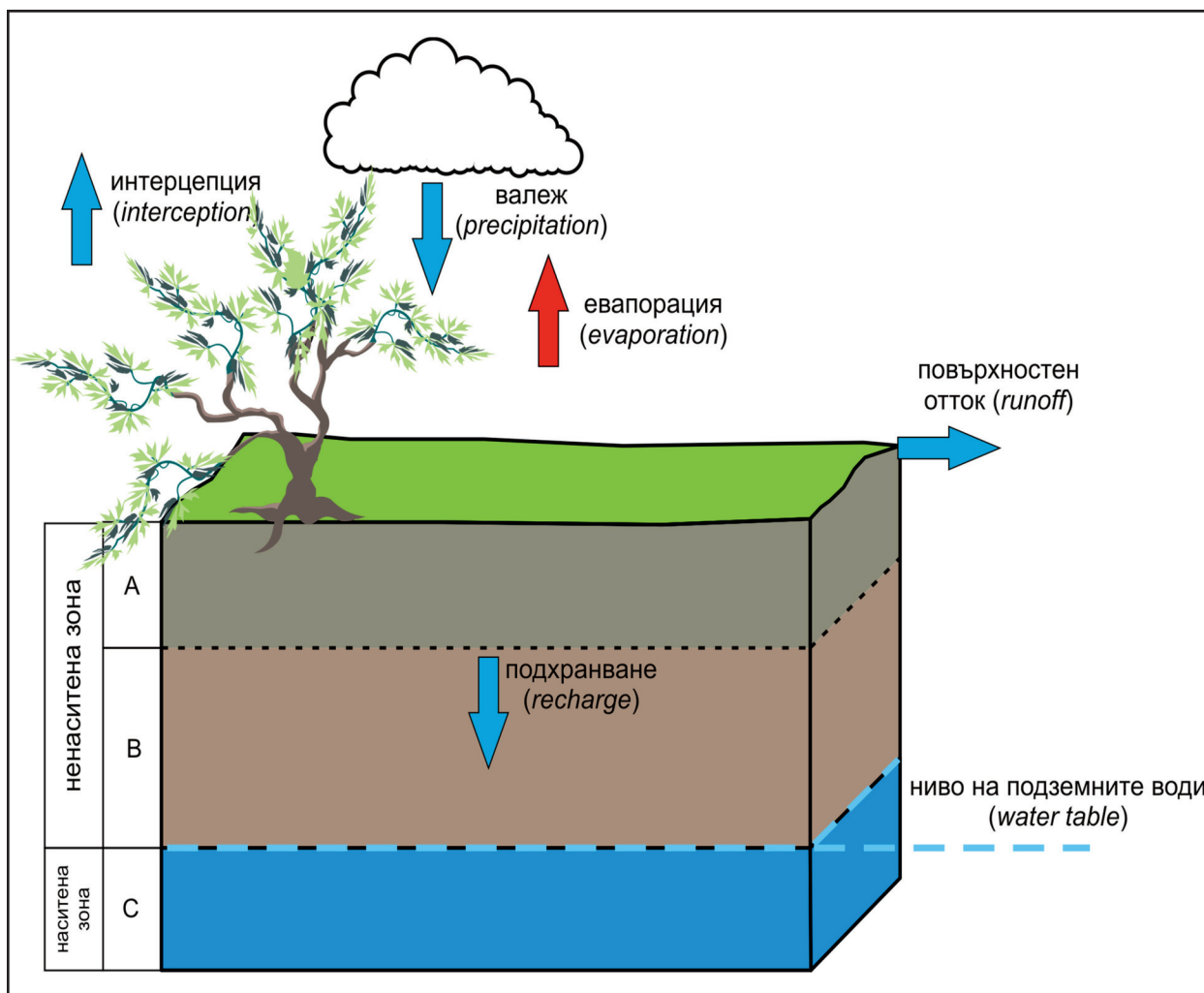
Методи и данни

Един от методите за определяне на площното (инфилтрационно) подхранване е съставяне на баланс на почвената влага. Той позволява да се раздели влагата в почвата на два вертикални потока: възходящ – за евапотранспирация и низходящ – за дрениране. Съществуват много модификации на този метод с цел определяне на подхранването на подземните води. В сравнение с компютърните програми, електронните таблици, съставени в EXCEL среда са за предпочитане, защото при тях уравненията се въвеждат директно, като може да се направи модификация на метода за да се отрази най-добре природната обстановка в разглежданата територия. При налична електронна таблица потребителят може лесно и бързо да изчислява водния баланс и да визуализира получените резултати.

Балансът се прави по месечни или дневни данни като по-достовърни са резултатите, получени от дневните стойности. По-долу се описва баланс на почвената влага, въз основа на който бе съставена електронна таблица.

