



БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ
НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ
ФИЛИАЛ ПЛЕВЕН

Ул. "Х.Димитър" № 60
5800 Плевен, България
E-mail: office.pleven@meteo.bg

Тел.: +359 (64) 807067
Тел./Факс: +359 (64) 827057
<http://pleven.meteo.bg>

инж. Николай Борисов Недков

Хидроложки прогнози и прогностични модели

Автореферат

на дисертация

за присъждане на образователна и научна степен „Доктор“
по научна специалност „Архитектура, строителство и геодезия“
(Инженерна хидрология, хидравлика и водно стопанство)

Плевен 2017 год

Дисертационния труд е с обем 158 страници, съдържа 40 таблици и 70 фигури и се състои от 5 глави. Използваната литература включва 65 заглавия. Номерата на главите, в автореферата съответстват на номерацията в дисертационния труд.

Дисертационния труд е обсъден и насочен за защита на разширен научен семинар по „Хидрология”, проведен на 1.12.2017 г. съгласно Заповед № РД – 09 -228/22.11.2017 г. на Директора на НИМХ-БАН

Състав на научното жури:

доц. д-р Снежанка Балабанова

доц. д-р Ерам Артинян

проф. д-р Николай Лисев – УАСГ

проф. д-р Богдан Казаков – УАСГ

доц. д-р Мартина Печинова – Атанасова-УАСГ

Резервни членове:

проф. д-р Цвятка Карагьозова

доц. д-р Венци Божков - УАСГ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 19.04.2018 г. в Учебния център на НИМХ-БАН

Материалите по защитата ще са на разположение на интересующите се в канцеларията на НИМХ –БАН и на интернет страницата на института www.meteo.bg

СЪДЪРЖАНИЕ	3
Въведение	4
I Хидроложки прогнози.Методи за прогнозиране на речния отток	5
I.1. Същност и значение на хидроложките прогнози	5
I.2. Видове хидроложки прогнози	5
I.3. Методи за изготвяне	6
I.4. Развитие на хидроложкото моделиране	6
I.5. Класификация на хидроложките модели	6
I.6. Изводи.....	7
II Моделиране на физичните процеси във водосборния басейн	7
II.1. Методи за моделиране на речния отток.....	7
II.2. Модели от типа резервоар.....	8
II.2.1. Хидроложки модел TOPMODEL	8
II.2.2. Хидроложки модел TOPODYN.....	8
II.3. Параметризационни схеми на земната повърхност	9
II.4. Изводи.....	12
III Обект на изследване	12
III.1. Долина и корито.....	12
III.2. Релеф.....	13
III.3. Залесеност	13
III.4. Почви	13
III.5. Климатична характеристика	13
III.6. Хидроложки мониторинг	13
III.6.1. Отточен режим на р.Осъм	14
III.6.2. Максимален отток.....	16
III.7. Изводи.....	18
IV Обединена моделна система ISBA-TOPODYN	18
IV.1. Избор на подходящ хидроложки модел	18
IV.2. Параметризационна схема ISBA	19
IV.3. Система от уравнения в параметризационната схема ISBA	20
IV.4. Схема с експоненциален профил на коефициента на хидравлична проводимост	22
IV.5. Свързване на хидроложкия модел TOPODYN с параметризационната схема ISBA.....	23
IV.6. Изводи.....	24
V Приложение на модела ISBA-TOPODYN за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на р.Осъм.....	24
V.1. Подготовка на входната информация	24
V.1.1. Топография на земната повърхност	25
V.1.2. Информация за земната покривка	27
V.1.3. Почвени характеристики за басейна на р.Осъм.....	29
V.1.4. Хидрометеорологични данни.....	29
V.2. Калибриране на модела	31
V.2.1. Анализ на чувствителността на параметрите	32
V.2.2. Оценка на получените резултати при хидроложкото моделиране.....	32
V.2.3. Процес на калибриране.....	33
V.3. Валидиране на модела	36
V.5. Използване на модела за изготвяне на хидроложки прогнози	37
V.5. Изводи.....	40
Приноси в дисертацията.....	41
Апробация на дисертационния труд	41
Списък на публикациите свързани с дисертационния труд:.....	42
Използвана литература.....	42

Въведение

Една от най-важните задачи в инженерната хидрология е обективната оценка и оптимално използване на водните ресурси чрез рационалното им разпределение във времето и пространството.

В това отношение от голямо икономическо значение е изготвянето на хидроложки прогнози. Те са раздел от хидрологията, оформил се като самостоятелна научна дисциплина, чийто предмет е предсказване възникването и развитието на хидроложките явления и процеси на базата на проучване и опознаване на закономерностите при тяхното формиране.

Актуалност на проблема

Темата на настоящата дисертация е свързана с хидроложките прогнози и прогностичните модели, които са мощен съвременен инструмент за симулиране и прогнозиране на хидроложките процеси във водосбора за различни времеви стъпки. Съгласно закона за водите, управлението на водните ресурси в България се основава на Националната стратегия за управление и развитие на водния сектор, с която се определят основните цели, етапи средства и методи за развитие на водния сектор. В тази стратегия липсва достатъчно информация, чрез която дългосрочно да се планират мерките за намаляване на неблагоприятните последици от наводненията. Прогностичните модели могат успешно да запълнят празнината в настоящите планове за управление на риска от наводнения и да дадат възможност да се предотвратят неблагоприятните последици по отношение на човешкото здраве, стопанската дейност, околната среда и културното наследство.

Цел на дисертационния труд

Основната цел на дисертационния труд е да предложи подходящ хидроложки модел, с помощта на който да бъдат изготвяни хидроложки прогнози и навременни предупреждения за наводнения в речните басейни. Моделът трябва успешно да симулира динамиката на елементите на водния баланс във водосбора (изпарение, снежни запаси, влажност на почвата) и на речния отток въз основа на достоверно описание на условията на земната повърхност (топография, растителна покривка и почви).

