

СИМУЛИРАНЕ НА РЕЧНИЯ ОТТОК НА Р. ВРАНА С ПОМОЩТА НА КЛИМАТИЧНИ И ЛАНДШАФТНИ ЕЛЕМЕНТИ

Иванка Колева-Лизама¹, Бернардо Лизама Ривас²

¹Лесотехнически университет – София,

²Национален институт по метеорология и хидрология – БАН

УДК 502.6

Постъпила на 11.11.2009

Формирането на водните ресурси е процес от многофакторни взаимовръзки в системата атмосфера–земна повърхност, поради което при моделирането им са необходими голямо количество разнородни данни, описващи физикогеографските особености на изследваните речни басейни. Целта на тази разработка е на базата на климатични и ландшафтни елементи с помощта на модела AGWA–SWAT да се симулира речният отток на р. Врана, която е разположена в североизточната част на България. Моделът симулира стойностите на водните количества на базата на емпирични уравнения и данни за атмосферните и почвените характеристики, като се отчита релефът и видът на постилащата покривка. За количествената оценка на нивото на калибриране са използвани коефициентите на ефективност на Неш и на детерминация. Точността на модела е оценена по процентното отношение на отклоненията между фактически и разчетни стойности на оттока. Получените резултати от симулиране на речния отток на р. Врана са задоволителни.

Ключови думи: симулиране на речния отток, хидроложко моделиране, SWAT, анализ на речните басейни.

Key words: streamflow simulation, hydrological modelling, SWAT, watershed analysis.

Увод

Формирането на водните ресурси е сложен процес, който е резултат от многофакторни взаимовръзки в системата атмосфера–земна повърхност. Изследването и управлението им е комплексна, взаимно свързана процедура, обхващаща обекти в различни пространствени мащаби и области на дейност. При моделиране на водните ресурси във даден водосбор са необходими голямо количество разнородни данни, описващи физикогеографски-

те особености на изследваните речни басейни, отчитащи дренажната им мрежа и водораздела, дължините и склоновете на дадени участъци на реката, техните площи, а също така информация за растителната покривка и типовете почви в района на водосбора. Набирането и интегрирането на тази разнородна информация може да се осъществи с помощта на ГИС технологиите. Географските информационни системи позволяват както интегриране на разнообразни данни, така също и автоматично извличане на ин-

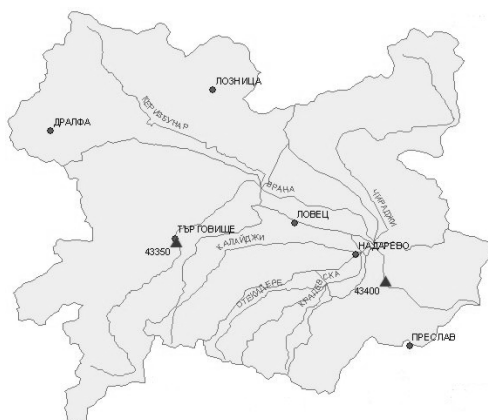
формация, необходима за определяне на някои параметри на хидроложките модели, чрез специално разработени алгоритми. Тези алгоритми позволяват получаване на хидроложката информация от цифровите модели на терена (ЦМТ) и свързването ѝ с хидроложките модели, в резултат на което моделните резултати графично да се представят в същата среда на ГИС. Целта на тази разработка е на базата на климатични и ландшафтни елементи с помощта на модела AGWA–SWAT да се симулира речният отток на р. Врана, която е разположена в североизточната част на България.

Обект на изследване

Обектът на настоящето изследване е поречието на р. Врана, която е ляв приток на р. Камчия. Извират от Лиса планина в Източния Предбалкан, пресича Търговищкия проход на Преславската падина и от гр. Търговище навлиза в широка долина (фиг. 1). Бреговете на реката са сравнително ниски и причиняват чести наводнения. До с. Кочово речното корито достига от 15 до 50 m. Дъното е предимно глинесто и стабилно. В тектонско отношение реката принадлежи към южния склон на Северобългарското издигане и Преславската антиклина. В хидрогеоложкия план на страната поречието се включва във Варненския артезиански басейн, като обхваща неговите югозападни райони (Провадийския). Във водосборната област на реката преобладават

карбонатно-черноземни, излужено-кanelени и тъмносиви горски почви, които са много плодородни. При нормални години зимните валежи и топенето на снеговете осигуряват на почвения профил водни запаси, достигащи почти до пределната полска влагоемност, което гарантира използването на земите за земеделие без необходимост от напояване. От постилащата повърхност преобладават обработваемите площи без напоителни системи (52 %), следвани от широколистни гори (14 %), селскостопански площи със значително участие на естествена растителност (10 %), а останалите площи са заети от слабо развиващи се урбанизирани структури, пасища, храстови формирания от прехода към гората, лозя, смесени гори, водни площи, индустриални и търговски единици.