Баланс на почвената влага

Концептуалният модел за баланса на почвената влага е представен на фиг. 2, където са отбелязани най-важните елементи на водния баланс и са очертани три зони: А – почвен слой (коренообитаема зона), В – ненаситена зона (зоната между почвения слой и водното ниво) и С – наситена зона. Една



Фиг. 2. Концептуален модел на баланса на почвената влага

Fig. 2. Conceptual model of the soil water balance

част от валежа оттича по земната повърхност, а другата част прониква през земната повърхност и увеличава влажността на почвата. От друга страна евапотранспирацията намалява влажността на почвата. Подхранването на подземните води е епизодичен процес, тясно свързан с периоди на висока влажност на почвата.

За целите на изследването най-напред се разглежда опростен баланс на почвената влага по Brunner (2002), представен във вида:

$$W_i = W_{i-1} + P_i - ET_i - R_i \quad (1)$$

където W , P , ET и R са съответно наличен усвоим влагозапас в почвата (mm), валеж (mm), действителната евапотранспирация (mm) и подхранване на подземните води (mm). Индексите “i” и “i-1” означават съответно текущ и предходен момент от време, като времевата стъпка е един ден.

За определяне на действителната евапотранспирация въз основа на потенциалната (PET) Brunner (2002) дава следните зависимости:

$$ET/PET = 0,188 + 2*W/W_{\max} - 1,2*(W/W_{fc})^2$$

при $W < 0,7*W_{\max}$

$$ET = PET \text{ при } W \geq 0,7*W_{\max} \quad (2ab),$$

където PET е потенциална евапотранспирация (mm), $W_{\max}$ – максимален усвоим влагозапас в почвения профил (mm).

В англоезичната литература за параметъра $W_{\max}$ се използват термини като “Total Available Water – TAW” (Popova, Pereira, 2008), “Available Water Capacity”/“Available Water Content (AWC)” или “Plant Available Water Capacity” (PAWC). Терминът TAW на български се превежда като „използваем воден запас“ (Попова и др., 2013). За

параметър $W_{\max}$ е избран терминът „усвоим воден запас“ (Пенков и др., 2003), който се определя по формулата:

$$W_{\max} = 0,1 * d * \rho_b * (ППВ - ВЗ),$$

където ППВ е пределна полска влагоемност в % от абсолютна суха почва, ВЗ – влажност на завяхване в % от абсолютна суха почва, d – дебелина на почвения слой в cm, ρ_b – обемна плътност на почвата, g/cm^3 .

Инфилтрационното подхранване на подземните води (R) също зависи от влагозапаса на почвата (Brunner, 2002):

$$R_i = 0 \text{ при } W_{i-1} + P_i - ET_i < 0,7 * W_{\max};$$

$$R_i = 0,1 * (P_i - ET_i) \text{ при } 0,7 * W_{\max} \leq W_{i-1} + P_i - ET_i < W_{\max} \text{ (3абв)}$$

$$R_i = W_{i-1} + P_i - ET_i \text{ при } W_{i-1} + P_i - ET_i > W_{\max}.$$

Както се вижда от уравнение (3), за да има подхранване, усвоимият влагозапас в почвения профил трябва да е поне 70% от максималния усвоим запас.

За да описва по-добре условията в изследвания район, представеният по-горе модел бе модифициран – допълнен с отчитане на интерцепция (I) и повърхностен отток (RO). Тези елементи на водния баланс са важни, защото са съизмерими по величина с подхранването на подземните води. За оценка на повърхностния отток се използва т.нар. метод “SCS curve number method” (SCS National Engineering Handbook, 1985), прилаган във водно-балансови модели (например Kumar, 2003).

Интерцепцията се определя като минимум между дневната стойност на валежа и прага на дневната интерцепция D (Savenije, 2004). Интерцепцията се изразходва основно чрез изпарение в рамките на няколко денонощия след валежа. Тук допълнително приемаме, че тя не може да превишава дневната стойност на PET , защото водният баланс се смята ден за ден. Това изкуствено ще намали интерцепцията през студения период от годината. В това обаче има логика, защото в този период листният индекс LAI има ниски стойности.

За определяне на повърхностния отток бе използван полуемпиричния SCS-CN модел, описан в Приложение А. Потенциалната евапотранспирация бе изчислена по метода на Thornthwaite (1948) въз основа на дневни стойности на температура на въздуха и географската ширина на района (Приложение Б). Този метод е приложим при хумидни и субхумидни условия (Xu, Singh, 2001).