В процеса на работа трябва да бъдат изпълнени следните задачи:

1. Проучване на научна литература, свързана с различни хидроложки модели
2. Анализ на физичните процеси, свързани с генерирането на отток
3. Систематизиране на данните, необходими за хидрологична симулация /моделиране /
4. Разработване на теоретичен модел на изследвания проблем
5. Адаптиране на съществуващ програмен продукт за провеждане на изчислителен експеримент
6. Изследване на адаптирания модел чрез анализ на чувствителността на модела към различия в параметрите
7. Калибриране на хидроложкия модел за конкретен водосбор
8. Валидиране на хидроложкия модел за конкретен водосбор

За осъществяване на поставените по-горе задачи в дисертационната работа е предложена и използвана обединена моделна система между повърхностната схема ISBA и хидроложкия модел TOPODYN поради следните характеристики:

- Относително простата структура и неголяма входна информация, която изисква.
- Бърза инициализация, позволяваща използването му като част от една обединена система за прогнозиране на речния отток в реално време.
- По-точно определяне на влажността на почвата преди валежа, което е ключов фактор при генериране на повърхностен отток във водосборния басейн
- Възможност за обединение с прогностичен метеорологичен модел и използване за изготвяне на хидроложки прогнози.

Свързването между ISBA и TOPODYN е вградено в платформата за симулиране на процесите между земната повърхност и атмосферата SURFEX, разработена от научен колектив под ръководството на CNRM—Meteo-France.

Моделната платформа SURFEX използва операционна ситема Linux.

Обект на изследване

Обект на изследване е водосборният басейн на р. Осъм. Изчислителните експерименти са извършени с данни за периода 1.08.2012 – 31.12.2016 год

I Хидроложки прогнози. Методи за прогнозиране на речния отток

Повърхностните водни ресурси са важно народно богатство, необходимо за развитието на икономиката на страната. Те са един от определящите фактори при териториалното разпределение на производството. Неравността в пространственото им разпределение и значителните им колебания по време налагат редица водостопански дейности, изискващи хидроложко обезпечаване.

I.1. Същност и значение на хидроложките прогнози

Значението на хидроложките прогнози се проявява в две основни направления:

- Предупреждение на населението и държавните органи за настъпване на опасни хидроложки явления в реките
- Предоставяне на необходимата информация за обезпечаване на оптимално комплексно използване на водните ресурси и осигуряване на максимален икономически ефект.

От прогнозите с предупредителен характер най-важни са тези, свързани с наводненията, които са често явление, причиняващо значителни материални щети. Своевременното предотвратяване и предупреждаване за настъпване на наводнения позволява на съответните органи да вземат необходимите мерки, за да се сведат до минимум възможни щети.

I.2. Видове

Класификацията на хидроложките прогнози се осъществява по следните основни принципи:

- Срочност на прогнозата
- Вид на предсказваното явление
- Закономерности, въз основа на които се съставя прогнозата

- Целево предназначение на прогнозата

1.3. Методи за изготвяне на хидроложки прогнози

Способите за изготвяне на хидроложки прогнози могат да бъдат обобщени в три основни групи [1]:

Към първата група се отнасят така наречените обособени (прости, единични) методи за прогнози. Такива се методите, използващи екстраполация, интуитивните (експертни) методи, прогнозни графики, сценарии, матричен метод и др.

Втората група включва в себе си математични методи за прогнозиране използващи корелационния и регресионен анализ, вариационни изчисления, спектрален анализ, вериги на Марков и др.

Към третата група принадлежат прогностичните компютърни хидроложки модели, които представяват една комплексна система, с помощта на която се изготвят различни типове прогнози.

Моделите описват детайлно хидроложките процеси, протичащи във водосборния басейн и това как промяната на началните условия ще окаже влияние върху тези процеси. Те генерират съвкупност от хронологични хидроложки данни, необходими за прогнозирането на оттока.

Разнообразната им употреба и развитието на компютърните технологии и системите за събиране на данни са довели до създаване на голям брой модели с различни нива на сложност.

1.4. Развитие на хидроложкото моделиране

Основна цел на първите опити в моделирането е приблизително определяне на оттока.

В периода между 1920 – 1930 год. Хидроложкото моделиране обръща по-голямо внимание на пространствената нееднородност на волежа и характеристиките на водосборната област.

Огромна стъпка напред е направена през 50-те години. Това е периода на възникване на първите концептуални модели.

През 60-те и 70-те години са създадени голям брой модели като като Stanford Model IV (Crawford and Linsley, 1966) [2], Sacramento Model (Burnash et al., 1973) [3], BV модел (Bergström and Forsman, 1973), [4], Tank model (WMO, 1975) [5] представящи по различен начин връзките между отделните микросистеми.

През 80 – те години са създадени хидроложките модели с разпределени параметри. Те дават възможност за използването на цифров модел на водосборния басейн, получен от топографски карти и сателитни растерни изображения чрез които може да бъде определено растителното покритие.

В последните години се създават модели с все по-голяма резолюция съдържащи по-близки до реалността характеристики на земната повърхност (почвени и геоложки условия, растителна покривка, релеф, климат и др). Това води до по - точно изчисление на преноса на топлина и влага между атмосферата и различните видове земна повърхност (оголена почва или растителната покривка) и съответно по – безпогрешно прогнозиране на речния отток

1.5. Класификация на хидроложките модели

Хидроложките модели могат да бъдат класифицирани по различни принципи. Един от тях е този на Singh, 1988) [6]



Фиг.1 Класификация на хидроложките модели

1.6. Изводи

От направения до тук анализ могат да се направят следните изводи:

1. Хидроложките прогнози са от изключителна важност за предотвратяване на риска от екстремуми (суши и наводнения) в областта на водите.
2. Изготвянето на хидроложки прогнози има за цел намаляване на икономическите загуби, рисковете от влошаване на природната среда и опазването на културното наследство
3. Хидроложките прогнози са част от Националната стратегия за управление на водния сектор

II Моделиране на физичните процеси във водосборния басейн

Формирането на оттока е сложен и многофакторен процес. Той се състои от голям брой отделни процеси, свързани помежду си в рамките на една водосборна област. Речният басейн получава, разпределя, натрупва и насочва потоците от вещества (валежи, отток и изпарение) и енергия (радиационния и конвективен топлообмен), поглъщани и излъчвани към атмосферата.

II.1. Методи за моделиране на речния отток

Методите за моделиране на речния отток могат да се систематизират в следните три основни групи:

- Опростени методи

Те са свързани с множество груби опростявания и хипотези относно водосборната област и процесите на формиране и движение на дъждовния отток, предизвикан от силно идеализиран линеен хистограф, съответстващ на дъжд с постоянна интензивност. Този метод се използва главно при малки водосборни басейни.