Водосборната област на поречието на р. Врана попада в Средния климатичен район на Дунавската равнина, който има силно изразен континентален



Фиг. 1. Местоположение на изследвания район
Fig. 1. Location of research area

характер. Различията в надморската височина, формата и изложението на терените влияят върху стойностите на климатичните елементи. Най-големи са различията в инсолационните условия на северните и южните склонове, които са изразени по-значимо през топлата част на годината. Топлинните условия в водосборната област имат добре изразена сезонност, която се засилва и от характера на атмосферната циркулация. През студената част на годината времето се обуславя от влиянието на континенталните въздушни маси на умерените ширини, които постъпват предимно в тила на преминаващите на изток и североизток средиземноморски циклони. Откритостта към североизток позволява нахлуването на трансформиран арктически въздух, в резултат на което се наблюдава силно застудяване. Тези циркулационни условия, както и отрицателният радиационен баланс определят общия облик на зимата. В изследвания район единствената климатична станция се намира в Търговище и поради това оценката на температурните условия са проведени по наблюдаваните в нея температури. Най-студеният месец е януари със средни температури от $-1,1^{\circ}\text{C}$. Средните месечни минимални температури са отрицателни от декември до март, стойностите на абсолютните минимума на температурата на въздуха достигат до $-21,0^{\circ}\text{C}$. Пролетта в района е сравнително хладна. Датата на устойчиво задържане на температурата на въздуха над 5°C настъпва в края на втората десетдневка на март, а над 10°C – в началото на втората десетдневка на април. Ля-

тото е горещо поради преобладаване на субтропични въздушни маси от юг или поради стационарирането на слабо подвижни антициклони. По-интензивни захлаждания се наблюдават при нахлуване на атлантически въздушни маси от по-северните ширини. Антициклоналната циркулация и особено югозападните антициклони причиняват продължителни засушавания през летните месеци и в началото на есента. Юлските температури в района са $21,7^{\circ}\text{C}$. По време на големите летни жеги, които са свързани с местното прегряване на въздуха и при антициклонална обстановка, максималните температури в района достигат $28,7^{\circ}\text{C}$, като абсолютните температурни максимуми са близки до $35,0^{\circ}\text{C}$. Летните понижения на температурите се причиняват изключително от нахлуването на по-студен атлантически въздух. При такива процеси времето може да се задържи облачно 2–3 дни с чести превалявания и понижение на температурите до $14,0\text{--}15,0^{\circ}\text{C}$. През есента общото понижение на температурите на въздуха се обуславят, от една страна, от намаляването на радиационния баланс и, от друга страна – от постепенното преустройство на атмосферната циркулация, като зачестяват нахлуванията от север и североизток. През октомври температурите на въздуха достигат до $12,0^{\circ}\text{C}$. В района на поречието на р. Врана се утвърждава пролетно-летен максимум на валежите. Есенните валежи са значително по-малки от летните. В това отношение важно значение има изложението на терените. Върху годишното разпределение на валежите се характеризира с максимум

през юни и минимум през септември, а стойностите на годишната сума на валежите във водосбора е от 596 до 646 mm.

Оттокът на реката се формира от дъждовни, снежни и подземни води, които участват в различни съотношения по време и територия. Тези източници на подхранване се намират в зависимост от физикогеографските условия на водосбора, но решаваща роля върху оттока имат дъждовните води. Вътрешногодишното разпределение на оттока в разглежданото поречие се определя от преобладаващите климатични особености на района: относително студена зима с нетрайна снежна покривка, пролетно-летен максимум на валежите и засушлив есенно-зимен период. Това определя началото на пълноводията от февруари до края на юни. Маловодията заема останалата част от годината и е най-силно изразено през август–ноември, когато се отбелязват и минималните водни количества.

Материал и методи

Описването и симулирането на хидроложките процеси в избраното поречие е проведено на базата на математичния модел с разпределени параметри SWAT (Arnold and Fohrer 2005, Jayakrishnan et al. 2005, Bosch et al. 2004). Моделът комбинира емпирични и физически обосновани зависимости на елементите на кръговрата на водата въз основа на денонощни стойности. В основата му е залегнало уравнението на водния баланс на почвата:

$$(1) \quad SW_t = SW_o + \sum_{i=1}^t (R - Q_s - ET - w - Q_g)$$

където:

SW_t е съдържанието на почвената влага (mm) във време t (дни);

SW_o – началното съдържание на почвената влага в i -денонощие, mm;

R – денонощният валеж, mm;

Q_s – склонов отток, mm;

ET – евапотранспирацията, mm;

w – оттокът на гравитационна вода извън коренообитаемия слой почва (перколация), mm;

Q_g – приходът на вода от подпочвени води, mm.