Модифицираният баланс на почвената влага има следния вид, където вместо евапотранспирация (ET) се използват интерцепция (I), транспирация (T) и почвено изпарение (ES). С тези условия уравнения (1), (2) и (3) се трансформират в:

$$W_i = W_{i-1} + P_i - I_i - RO_i - T_i - ES_i - R_i, \quad (4)$$

$$ET/PET = 0,188 + 2 * W/W_{\max} - 1,2 * (W/W_{\max})^2 \\ \text{при } W < 0,7 * W_{\max};$$

$$ET = PET \text{ при } W \geq 0,7 * W_{\max} \quad (5аб)$$

$$R_i = 0 \text{ при } W_{i-1} + P_i - I_i - RO_i - T_i < 0,7 * W_{\max};$$

$$R_i = 0,1 * (P_i - I_i - RO_i - T_i) \\ \text{при } 0,7 * W_{\max} \leq W_{i-1} + P_i - ET_i < W_{\max} \quad (6абв)$$

$$R_i = W_{i-1} + P_i - I_i - RO_i - T_i \\ \text{при } W_{i-1} + P_i - I_i - RO_i - T_i > W_{\max},$$

където W е усвоим влагозапас в почвата (mm), I – интерцепция (mm), RO – директен повърхностен отток (mm), T – транспирация (mm), ES – почвено изпарение (mm).

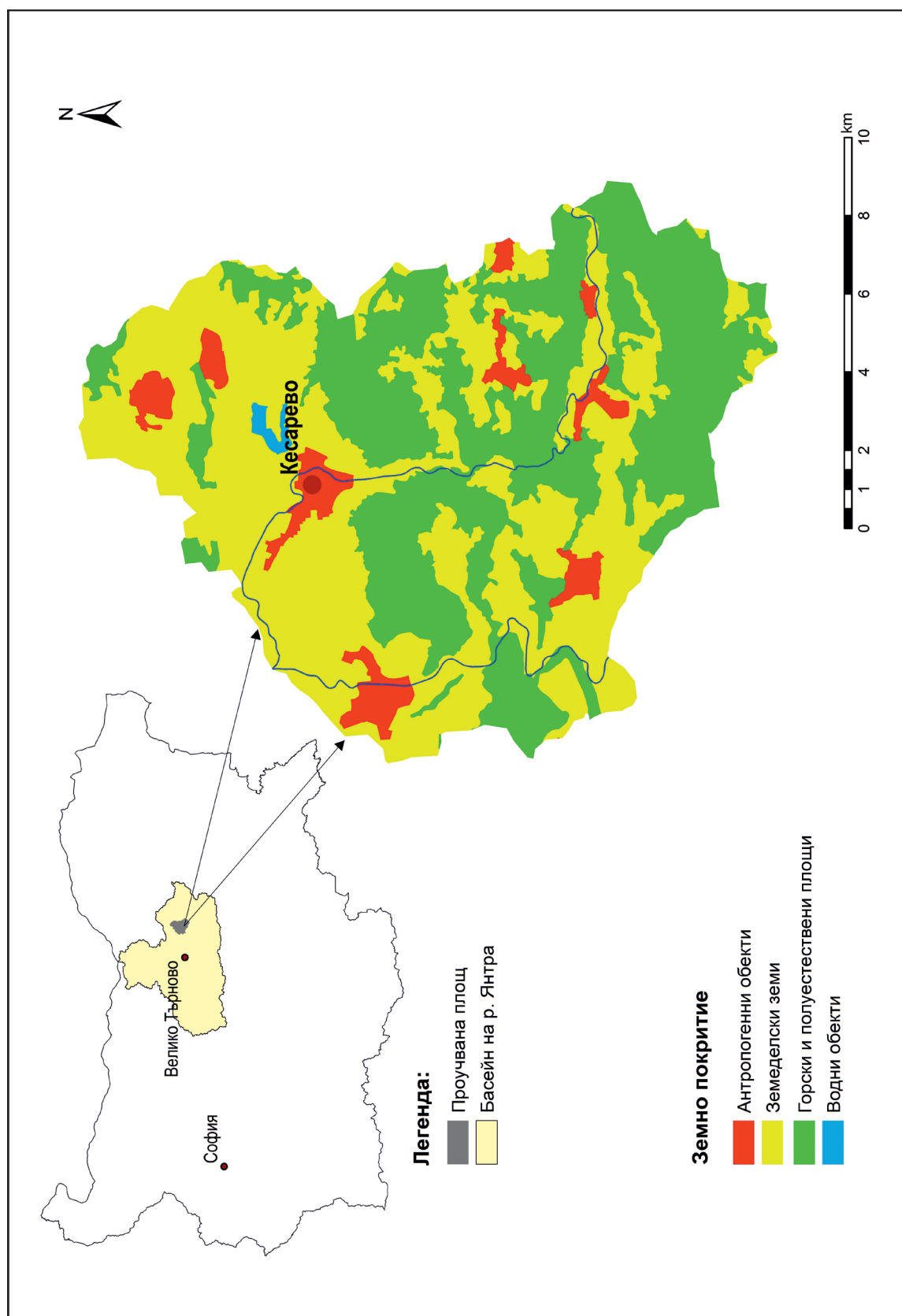
Посочените допълнения са съобразени с природната обстановка в изследвания район. Релефът на района е полухълмист, а условията на овлажнение през отделните сезони са добри, което предполага генериране на повърхностен отток. Земеделските земи са ~50%, а горите и полусестествените площи са ~43% от площта (табл. 1 и фиг. 3). Ето защо важен елемент на баланса се явява интерцепцията – задържане на част от валежа от растителността.