- Хидроложки методи

Те биват концептуални или физически базирани. При концептуалното моделиране, сложните хидравлични (физични) процеси на повърхностно оттичане се апроксимират чрез по-прости физични обекти, реализиращи същите функции (т.н. "концепция", приемане). При съвременните симулационни модели, най-често повърхностният дъждовен отток се моделира опростено чрез каскада от резервоари.

Физически базираните модели представят реалното протичане на хидравличните (физичните) процеси, при което се допуска и различна степен на опростяване

- Хидродинамични методи

Обикновено те включват концептуални модели относно повърхностния дъждовен отток, комбинирани с физически базирани модели, използващи уравненията на Сен-Венан относно движението на оттока в речната мрежа. С тези методи (модели) може да се симулира дъждовен отток, предизвикан от хитограф с избрана или произволна форма.

II.2. Модели от типа резервоар

При тях разположението на резервоарите наподобява математическо решение чрез метода на крайните разлики. Но математическите изрази, чрез които се представя движението на вода през резервоарите, са подобни на концепциите, използвани в класическата хидрология.

II.2.1. Хидроложки модел TOPMODEL

Хидроложкият модел TOPMODEL (Beven и Kirkby, 1979) [7], разработен в края на 1970 се основава на идеята, че топографията във водосборния басейн оказва доминиращо влияние на движението на формирания в речния басейн отток.

Допринасящите зони не са статични, а се разширяват или смаяват в зависимост от валежите и сезонните изменения, зависят от водния баланс на водосборния басейн, топографията и съдържанието на вода в почвата.

Изчисленията в модела се базират на четири хипотези, опростяващи хидроложката система:

- хидравличната проводимост на почвата намалява по експоненциален закон с увеличаване на дълбочината $K(z) = K_0 e^{-fz}$

- наситената с вода зона в почвата се намира в постоянно равновесие спрямо подхранването от по - високо разположената допринасяща зона - a

- топографският индекс представлява добра апроксимация на хидравличния градиент-приема се еднакво подземно подхранване по цялата площ на водосборния басейн

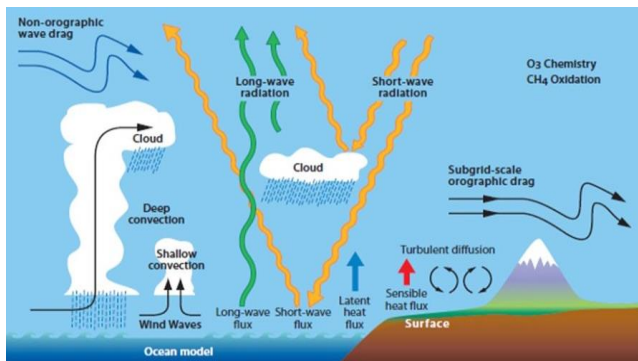
II.2.2. Хидроложки модел TOPODYN

TOPODYN (Pellarin et al., 2002) [8] е динамична версия на TOPMODEL специално развита да отговаря на характеристиките на средиземноморските водосборни басейни.

Главната особеност на тази версия е фактът, че моделът отчита пространствената вариация на валежа. Само мрежата от клетки, в които подхранването на почвата с вода е достатъчно голямо, за да генерира отток надолу по веригата, участват в определянето големината на оттока. Въвежда се максимална стойност на дефицита на влажност в почвата, над който отделната клетката не може да генерира отток надолу по веригата.

II.3. Параметризационни схеми на земната повърхност

За да бъде завършено представянето на кръговата на водата в природата, хидролозите често пъти използват различни видове атмосферни модели, прилагани в метеорологията. Това са повърхностни параметризационни схеми, които пресмятат радиационните и турбулентните потоци на топлина и влага в близост до земната повърхност.



Фиг.2 Структура на параметризационна схема на земната повърхност

Параметризационните схеми на повърхността на сушата включват обикновено уравнения, описващи топлинните потоци между най-долния слой на атмосферата и земната повърхност (топлинен поток резултат на дълговълнова слънчева радиация, турбулентен топлинен поток и топлинен поток, получен при изпарение), влагата и движението на въздуха в приземния слой на земната повърхност. Топлинните потоци, влагата и движението на въздуха оказват влияние на динамиката на физичните процеси в атмосферата (например на образуването на ниска облачност). Повърхностните схеми включват в себе си и механизъм за определяне на метеорологичните параметри на земната повърхнина, като температура на въздуха, температура на точката на оросяване на височина 2 м., посока и скорост на вятъра на височина от 10м.

Обменът на топлина и влага и турбулентното движение в приземния слой се параметризират посредством различни физични механизми (Viterbo Pedro) [9], (Habets et.al.,2003) [10].

Водната повърхност бавно изменя своята температурата и съответно резки температурни колебания могат да бъдат наблюдавани в един по - дълъг период от време.

Земната повърхност е топлинно по-динамична, температурата ѝ има денонощен ход. Важна част от параметризационните схеми е правилният анализ на процесите на пренос на топлина и влага. Когато върху суха почвена повърхност падне значителен валеж, в началото попиването (инфилтрацията) е пропорционално на количеството на валежа. След известен период от време от началото на валежа почвата се водонасища, в резултат на което не може да попиwa повече вода и образува повърхностен отток. Оттокът зависи от топографските особености на терена и от степента на влажност на почвата. От особена важност за средносрочните прогнози е да се отчете бавното изменение на почвената влажност. Основен фактор в

параметризационните схеми е изпарението от различните видове повърхности, в това число и евапотранспирацията (сумарното изпарение от почвата, от транспирацията и тази част от валежа, която се е задържала върху растителната маса).

При построяване на различни параметризационни схеми са залегнали две основни уравнения. Първото уравнение е дифузият закон на Фурие за топлообмена в почвата без отчитане на влагообмена. Слънчевата топлинна енергия, погълната от земната повърхност, се разпространява в почвата за сметка на молекулярната ѝ топлопроводност. Активен слой на повърхността се нарича слой, в който температурата изпитва денонощни или годишни колебания – за земна повърхност се приема слой с дълбочина от 8 - 30м. За повърхността заета от океани и морета, активният слой се приема с дълбочина 200 - 300м. Теплопроводността на почвата е много по-голяма от молекулярната топлопроводност на въздуха. С увеличаване съотношението на обема на въздух в порите спрямо общия обем на почвата (порестост) нейната топлопроводност рязко намалява. Порестостта зависи от различните характеристики на почвата: текстура (пясък, глина или торф), структура и влагосъдържание на почвата.