Тъй като моделът поддържа непрекъснат воден баланс, сложните речни басейни се разделят така, че да отразяват разликите в евапотранспирацията (ET) за различните селскостопански култури и почви. По този начин оттокът се предсказва отделно за всяка подзона и се събира, за да се получи общият отток за целия речен басейн. Това увеличава точността и дава по-добро физическо описание на водния баланс. В основата на механизма за симулиране на речния отток в SWAT е залегнал модифицираният метод за числата на кривата SCS curve number method (Zhan and Huang 2004):

$$(2) \quad a = \frac{(R - 0,2S)^2}{R + 0,8S}, \quad R > 0,2S$$

$$(3) \quad Q = 0, \quad R \leq 0,2S$$

където:

Q е денонощният повърхностен отток, mm;

R – денонощният валеж, mm;

S – параметър на ретенция преди оттичане, mm.

Параметърът за ретенция S варира в зависимост от различните почви,

земеползване, склонове, а също така и във времето поради промените във водното съдържание на почвата. Параметърът S е свързан с числата на кривата (CN) чрез уравнението на SCS (Soil Conservation Service) (USDA–SCS, 1986):

$$(4) \quad S = 254 \left(\frac{100}{CN} - 1 \right)$$

За получаване на S в mm се използва константа 254. Променливата CN варира нелинейно от 1 – сухи условия (при влажност на завяхване) до 100 – влажни условия (при пълна полска влагоемкост). Методът на числата на кривата (CN) е широко използван, тъй като стойности му улесняват преминаването на ГИС данните за почви и поставяща повърхност към моделите валеж-отток. Съществува до голяма степен пространствена изменчивост в топографските, почвените и поставящите характеристики в басейна, поради което в AGWA се извършва площно осредняване, за да се определи средната стойност на всеки параметър в моделния елемент на склоновия отток (Goodrich et al. 2002). Програмният пакет AGWA предоставя възможност за бързи оценки, базирани на обширен литературен обзор и подходи за калибриране на модела. При липсва на наблюдавани данни и калибровъчни експерименти, тези стойности могат да се използват като сравнителни и относителни оценки. При работата с модела SWAT за целите на хидроложкото моделиране речният басейн се дели на подбасейни или подводосбори. При симулирането на процеса използването на подбасейни е целесъобразно, кога-

то в отделните райони на басейна преобладават различни почви и форми на земеползване. Разделянето на подбасейни позволява пространствено да се свържат отделните райони на басейна с други. Избраният брой на подбасейни зависи от размера на басейна, от пространствените подробности в наличните входни данни и от целите на изследването. С AGWA се възпроизвеждат входни файлове с точков или площен валеж за SWAT. Опцията за създаване на файловете с площен валеж използва метода на тегловните многоъгълници по Тисен за всеки подбасейн и за всеки ден от симулирания период. Потенциалната евапотранспирация се изчислява по метода на Пенман–Монтейн. За интегрирането на ГИС технологиите към модела SWAT са използвани цифров модел на терена, поставящата повърхност (CORINE), почвени типове (FAO), цифрова дренажна мрежа, наклон и изложение на терена.

Използваният информационен масив включва метеорологични, хидрологични и почвени данни, а така също и данни, описващи вида на поставящата повърхност и релефа в изследваното поречие на р. Врана. В района на изследваното поречие има една климатична станция в гр. Търговище и четири дъждомерни постове в Дралфа, Лозница, Надарево и Преслав. Основните данни за времето включват денонощните стойности на валежите, минималната и максималната температура на въздуха и средномногогодишните стойности за средната скорост на вятъра, сумарната слънчева радиация, продължителността на слънчевото греене, влажността на въздуха и точката