Информационно обезпечение на модела

За целите на изследването са използвани дневни стойности на валежи от дъждомерна станция № 7470 – с. Кесарево (община Стражица) и на температури от най-близко разположената синоптична станция № 7010 – гр. Велико Търново за период над 4 хидроложки години (от 01.10.2001 до 12.12.2005). Валежите са от базата данни по проекта JICA (*JICA Report*, 2009), а температури те – от базата данни на HadISD (Dunn et al., 2012). Въпреки че това е един относително къс период, той включва както сухи, така и влажни периоди и години.

Стойността на параметър $W_{\max}$ зависи от текстурния клас на почвите в района (предимно пясъкливи глинни). Тъй като липсват конкретни данни за този параметър в изследвания район, изчисленията на водния баланс са направени съответно със стойности за $W_{\max} = 100, 150, 200$ и 250 mm. За България типичните стойности за този параметър са в границите от 117 до 170 mm (Dunne, Willmott, 1996).

При избора на значение на кривата CN авторите са се съобразили със земеползването (табл. 1) и почвената покривка (табл. 2). Поради липса на конкретни данни и измервания, за начален усвоим влагозапас в почвата бе приета типична стой-



Фиг. 3. Карта на земно покритие в района (CORINE, 2006)

Fig. 3. Land cover in the study area CORINE, 2006)

Таблица 1
Земно покритие в района (CORINE, 2006)

Table 1
Land cover in the study area (CORINE, 2006)

Клас 1-во ниво	Код 3-то ниво	Клас 3-то ниво	Площ, km ²	%
Антропогенни обекти	112	Населени места със свободно застрояване	9,88	6,00
Земеделски земи	211	ненапоявана обработваема земя	83,11	50,50
	221	лозя		
	222	овошки и ягодови насаждения		
	231	пасища		
	242	комплекси от раздробени земеделски земи		
	243	земеделски земи със значителни участъци естествена растителност		
Гори и полуестествени площи	311	широколистни гори	70,91	43,08
	312	иглолистни гори		
	313	смесени гори		
	321	естествени ливади		
	322	растителни съобщества на храсти и треви		
	324	преходна дървесно-храстова растителност		
Водни обекти	512	водни обекти	0,69	0,42
Общо			164,59	100

Таблица 2
Почви в района на изследването (JICA Report, 2009)

Table 2
Soil cover in the study area (JICA Report, 2009)

№	Тип почви	Площ, km ²	%
1	алувиални и алувиално-ливадни	7,135	4,33
2	ерозирани сиви горски	25,71	15,62
3	излужени черноземи	2,47	1,50
4	ливадни черноземи	15,13	9,19
5	рендзини (хумусно-карбонатни)	15,68	9,53
6	светлосиви горски (псевдоподзолисти)	9,58	5,82
7	сиви горски	84,81	51,53
8	силно излужени черноземи	4,08	2,48
Общо		164,59	100

ност за началото на октомври – $W = 70 \text{ mm}$. За прага на дневната интерцепция D е приета стойност $1,5 \text{ mm}$.

Резултати

Резултати от изчисление на водния баланс, получени с използване на електронна таблица, са представени в табл. 3–6, където W_{av} е средногодишен усвоим влагозапас в почвата, и на

фиг. 4–5. За базови параметри са избрани стойности $CN=75$ и $W_{max} = 150 \text{ mm}$. Евапотранспирацията е основният елемент на водния баланс ($>70\%$), а интерцепцията, директният отток и подхранването на подземните води са сравними по величина.

Тъй като няма данни за потенциална евапотранспирация, тя бе изчислена въз основа на температурата на въздуха с прилагане на спомагателни електронни таблици, съставени по уравнения, дадени в Приложение Б.