Второто уравнение, използва закона, за движение на водата в ненаситената почвена зона (Viterbo Pedro)[9], (Habets et.al.,2003) [10]. Обикновено се приема, че влагообменът в хоризонтално направление е незначителен за едромасщабните процеси и значителен при микромасщабните. Наклонът на релефа оказва съществено влияние на големите хоризонтални водни потоци.

В качеството на горни гранични условия са уравненията на топлинния баланс и влажност на земната повърхност. Долните гранични условия са по-малко физически обосновани (например приравняването към нула на всички потоци на долната граница на активния слой).

Резолюцията на атмосферните модели нараства и параметризационните схеми постоянно се намират в процес на разработка. С увеличаване на познанията за физичните процеси на земната повърхност сложността на моделите нараства, което води до по-точната характеристика на физичните процеси. Икономията на време остава важен въпрос, затова е желателно да се опрости сложността на параметризационните схеми.

Първите изследвания на водното съдържание в почвата са довели до изработването на така наречените прости „bucket” модели за изчисление на изпарението и оттока (Manabe,1969) [11]. Впоследствие вниманието е съсредоточено към съдържанието на влага в почвата (като бавно изменящ се параметър в климатичната система) и приноса на растителността в топлинния поток за сметка на изпарението. В днешно време параметризационните схеми включват в себе си и въглеродния цикъл. Описанието на растителността в интерактивен режим се превръща в отделна научно изследователска област в атмосферното моделиране и параметризиране на повърхността.

Параметризационните схеми на земната повърхност могат да бъдат класифицирани в две групи: за краткосрочни прогнози и дългосрочни прогнози (моделиране на климата). Днес има разработени десетки параметризационни схеми, построени въз основа на различни принципи и отделящи внимание на различни процеси.

Повечето схеми на земната повърхност определят инфилтрацията, подземния и повърхностен отток.

За характеризиране на процесите в снежната покривка се използват еднослойни и многослойни схеми. По – обстойното анализиране на снега дава повече детайли относно вертикалното разпределение на плътността и температурата, но сложността води до увеличаване времето за изчисление.

Физическите и физиологическите свойства на растителността определят отражението, предаването, поглъщането и излъчването на пряката и дифузна слънчева радиация във видимия и инфрачервения диапазон. Тези свойства също така обуславят и задържането на валежа от растителността, изпарението от растителната покривка, проникването на вода в почвата. Описанието на растителната покривка в повечето модели се основава на електрическата аналогия. Турбулентните потоци на топлина и влага съответстват на силата на тока. На напрежението съответстват различни величини (например температурата), а на съпротивлението - структурата и свойствата на растителната покривка, влажността на почвата и атмосферните условия. Някои параметризационни схеми представят химичните процеси в растителната покривка - схемата ORCHIDEE.

Повечето схеми използват различни база данни при задаването на външните параметри (такива като алbedo, индекс на листната повърхност LAI, параметър на грапавина за повърхността, покрита с растителност и др). Съществуват схеми за обмена на атмосферата със специални типове земна повърхност (например градски застроени територии). Така например схемата TEB, включена в модела SURFEX, отчита влиянието на „уличните каньони“ на потоците, ефекта на засенчване и отражение на слънчевата радиация от сгради и съоръжения. Изчислява се температура на повърхността и топлинни потоци за трите вида повърхности: покрив, стена и път. Определянето на потоците на границата между земната повърхност и атмосферата в повечето схеми е калибрирано по данните от метеомачтата Cabauw, разположена в Холандия. Вследствие на това различните видове параметризационни схеми дават приблизително еднакви резултати за Централна Европа, но изчислителните резултати за други региони могат съществено да се различават.

За сравнение на различните параметризационни схеми на земната повърхност е създаден проектът PILPS (Project for Intercomparison of Land surface Parameterization Schemes). Схемите регулярно се сравняват по различни данни, определят се проблемите и перспективите за тяхното развитие.

Направените до този момент проучвания показват, че само една обединена система от параметризационна схема на земната повърхност и хидроложки модел е способна да очертае най-добре кръговрата на вода в речния басейн. Поради този факт през последните десет години е обичайна практика приложението на такива обединени моделни платформи.

TOPLATS е първата моделна платформа (съчетание на хидроложки модел TOPMODEL и параметризационна схема на земната повърхност Land Atmosphere Transfer Scheme), която включва експоненциалното затихване на хидравличната проводимост на почвата в зависимост от дълбочината.

TOPLATS е модел, в който почвата е представена в три слоя: преходен, коренов и наситен с вода слой. Изменението на влажността на почвата в отделните клетки от водосборния басейн се отчита чрез изчислението на водния и енергиен баланс в зависимост от стойностите на топографските индекси, използвани в TOPMODEL.

Друг обединен модел между параметризационна схема на земната повърхност и хидроложки модел е обединена моделна платформа между повърхностната параметризационна схема ISBA и хидроложкия модел TOPODYN (подобрана версия

на модела TOPMODEL Habets et Saulnier (2001) [12] и Pellenq (2002) [13]. Чрез този модел би могло да се определи съдържанието на влага в почвата за всяка една клетка в речния басейн в зависимост от топографските особености на водосборния басейн.

II.4. Изводи

От направения във втора глава анализ могат да се направят следните изводи:

1. Качеството на крайните резултати при хидроложкото моделиране зависят от точното описание на физичните процеси, протичащи във водосборния басейн.

2. Моделът TOPMODEL и неговата подобрена версия TOPODYN имат проста структура, изискват неголяма входна информация и често се използват за симулиране на речния отток във водосборните басейни.

3. За вярното представяне на кръговрата на водата в природата е необходимо съвместно с хидроложки модели да се прилагат параметризационни схеми, които пресмятат потоците на топлина и влага в близост до земната повърхност.

III Обект на изследване

Водосборният басейн на река Осъм е ограничен на запад от вододела на река Вит, на изток от поречието на р. Янтра и на юг от Стара планина.