на оросяване за периода 1980–2003 г. Данните са систематизирани и обработени с методите на математическата статистика. Въз основа на данните за точковия валеж с помощта на метода на Тисен е определен площният валеж в разглежданото поречие. Изчислени са вероятностите за настъпване на валежни след сухи дни, а така също и на валежни след валежни дни в отделните месеци. Определен е средният брой дни с валеж за месец. Данните за релефа на водосбора са получени чрез дигитализация на топографска карта с мащаб 1:25 000 и имат разделителна способност 30 по 30 m на цифровия модел на терена. Геометричните характеристики на речната мрежа са параметризирани според Милер (1996). Данните за почвите са взети от световната база данни по класификацията на ФАО. Във водосборната област на реката преобладават карбонатно-черноземни (Calcic chernozem), излужено-канелени (Chromic luvisol), тъмносиви горски (Luvic phaeozem) и лесивирани (Orthic luvisol) почви. Почвените параметри за водосборните елементи (процент на скалите, смукателен напор, порьозност, хидравлична наситеност на проводимостта) са предварително оценени по почвената текстура, съгласно STATSGO (State Soil Geographic) по Woolhiser et al. (1990) и Rawls et al. (1982). Хидравличната наситеност на водопроводимостта е сведена според Bouwer (1966). **Информацията за постилащата повърхност** е получена от базата данни „КОРИНЕ Земно покритие 2000 – България“, предоставена от МОСВ. При създаването на тази база данни са използвани изображения

от спътника Landsat и различни спомагателни данни. Използваната класификация на КОРИНЕ Земно покритие (КЗП) е леко модифицирана, тъй като базата данни в нея е със свободен достъп. Параметрите за постилащата повърхност включват интерцепция, растителна покривка, грапавост по Манинг и процент от покрита повърхност, които се оценяват по публикувани таблици (Woolhiser et al. 1990). **В района** на поречието на р. Врана съществуват две опорни хидрометрични станции, които регистрират речния отток в течение на повече от 40 години. Тези данни са използвани за верификацията на моделните резултати.

Резултати

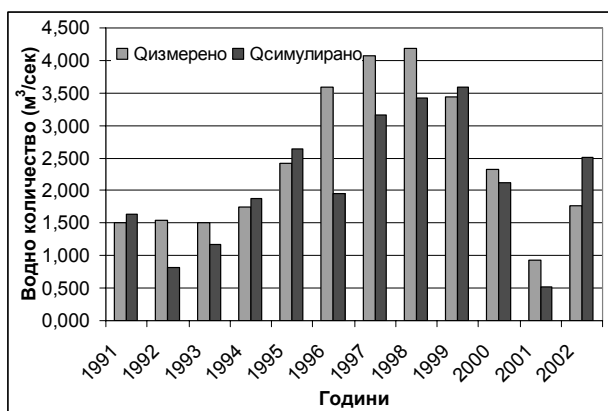
Моделът SWAT симулира стойностите на водните количества в дадената водосборна област на базата на описващите хидроложките процеси емпирични уравнения, с помощта на информация за атмосферните и почвени характеристики, като се отчита релефа и вида на постилащата покривка. При извършване на оценката на речния басейн на р. Врана с помощта на програмата AGWA са извършени следните процедури: очертаване на водосбора; подразделяне на водосбора; параметризацията на постилащата повърхност и почвите; подготовка на входните файлове с параметрите и стойностите на площните валежи; изпълнение на модела, визуализация и съпоставяне на резултатите. За подразделянето на речния басейн на подбасейни главното поречие се разделя на по-малки басей-

ни, избирайки точки в речната мрежа, които да действат като створове. По този начин моделът възпроизвежда водни количества в определените точки. Раздробяването на басейна води до определяне на райони с еднакви характеристики по отношение на типовете почви и постилаща повърхност. Въз основа на наличната информация басейнът на р. Врана се разделя на 22 подбасейни (Lizama Rivas and Koleva-Lizama 2009). На базата на получените данни за пространственото разпределение на надморската височина, почвите и постилащата повърхност и раздробяването на басейна, с помощта на AGWA са определени стойностите на редица параметри на модела за всеки подбасейн (площ, интерцепция, коефициент на грапавост, хидравлична проводимост, порьозност, механичен състав на почвата в проценти, наклон и дължина на коритото и др.). От съществено значение за работата на модела е наличието на информация за площния валеж в района. Поради това с помощта на метода на Тисен и данните от дъждомерните постове бе изчислен площният валеж.

Създадените тематични слоеве за подбасейните, почвите и постилащата повърхност се наслагват, за да се проведе пространствен анализ и установяване на стойностите на параметрите на модела, на базата на които се симулира речният отток във водосбора. За работата на модела не са необходими данни за водните

количества, но техните стойности се използват при верификацията на моделните резултати. Във връзка с това бе изследвана изменчивостта на симулирания в басейна на р. Врана речен отток и сравнен с фактически наблюдения в ХМС с. Кочово (фиг. 2).