Таблица 3
Изчислен годишен воден баланс (mm) при CN=75 и $W_{max}=150\text{ mm}$

Table 3
Calculated annual water balance (mm) for CN=75 and $W_{max}=150\text{ mm}$

Год.	P, mm	PET, mm	I, mm	RO, mm	R, mm	ET*, mm	Wav, mm
2002	843,5	756,3	93,4	38,3	138,8	656,7	110,1
2003	441,2	757,5	49,3	2,6	72,4	406,5	78,5
2004	627,0	730,4	76,6	31,7	45,3	583,4	81,0
2005	973,2	689,5	107,3	46,5	204,1	673,7	126,0
Ср.	721,2	733,4	81,6	29,8	115,2	580,0	98,9

* с включена интерцепция

Таблица 4
Изчислен годишен воден баланс (%) при CN=75 и $W_{max}=150\text{ mm}$

Table 4
Calculated annual water balance (%) for CN=75 and $W_{max}=150\text{ mm}$

Год.	RO, %	R, %	ET*, %	I, %
2002	4,5	16,5	77,9	11,1
2003	0,6	16,4	92,1	11,2
2004	5,1	7,2	93,0	12,2
2005	4,8	21,0	69,2	11,0
Ср.	4,1	16,0	80,4	11,3

* с включена интерцепция

Таблица 5
Изчислен среден воден баланс за периода 2002–2005 при CN=75

Table 5
Calculated multiannual water balance for the period 2002–2005 under CN=75

PAW	RO, mm	R, mm	ET, mm	Wav, mm
100 mm	29,8	152,5	550,7	64,3
150 mm	29,8	115,2	580,0	98,9
200 mm	29,8	77,3	605,0	130,0
250 mm	29,8	53,7	615,5	154,4

От табл. 3 и 4 се вижда, че подхранването през четирите календарни години е доста променлива величина не само като абсолютна стойност (от 45 до 204 mm), но и като процент от годишния валеж (от 7 до 21%). Очевидно е, че за оценка на средно-многогодишното подхранване трябва да има доста по-дълга редица (20–30 год.).

При увеличение на W_{max} закономерно се увеличават евапотранспирацията и средният влагозапас

Таблица 6
Изчислен среден воден баланс за периода 2002–2005 при $W_{max}=150\text{ mm}$

Table 6
Calculated multiannual water balance for the period 2002–2005 under $W_{max}=150\text{ mm}$

CN	RO, mm	R, mm	ET, mm	Wav, mm
65	9,3	128,1	587,5	100,6
75	29,8	115,2	580,0	98,9
85	88,0	81,2	555,7	91,6

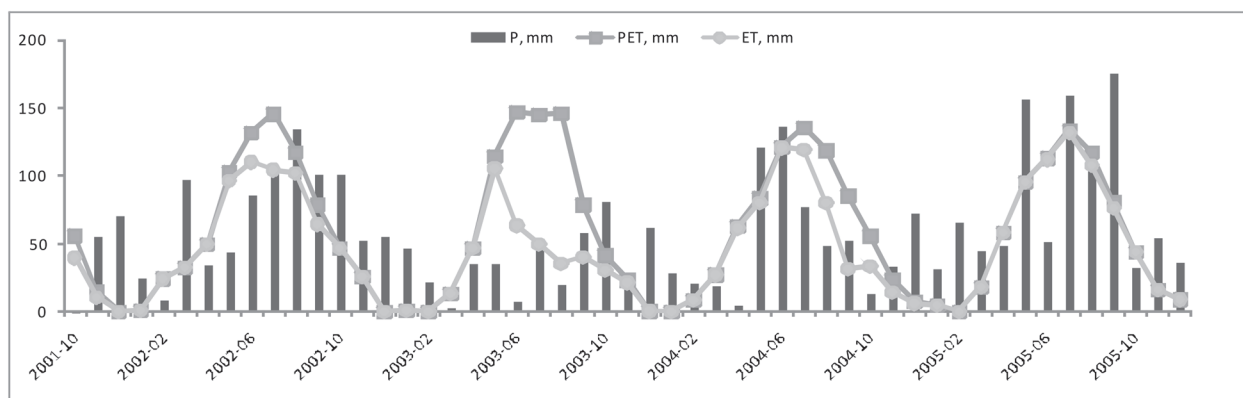
в почвата, а подхранването на подземните води намалява (табл. 5). С увеличение на CN директният отток RO рязко се увеличава за сметка на другите елементи на водния баланс (табл. 6).

От анализа на фиг. 4 и 5 следва, че вътрешно-годишното разпределение на валежите определя начина на изразходването им. Валежите, паднали през вегетационните периоди, се харчат предимно за евапотранспирация, а тези през студения период на годината – за натрупване на влага в почвата и след това за подхранване на подземните води. Повърхностният отток е свързан с интензивните валежи.

Получените резултати показват, че интерцепцията и повърхностният отток играят важна роля във водния баланс и не бива да се пренебрегват при оценка на подхранването на подземните води. Това се отнася особено за райони с горски масиви, където интерцепцията е значителна.