III.1. Долина и корито

Река Осъм се формира от сливането на реките Черни и Бели Осъм – при град Троян, като за нейно начало е приета р. Черни Осъм. И двата и основни притока



Фиг.3 Водосборна област на р.Осъм

излизат от северните склонове на Троянския балкан, разположен в Средна Стара планина. В горното си течение р. Осъм има северна посока, от гр. Ловеч завива на североизток, като запазва тази си посока до гр. Левски и оттам, като прави отново остър завой, взема северозападна посока, която посока запазва до вливането си в река Дунав – 5 км западно от гр. Никопоп. Координатите при устието са $43^{\circ}12'10''$ северна ширина и $24^{\circ}51'40''$ източна дължина. Дължината на река Осъм е 314 км, а площта на водосборната ѝ област е 2838 км^2 . Средният наклон на реката е 5.7 ‰. Водосборната област е тясна със средна ширина под 20 км., което е ограничило възможността да се развива гъста речна мрежа. Притоците на реката са малко на брой, къси и с малки водосбори. Гъстотата на речната мрежа е едва 0.4 км/км^2 , а за отделни притоци в долното течение

достига до 0.15 км/км.

III.2. Релеф

В областта на поречие Осъм се включват части от Стара планина, Предбалкана и Дунавската равнина. В горното течение на реката се наблюдава планински и хълмист релеф, а в Дунавската равнина са характерни плоските междодолинни ридове, които имат много ясно изразен несиметричен профил.

Средната надморска височина на водосборния басейн на река Осъм е 418.73 м.

III.3. Залесеност

Водосборната област на р.Осъм е слабо залесена. Преобладават земеделските земи (64.69%), следвани от гори и полустествени площи (29.32 %), а останалите площи са заети от антропогенни обекти (5.78 %), влажни зони (0.18%) и водни обекти (0.04 %).

III.4. Почви

Във водосбора на р. Осъм са застъпени разнообразни почвени типове и подтипове, свързани с конфигурацията на терена, климатичните особености, основната скала и растителността.

Най-широко са застъпени сивите горски почви, следвани от карбонатните черноземи и кафявите горски почви.

III.5. Климатична характеристика

По своето географско положение водосборният басейн на р. Осъм попада в южната част на умерения пояс, в близко съседство със субтропичната средиземноморска климатична област. Поради това климатът е общо взето умерено континентален.

Басейнът на р. Осъм се характеризира със студена зима и горещо лято. Средната температура през януари (най-студения месец) е от минус 2С° до минус 5С° като при най-силните застудявания минималната температура може да падне до 25 - 35С° под нулата. Характерни са също така и големите колебания на температурата през зимата. През януари при много силни затопляния максималните температури могат да достигнат до 18С° над нулата.

Средната температура на най-горещия месец (юли) е около 23С° обаче най-високите максимални температури могат да достигнат до 41 – 42 С°. Дори и при най-силните застудявания минималните температури през юли не спадат по-ниско от 7 - 8 С°.

Средният годишен валеж се движи в широки граници от 500 – 550 мм в долоното течение на р. Осъм до 1200 мм за високите. Характеризират се максимуми през месеците май и юни и минимума през януари и февруари.

III.6. Хидроложки мониторинг

Опорната хидрометрична мрежа на поречие Осъм се състои от 5 хидрометрични станции (ХМС), от които 3 ХМС са по главната река, а останалите са на притоците.

Таблица 1. Списък на хидрометричните станции от поречието на р. Осъм

№ на ХМС	Наименование на реката	Хидрометрична станция	Площ на водосб. F (км2)	Ср.надм. височ. на водосб. обл. (м)	Разстояние от устието (км)
22350	Бели Осъм	гр.Троян кв. Василевска	204.4	919.11	10.3
22650	Осъм (Ч.Осъм)	с.Ч.Осъм мах. Стойновска	141.8	1272.17	291.9
22700	Осъм	гр.Троян кв. Велчовска	464.7	970.08	276.8
22750	Осъм	гр. Ловеч	919	732.07	240.2
22800	Осъм	с. Изгрев	2162.2	426.05	107.8

III.6.1. Отточен режим на р.Осъм

Основна роля при разпределение на оттока на реката през годината играят климатичните фактори. Общата влажност на басейна, количеството на падналите валежи през отделните сезони, тяхната интензивност и продължителност, температура, изпарение във водосбора, облачност, слънчево греење и влажност на въздуха са главните фактори, влияещи на вътрешногодишното разпределение на оттока.

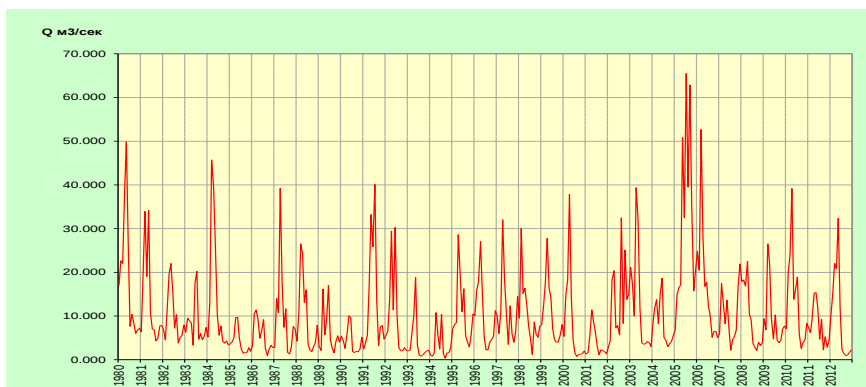
От направения анализ за режима на оттока по цялото течение на реката се разграничават следните характерни периоди:

а) Пролетни пълноводия. Вследствие на падналите валежи се повишават водните количества в средата на месец февруари. С редуващи се върхове и занижавания този период продължава до края на месец юни. През този период са и най-големите върхове, обикновено през месеците май и юни. Тенденцията е за повишаване на водните количества, като режимът на оттоците през отделните години е стабилен и не е в зависимост от водността им.

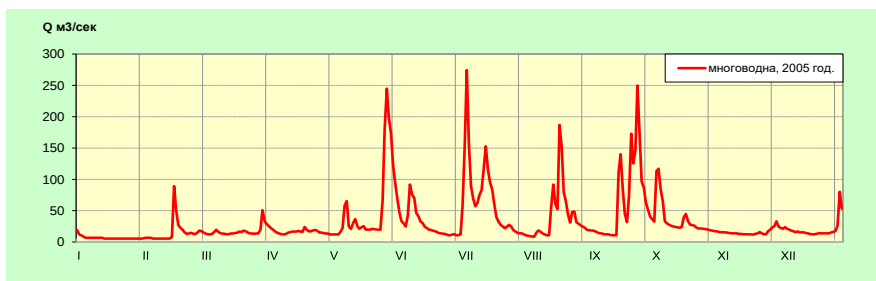
б) Период на летни маловодия - от началото на м. юли обикновено започва да се очертава една тенденция за занижаване на водните количества, което продължава до края на м. ноември. Изключение правят многоводните години, когато в този период се забелязват доста високи върхове, дължащи се на интензивни валежи.