Както може да се види от посочената фигура в по-голямата част от случаите моделните изчисления понижават стойностите на речния отток, с изключение на годините, в които валежите са значително над нормите. Особено силно тази тенденция е изразена в години 1992, 1996 със засушливи периоди и високи стойности на потенциалната евапотранспирация. За количествената оценка на нивото на калибриране и точността на модела са използвани коефициентът на ефективност на Неш, чиято стойност за разглеждания период е 0,48 и на коефициентът на детерминация (0,62). Освен с тези коефициенти, точността на модела е оценена и по процентното отношение на отклоненията между фактически и



Фиг. 2. Симулирани и наблюдавани стойности на речния отток
Fig. 2. Simulated and observed values of river flow

разчетни стойности на оттока, което за разглеждания период е в рамките на 11 %. Следователно може да се подчертае, че моделът описва хидрологичните процеси във водосборната област на р. Врана напълно задоволително, но за получаване на по-добра прецизност е необходимо да продължи работата по идентификацията на параметрите и калибрирането на модела.

Изводи

Получените резултати от симулиране на речния отток на р. Врана на този етап от изследването могат да се смятат за задоволителни. По-нататъшната работа по калибриране и верификация на модела ще доведе до получаване на по-точни резултати и ще позволи прилагането му при оценка на водните ресурси.

Литература

1. Arnold, J. G., N. Fohrer. 2005. SWAT2000: current Capabilities and research opportunities in applied watershed modeling. – *Hydrol. Processes*, 19 (3), 563–572.
2. Bosch, D. D., J. M. Sheridan, H. L. Batten, J. G. Arnold. 2004. Evaluation of the SWAT model on a coastal plain agricultural watershed. – *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 47(5), 1493–1506.
3. Bouwer, H. 1966. Rapid field measurement of air entry and hydraulic conductivity as significant parameters in flow systems analysis. – *Water Resour. Res.*, 2, 279–238.
4. FAO/UNESCO. 2003. Digital Soil Map of the World and Derived Soil Properties, CD-ROM, Version 3.6. Information Division, FAO, Viale delle Terme di Caracalla, 00100 Rome, Italy.
5. Goodrich, D. C., C. L. Unkrich, R. E. Smith, D. A. Woolshiser. 2002. KINEROS2– A distributed kinematic runoff and erosion model. – In: *Proceedings of the Second Federal Interagency Conference on Hydrologic Modeling, July 29 August 1, Las Vegas, NV*. CD-ROM, 12 p.
6. Jayakrishnan, R., R. Srinivasan, C. Santhi, J. G. Arnold. 2005. Advances in the application of the SWAT model for water resources management. – *Hydrological Processes*, 19 (3), 749–762.
7. Lizama Rivas, B., I. Koleva-Lizama. 2009. The use of GIS technology in watershed management. – In: *Proceedings of the XXIV-th Conference of the Danubian countries on the Hydrological forecasting and hydrological bases of water management*, 132–138, Bled, Slovenia.
8. Miller, S. N., D. P. Guertin, D.C. Goodrich. 1996. Linking GIS and geomorphology field research at Walnut Gulch. – In: *Proceedings of the AWRA's 32nd Annual Conference and Symposium: „GIS and Water Resources“*, Sept. 22–26, 1996, Ft. Lauderdale, FL.
9. Rawls, W. J., D. L. Brakensiek, K. E. Saxton. 1982. Estimation of soil water properties. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 25 (5), 1316–1320.
10. USDA–SCS. 1986. Urban Hydrology for Small Watersheds. Technical Release 55. USDA–SCS, Washington, DC.
11. Woolhiser, D.A., R.E. Smith, D. C. Goodrich. 1990. KINEROS: a Kinematic Runoff and Erosion Model Documentation and User Manual. USDA-Agricultural Research Service Pub., ARS-77, 130 p.
12. Zhan, X., M.-L. Huang. 2004. ArcCN-runoff: an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps. – *Environmental Modelling and Software*, 19(10), 875–879.

STREAMFLOW SIMULATION IN THE VRANA RIVER USING CLIMATE AND LANDSCAPE ELEMENTS

Ivanka Koleva-Lizama¹, Bernardo Lizama Rivas²

¹University of Forestry – Sofia,

²National Institute of Meteorology and Hydrology – BAS

UDK 502.6

Received 11.11.2009

Summary

The watershed analysis requires the integration of knowledge, data and simulation models to solve practical hydrological problems. The main objective of this study is to simulate the streamflow of the Vrana River, using the SWAT model. A GIS-based hydrologic modeling toolkit called the Automated Geospatial Watershed Assessment (AGWA) tool has been used. The calibration was achieved by estimating the model parameters and evaluating convergence between simulated and observed discharges by using mainly the Nash & Sutcliffe coefficient. The obtained results of runoff simulation can be accepted as satisfactory.