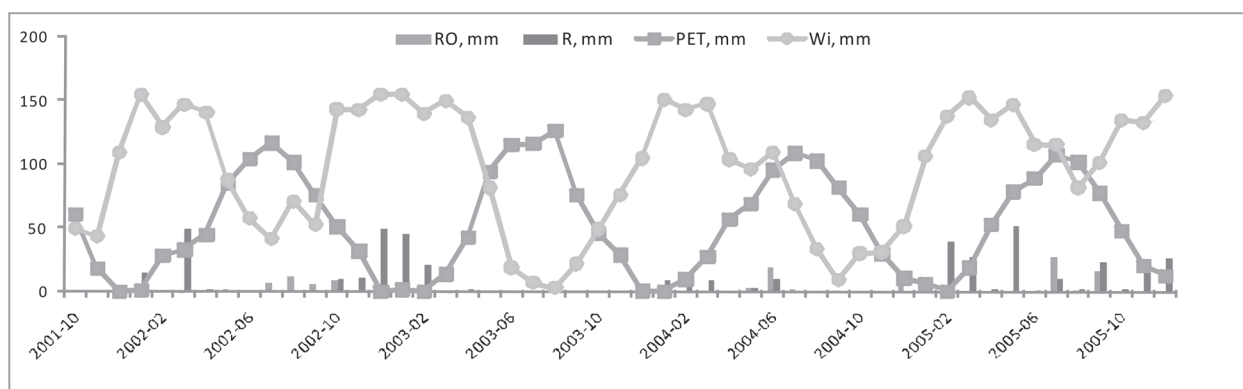
Дискусия

Използваният модифициран модел има физическа основа (воден баланс със стъпка един ден) и следователно е с широка приложимост. Основното ограничение на модела е свързано с това, че не се разглеждат процесите на снегонатрупване и снего-



Фиг. 4. Валеж P и изчислени елементи на водния баланс: PET и ET (период 10.2001–12.2005)

Fig. 4. Precipitation P and calculated elements of the water balance: PET and ET (period 10.2001–12.2005)



Фиг. 5. Изчислени елементи на водния баланс: PET, RO, R, W (период 10.2001–12.2005)

Fig. 5. Calculated elements of the water balance: PET, RO, R, W (period 10.2001–12.2005)

топене. Затова в условията на България той не е приложим за планински райони с трайна снежна покривка.

Други ограничения са свързани със заложените в модела предпоставки и уравнения. Например, дневната потенциална евапотранспирация за всички дни от месеца е еднаква (Приложение Б) – това се отнася за входните данни. Освен това, интерцепцията се разглежда по опростен начин и не зависи от сезона. Формирането на повърхностен отток се описва въз основа на криви CN. Отношението на действителната и потенциалната евапотранспирация зависи от степента на насищането на почвата с влага и се определя по уравнения, дадени от Brunner (2002).

Независимо от ограниченията на модела, използването му дава ценни резултати – дневни

стойности на водния баланс за продължителен период от време.

Представеният модел може да надцени даден елемент на водния баланс за сметка на друг. За получаване на достоверни резултати е необходимо използването на подходящи стойности на параметрите CN, W_{max} , дневен праг на интерцепцията D и началния усвоим влагозапас. Последната стойност има значение за баланса само в първите няколко месеца и не се отразява съществено на резултатите при дълги редици. По-важни са параметрите CN и W_{max} . В модела CN е константа, докато има препоръки за увеличаване значението на CN при повишена влажност на почвата. Основен параметър на модела е W_{max} , който пряко регулира разпределението на потока на влага от валежите между евапотранспирация и подхранване.

За да се оцени доколко получените резултати са реални, е необходим комплексен мониторинг. Дори данните от измерване на почвена влага биха дали база за сравнение с резултатите, получени по модела. Само при наличие на полеви данни може така да се подберат параметри (и евентуално вложените в модела зависимости), че да се получи достатъчно сходство във времевите редици на елементите на водния баланс и следователно при крайните резултати – месечния, годишния и многогодишния баланс.

Моделът изчислява подхранването на подземните води като един от елементите на водния баланс. Това означава, че става дума само за площното инфилтрационно подхранване от просмукването на валежи.

Изчисляването на водния баланс с електронни таблици е бърз и лесен способ, който изисква относително малко входни данни. Затова той не може да обхване цялото многообразие на природни и други процеси, а посочва само най-важните тенденции. Фактът, че той дава на изхода почвената влажност, не отменя нуждата от мониторинг. Напротив, полевите данни биха помогнали за калибриране на модела, с което да се подберат по-обосновани стойности за параметрите и да се оцени неговата точност.

Заклучение

За целите на изследването бе разработена електронна таблица за изчисляване на подхранването на подземните води в EXCEL среда. Тя е основана на баланса на почвената влага, като традиционният подход бе допълнен с нови възможности. Допълването на интерцепция и повърхностен отток се обуславя от важната им роля във водния баланс.