През този период са и минимумите, които са регистрирани през месеците август, септември и октомври.

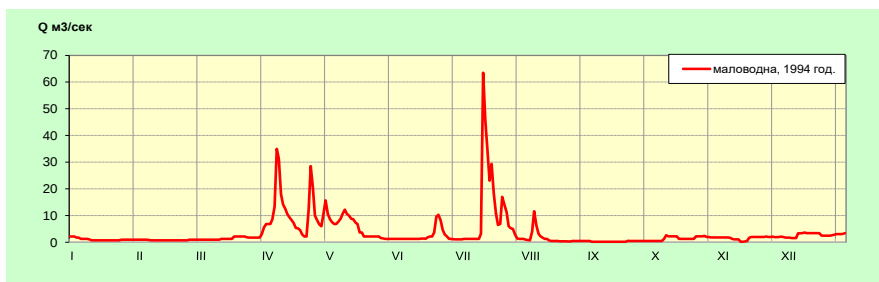
в) Ново завишение на водните количества - вследствие на падналите валежи в средата на месец декември отново се забелязва покачване на речния отток. В следващите графики е отразен отточният режим на р.Осъм при с. Изгрев



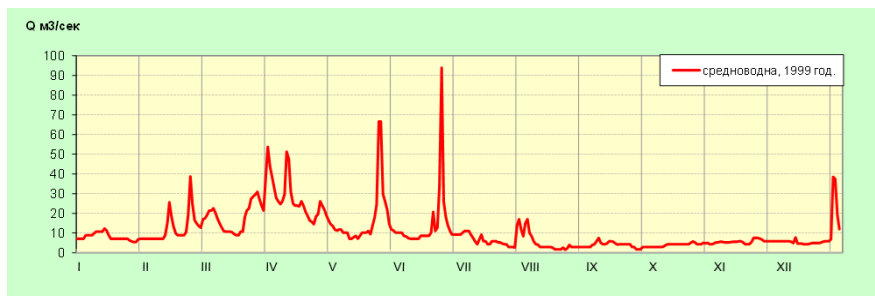
Фиг. 4 Ходова линия на средномесечните водни количества за периода 1980 – 2012 год за р. Осъм при с. Изгрев



Фиг. 5 Ходова линия на водните количества за маловодната 1994 год за р. Осъм при с.Изгрев



Фиг. 4 Ходова линия на водните количества за многоводната 2005 год за р. Осъм при с. Изгрев



Фиг.6 Ходова линия на водните количества за средната по водност 1999 год за р. Осъм при с. Изгрев

Разпределението на оттока през годината хидрометричната станция на р.Осъм при с. Изгрев. е представено в Табл.2.

Табл 2

Характерна по водност година	Зима	Пролет	Лято	Есен
	ХІІ, I, II	III, IV, V, VI	VII, VIII, IX	X, XI
Средна по водност 1999 год.	21.78	58.71	11.99	7.52
Фиктивна средна многогодишна за периода	20.31	54.10	16.96	8.63
Многоводна 2005 год.	11.14	30.98	44.46	13.42
Маловодна 1994 год	11.53	50.39	30.04	7.84

III.6.2. Максимален отток

Проблемът за вероятностната оценка и прогнозирането на максималния отток на реката се явява едно от най – важните хидроложки изследвания.Важна характеристика на този режим се явяват високите води, причинени от интензивни дъждове, които често имат катастрофален характер.

По р. Осъм максималните водни количества, причинени от проливни дъждове, превишават пиковите на пролетните пълноводия.

За периода 1980-2012 год. максимално пълноводие е наблюдавано през 2005 год.

Характерно за р.Осъм е синхроността на преминаването на максималния отток по дължина на реката (Фиг.6).



Фиг.7 Синхронност на високите води във водосбора на р. Осъм.- 2005 год

III.7. Изводи

От направения анализ би могло да се направят следните изводи:

1. Основна роля при разпределение на оттока на реката през годината играят климатичните фактори.
2. Реката има ясно изразен максимум през месеците май-юни, дължащ се на снеготопенето в Стара планина и дъждовете през този сезон. Минимумът е в периода август – октомври. Изключение от този режим са многоводните години, при които максимумите са резултат на краткотрайни и силно интензивни валежи през месеците юли – септември.
3. Подхранването на р. Осъм е смесено – дъждовно, снежно и от карстови подземни води. В горното течение на реката подхранването е предимно от снежни и дъждовни води, а в Предбалкана и от карстови подземни води. В долното течение (Дунавската равнина) подхранването е предимно от дъждовни води.
4. Водосборният басейн на р. Осъм се характеризира с голямо разнообразие на природните условия, влияещи на големината и режима на речния отток. Важна характеристика на този режим се явяват високите води, причинени от интензивни дъждове, които често имат катастрофален характер.
5. Максималният отток се явява една от най – важните характеристики на оттока. Максималните водни количества, причинени от проливни дъждове, превишават пиковите на пролетните пълноводия.
6. Правилното определяне на максималните водни количества и обеми на високите вълни е от решаващо значение за човешката дейност и защита от вредното въздействие на водите.

IV Обединена моделна система ISBA-TOPODYN

Сред голямото разнообразие от съществуващи хидроложки модели и методи за симулиране на речния отток е необходимо да се направи избор на подходящ хидроложки модел за моделиране на речния отток във водосборния басейн на р. Осъм.

Избирането на конкретен хидроложки модел зависи от характера на водосборния басейн, както и от целите, на които трябва да отговаря моделът.

От особена важност е правилното анализиране на процесите, възникващи в резултат на валеж или снеготопене във водосбора, на доминиращите процеси формиращи оттока и избора на модел, който най-добре описва тези процеси.

IV.1. Избор на подходящ хидроложки модел

Beven (2001) [14] предлага процедурата по избор на модел да се извърши в следната последователност:

- Изготвяне на списък с избраните модели. Този списък може да има две части: модели, които са лесно достъпни и безплатни, и модели, които изискват полването на платен софтуер, а това води до един задълбочен анализ за целесъобразността от направената инвестиция.
- Вземане на решение дали параметрите, които ще прогнозира даден модел, ще бъдат достатъчни за целите на конкретното изследване. Например: ако имаме интерес за изследване повишението на нивото на подпочвените води в ниските части на речните долини, дължащо се на обезлесяване, моделите с обобщени параметри не могат да бъдат ползвани. Ако обаче се интересуваме само от прогнозиране

реакцията на водосбора от паднали валежи, за предвиждане на наводнения може да не се използва модел с разпределени параметри.

- Изготвяне на списък на схематични очертания за процесите, възникващи в резултат на валеж или снеготопене във водосборния басейн, анализ на доминиращите процеси, формиращи оттока и избиране на модел, който най-добре би описал тези процеси.

- Изготвяне на списък за необходимите данни, които би използвал моделът за определяне на граничните и началните стойности на параметрите, характеризиращи водосборния басейн. Преценка дали цялата необходима информация може да бъде налична и предоставена в рамките на времето и разходите, на дадено изследване.

След изпълнение на горепосочените дейности, би трябвало да се е очертал модел, който има най-много предимства. Ако няма такъв, е необходимо да се намалят критериите за подбор.

При избора на модел за провеждане на изчислителен експеримент моделите с обобщени параметри не са разглеждани, тъй като те не описват добре пространственото разпределение на валежа и характеристиките на речния басейн, а това е съществен недостатък при моделирането на процесите по формирането на оттока.

Един от най-популярните хидроложки модели е моделът TOPMODEL, заради относително простата му структура и неголямата входна информация, която изисква. Бързата му инициализация позволява използването му като част от една обединена система за прогнозиране на речния отток в реално време.

Една от най-важните причини за избиране на хидроложкия модел TOPODYN (подобнена версия на TOPMODEL) за провеждане на експерименти е, че той може да се използва съвместно с параметризационна схема на земната повърхност ISBA.

Свързването на хидроложкия модел с повърхностна схема на земната повърхност позволява по-точно определяне на влажността на почвата преди валежа, което е ключов фактор при генериране на повърхностен отток във водосборния басейн.

Друга причина за избор на моделна система ISBA-TOPMODEL е възможността за обединение на модела с прогностичен метеорологичен модел и използването му за изготвяне на хидроложки прогнози.

IV.2. Параметризационна схема ISBA

Параметризационна схема ISBA (Interaction Soil Biosphere Atmosphere) (Noilhan et Planton (1989) [15] е модел, който отчита преноса на топлина и влага в почвата, като взема под внимание наличието на растителна и снежна покривка върху земната повърхност.

ISBA симулира водните и енергийни потоци на границата между земната повърхност и атмосферата, промените на съдържанието на вода в почвата и снежната покривка, повърхностния и подземен отток. Моделът може да използва различни опции в зависимост от целите на проучването.

Системата използва тайлинг – подход и метод на електрическата аналогия. Изчислението на влажността в почвата се извършва чрез няколко алтернативни подхода: по-сложна ISBA-DIF, включваща схема на дифузия; двуслойна или трислойна схема на основата на „обратното възстановяване” (force-restore) към равновесно състояние на почвената влажност и схема с експоненциален профил на коефициента на хидравличната проводимост (K_{sat}).

В стандартната версия на ISBA почвата е разделена на два слоя за изчислението на почвената влага: горен слой (примерно с дебелина 1 см) и втори слой - с дълбочина, на която потокът от влага в почвата достига стойност равна на нула (примерно за период от една седмица). Тази дълбочина винаги е по-голяма от дълбочината на кореновата система.

За опростяване на решението почвата се приема за еднородна във вертикално направление между горния и дълбоко разположения слой. При оголена почвена повърхност при задаване на физичните характеристики на топлообмена в почвата, за изчислението на топлинния поток между повърхностния и дълбоко разположения слой се използва величина, характеризираща достигането на почвата до състояние на влагонасищане. Ако почвата е много суха, топлинният коефициент обикновено се ограничавя до определена стойност. Типът растителност се характеризира чрез коефициента на топлинна инерция. Топлинната инерция характеризира акумулиращата способност на растенията, тяхното съпротивление срещу температурни промени. Растенията с голяма топлинна инерция могат да акумулират и отдават значително количество топлинна енергия. Коефициентът на топлинна инерция при схемата почва – растителност – сняг се изчислява по тегловен път за отделните членове в уравнението. При преноса на влага повърхностният слой си взаимодейства с атмосферата, а долният - не. В повърхностната схема ISBA също така е включено характеризиране на количественото съдържание на водата по повърхността на растенията и на леда в повърхностния и дълбокия слой на почвата. Водата по растителната повърхност възниква в резултат на паднали валежи или роса. Ако част от листната повърхност е покрита с тънък слой вода, то тази част от повърхността ще се изпарява директно в атмосферата, а останалата част от листната маса ще участва в процеса на транспирация чрез водата, намираща се в дълбокия слой на почвата, там където се намира кореновата система. Ако влагосъдържанието на дълбоко разположения слой достигне своето изчерпване, то на дъното му започва да се събира гравитационна вода, заемаща капилярните пори в почвата.

Съдържанието на влага в почвата се характеризира с три прагови параметъра най-малката стойност на параметъра на влагозадържане w_{fc} (съдържанието на влага в почвата, при което започва капилярното движение на водата към по-долу разположените пластове); стойност на параметъра на „увяхване“ w_{wilt} (съдържанието на влага в почвата, под което се предполага, че растителността не е в състояние да предава вода с помощта на кореновата система към листата) и стойността на влагонасищане на почвата w_{sat} (максималното съдържание на вода в почвата) Предполага се, че изпарението се извършва със скорост с потенциал h_v , когато влагосъдържанието се намира между w_{fc} и w_{sat} , а транспирацията затихва под стойността w_{wilt} .

IV.3. Система от уравнение в параметризационна схема ISBA

Топлинните свойства на земната повърхност се характеризират с температурата във връхния слой на почвата T_s и температурата на дълбокоразположения слой T_2 .

За определянето им се използват уравненията:

$$\frac{\partial T_s}{\partial t} = C_t G - \frac{2\pi}{\tau} (T_s - T_2) \quad (4.1)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = \frac{1}{\tau} (T_s - T_2) \quad (4.2)$$

където:

G - топлинния баланс на земната повърхност

τ - продължителност на деня (86400 сек.)

C_{tot} - топлинен инерционен коефициент, характеризиращ скоростта на топлинния обмен с повърхността, зависещ от типа земна повърхност (Douville et.all, 1995) [16].