Входните данни са минимални: дневни валежи и температура на въздуха и няколко параметъра, управляващи разпределението на влагата между различни компоненти на околната среда. Най-важен параметър на модела е $W_{\max}$. Таблицата изчислява подхранването на подземните води и други елементи на водния баланс със стъпка от един ден.

В заключение ще подчертаем, че моделът може да се използва за оценка само на площното инфилтрационно подхранване от просмукването на валежи през ненаситената зона. Той не отчита допълнителното подхранване от повърхностни води. Разработената електронна таблица се препоръчва при първоначално определяне на подхранването на подземните води.

Приложение А

Метод за оценка на повърхностен отток

За определяне на повърхностния отток бе използван полуемпиричния SCS-CN модел на Soil Conservation Service (*SCS National Engineering Handbook*, 1985). Моделът дава връзката между валежите и повърхностния отток, която се записва с уравнението:

$$RO = \frac{(P - 0,2 \cdot S)^2}{P + 0,8 \cdot S} \text{ ако } P > 0,2 \cdot S, \\ RO = 0 \text{ ако } P \leq 0,2 \cdot S, \quad (A1),$$

където P са количеството дневни валежи в инчове (inch); RO е количеството повърхностен отток в инчове; S е статистически получен параметър, наричан задържащ параметър (retention parameter) преди да се случи оттичане, изразен в инчове.

Параметърът S е свързан с числата на кривата (CN) чрез следното уравнение:

$$S = \frac{1000}{CN} - 10, \quad (A2),$$

където CN е безразмерен параметър на водосбора, който варира нелинейно в зависимост от условията на овлажняване на почвата и се изменя в границите от 0 до 100. За съвършено непропусклив водосбор с нулево задържане на влага в почвата, където всички валежи отиват за повърхностен отток, $CN = 100$. Когато $CN = 0$ имаме другата крайност, т.е. липсва повърхностен отток независимо от количеството на валежите (обикновено CN е между 30 и 100). Основните фактори, които определят променливата CN са хидроложкият тип почва, земното покритие, земеползване и предшестващо овлажнение на почвата.

Приложение Б

Оценка на потенциална евапотранспирация по Thornthwaite

Изчисляване на потенциална евапотранспирация (PET) бе направено по метода на Thornthwaite (1948), който е приложим за хумидни и субхумидни условия (Xu, Singh, 2001):

$$PET' = 16 \cdot \left(\frac{10 \cdot T_n}{I} \right)^a \quad (B1),$$

където PET' – некоригирана (*unadjusted*) потенциална евапотранспирация, T_n е средномесечна температура на месеца "n" (от 1 до 12), I – индекс на топлина за конкретната станция, изчислен по уравнение:

$$I = \sum_{n=1}^{12} (0,2 \cdot T_n)^{1,514} \quad (B2).$$

Показателят на степен в уравнение (B1) зависи от индекса I, съгласно уравнение:

$$a = 6,751^{-7} \cdot I^3 - 7,711^{-5} \cdot I^2 + 1,79121^{-2} \cdot I + 0,49239 \quad (B3).$$

Коригираната (*adjusted*) потенциална евапотранспирация се определя с отчитане на продължителност на деня (d) и броя на дни в месеца (N) (Xu, Singh, 2001):

$$ET = ET' \cdot \left(\frac{d}{12} \right) \cdot \left(\frac{N}{30} \right) \quad (B4).$$

Литература

- Велев, С. 2002а. Климатично райониране. – В: Копралев, И. (Ред.). *География на България. Физическа и социално-икономическа география*. С., ФорКом, 155–156.
- Велев, С. 2002б. Съвременни колебания на температурата на въздуха и валежите. – В: Копралев, И. (Ред.). *География на България. Физическа и социално-икономическа география*. С., ФорКом, 157–160.
- Велчев, В. 2002. Типове растителност. – В: Копралев, И. (Ред.). *География на България. Физическа и социално-икономическа география*. С., ФорКом, 324–336.
- Нинов, Н. 2002. Почвено-географско райониране. – В: Копралев, И. (Ред.). *География на България. Физическа и социално-икономическа география*. С., ФорКом, 300–312.
- Пенков, М., А. Даскалова, М. Мондешка. 2003. *Ръководство по почвознание*. С., Полиграфическа база при УАСГ, 203 с.
- Попова, З., М. Иванова, Д. Мартинс, Л. С. Перейра, М. Керчева, В. Александров, К. Донева. 2013. Климатични промени, селскостопанско засушаване и необходимост от напояване в България. – *Сп. Водно дело*, 1–2, 14–22.
- Раев, И., Б. Роснев. 2003. Въздействие на засушаването върху изкуствените горски екосистеми. – В: Раев, И., С. G. Knight, М. Станева (Ред.). *Засушаването в България: съвременен аналог за климатични промени. Природни, икономически и социални измерения на засушаването 1982–1994 г.* С., БАН, 121–130.
- Тенчов, Я. (Ред.). 1993. *Речник на българските официални литостратиграфски единици (1882–1992)*. С., БАН, 397 с.
- Хрисчев, Х., Л. Недялкова, Г. Чешитев. 1990. *Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картен лист Велико*
- Търново. С., Комитет по Геология, Предприятие за геофизични проучвания и геоложко картиране.
- Хрисчев, Х., Л. Недялкова, Г. Чешитев. 1993. *Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картен лист Велико Търново*. С., Геология и Геофизика АД, 64 с.
- Чешитев, Г., Л. Филипов, Х. Хрисчев. 1995. *Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картен лист Омуртаг*. С., Геология и Геофизика АД.
- Чешитев, Г., Л. Филипов. 1995. *Обяснителна записка към Геоложка карта на България в М 1:100 000. Картен лист Омуртаг*. С., Геология и Геофизика АД, 50 с.
- Bredehoeft, J. 2007. It is the discharge. – *Ground Water*, 45, 5, 523–523.
- Brunner, P. 2002. Use of spreadsheets for soil water balance method. – In: Kinzelbach, W., W. Aeschbach, C. Alberich, I. B. Goni, U. Beyerle, P. Brunner, W.-H. Chiang, J. Rueedi, K. A. Zoellmann. *Survey of Methods for Groundwater Recharge in Arid and Semi-arid Regions. Early Warning and Assessment Report Series, UNEP/DEWA/RS.02-2*. United Nations Environment Programme, Nairobi, Kenya, 20–21.
- CORINE 2006. *CORINE Land Cover 2000 (CLC2000)*. European Environment Agency. <http://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/corine-land-cover-2006-raster>
- De Groen, M. M., H. H. Savenije. 2006. A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. – *Water Resources Research*, 42, 12, p. 10.
- Dunn, R. J. H. et al. 2012. HadISD: A quality controlled global synoptic report database for selected variables at long-term stations from 1973–2011. – *Climate of the Past*. <http://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadis/>

- Dunne, K. A., C. J. Willmott. 1996. Global distribution of plant-extractable water capacity of soil. – *Intern. J. of Climatol.*, 16, 8, 841–859. http://webmap.ornl.gov/wcsdown/wcsdown.jsp?dg_id=545_1
- Fenicia, F., H. H. Savenije, P. Matgen, L. Pfister. 2008. Understanding catchment behavior through stepwise model concept improvement. – *Water Resources Research*, 44, 1, p. 13
- Healy, R. W. 2010. *Estimating Groundwater Recharge*. Cambridge, Cambridge University Press, 245 p.
- JICA Report. 2009. The study on integrated water management in the Republic of Bulgaria. www.wabd.bg/bg/index.php?option=com_content&task=view&id=437&Itemid=56. Accessed on April 22, 2013.
- Kumar, C. P. 2003. Estimation of ground water recharge using soil moisture balance approach. – *J. of Soil and Water Conservation*, 2, 1–2, 53–58.
- Lerner, D. N., A. S. Issar, I. Simmers. 1990. *Groundwater Recharge: A Guide to Understanding and Estimating Natural Recharge*. Hannover, Germany: Heise, 345 p.
- Mishra, A. K., V. P. Singh. 2010. A review of drought concepts. – *J. of Hydrology*, 391, 1, 202–216.
- Popova, Z., L. S. Pereira. 2008. Irrigation scheduling for furrow-irrigated maize under climate uncertainties in the Thrace plain, Bulgaria. – *Biosystems Engineering*, 99, 4, 587–597.
- Savenije, H. H. G. 2004. The importance of interception and why we should delete the term evapotranspiration from our vocabulary. – *Hydrol. Processes*, 18, 1507–1511.
- Scanlon, B. R., R. W. Healy, P. G. Cook. 2002. Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge. – *Hydrogeology J.*, 10, 3–4, 18–39.
- SCS National Engineering Handbook. 1985. Section 4: Hydrology Soil Conservation Service, USDA, Washington, D.C.
- Thornthwaite, C. W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. – *Geographical Rev.*, 38, 1, 55–94.
- Xu, C. Y., V. P. Singh. 2001. Evaluation and generalization of temperature-based methods for calculating evaporation. – *Hydrol. Processes*, 15, 2, 305–319.
- Zhang, G. P., H. H. G. Savenije. 2005. Rainfall-runoff modelling in a catchment with a complex groundwater flow system: Application of the representative elementary watershed (REW) approach. – *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 9, 243–259.

(Постъпила на 27.02.2014 г., приета за печат на 20.03.2014 г.)

Отговорен редактор Пламен Иванов