Топлинният баланс на земната повърхност G е сума от радиационния баланс R , турболетния поток на топлина H и потока топлина, получаван при изпарение - LE

$$G = R_n - H - LE \quad (4.3)$$

Повърхностната схема ISBA – 3L използва три уравнения, които включват влагосъдържанието w_g във връхния слой на почвата, влагосъдържанието w_2 във втория почвения слой, характеризиращ кореновата зона и за влагосъдържанието w_3 в дълбоко разположения слой

$$\frac{\partial w_g}{\partial t} = \frac{C_1}{\rho_w d_1} (P_g - E_g - F_{gw}) - \frac{C_2}{\tau} (w_g - w_{geq}) \quad 0 \leq w_1 \leq w_{sat} \quad (4.4)$$

$$\frac{\partial w_2}{\partial t} = \frac{1}{\rho_w d_2} (P_g - E_g - E_{veg} - F_{2w}) - D_{r1} - D_{f1} \quad 0 \leq w_2 \leq w_{sat} \quad (4.5)$$

$$\frac{\partial w_3}{\partial t} = \frac{d_2}{(d_3 - d_2)} (D_{r1} + D_{f1}) - D_{r2} \quad 0 \leq w_3 \leq w_{sat} \quad (4.6)$$

където:

C_1 - хидравличен инерционен коефициент характеризиращ скоростта на обмен на влага с повърхността, зависещ от типа земна повърхност

C_2 - хидравличен инерционен коефициент характеризиращ скоростта на обмен на влага с повърхността, зависещ от типа земна повърхност

ρ_w - плътност на водата

E_g - изпарение от повърхността на почвата

E_{veg} - изпарение от растителна покривка

d_1 - дълбочина на връхния слой ($d_1 = 1$ см.)

d_2 - дълбочина на втория слой (d_2 зависи от дълбочината на кореновата система)

d_3 - дълбочина на дълбоко разположения почвен слой

w_{geq} - влажност на почвата, при която има равновесие между капилярните и гравитационните сили

F_{gw}, F_{2w} - фазовите преходи на водата, съдържащи се в първия и втория слой

D_{r1}, D_{r2} - характеризират гравитационната вода, стичаща се към по-долу разположените слоеве

D_{f1} - е капилярното дифузно движение между кореновата зона и дълбоко разположение почвен слой

Една част от валежа (P) се прихваща от растенията до достигане на праговата стойност $w_{r\ max}$ (максималното количество на влага, което може да се задържи в растителната покривка), след което растенията не могат да погълтат повече вода и остатъкът от валежа се оттича към земната повърхност. Величината $w_{r\ max}$ зависи от гъстотата на растителната покривка и се параметризира чрез:

$$w_{r\ max} = 0.2LAI.veg \quad (4.7)$$

където:

LAI - индекс на листната повърхност

veg - степен на покритие на повърхността с растителност

Частта от валежа, който се прихваща от растителната покривка, се определя по формулата:

$$\frac{\partial w_r}{\partial t} = vegP - E_r - Q_r \quad (4.8)$$

където:

P – валеж

Q_r - излишната вода след достигане на $w_{r\ max}$

E_r - изпарение от вода, задържала се на повърхността и в растителността вследствие на валежи

IV.4. Схема с експоненциален профил на коефициента на хидравлична проводимост

Вертикалното движение на водата в почвата е представено чрез закона на Дарси, който гласи, че водният отток $q(z)$ е продукт на хидравличната проводимост k и гравитационния потенциал ψ и дълбочината z

$$q(z) = k \frac{\partial}{\partial z} [\psi + z] \text{ или } q(z) = k \left[\frac{\partial \psi}{\partial z} + 1 \right] \quad (4.9)$$

Гравитационният потенциал и хидравличната проводимост са във функционална зависимост със съдържанието на вода в почвата w . Brooks и Corey (1966) и Clapp и Hornberger (1978) определят тази функционална зависимост чрез:

$$\psi(w_i) = \psi_{sat} \left(\frac{w_i}{w_{sat}} \right)^{-\beta} \quad (i = 1,3) \quad (4.10)$$

$$k(w_i) = k_{sat,c} \left(\frac{w_i}{w_{sat}} \right)^{-2\beta+3} \quad (i = 1,3) \quad (4.11)$$

където:

ψ_{sat} - гравитационния потенциал във водонаситено състояние

$k_{sat,c}$ - стойността на хидравличната пропускливост на почвата във водонаситено състояние при уплътнена почва

β – стойността на наклона на кривата на задържане на влага в почвата

Това параметризиране е близо до предложено от Chen и Kumar (2001) [17].

$$k_{sat}(z) = k_{sat,c} \cdot e^{-f(z-d_c)} \quad (4.12)$$

$$k(w_i, z) = k_{sat}(z) \left(\frac{w_i}{w_{sat}} \right)^{-2\beta+3} \quad (4.13)$$

където:

z – дълбочина на почвения пласт

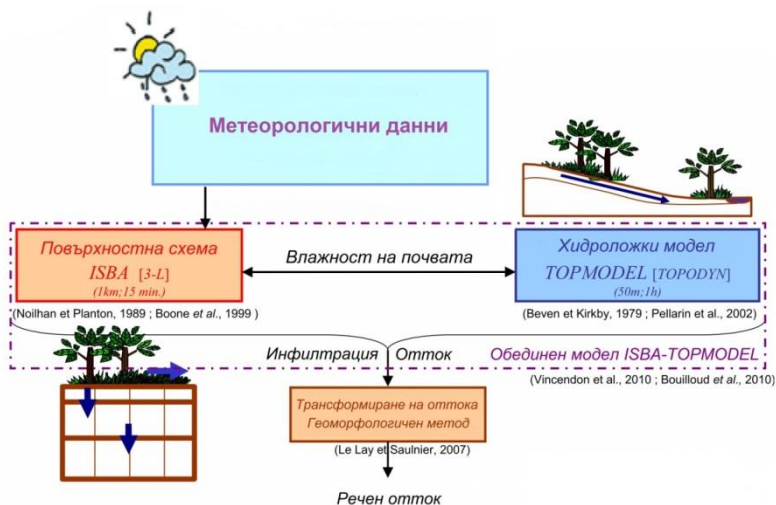
f - параметър на чувствителност, характеризиращ бързината на затихване на хидравличната проводимост с увеличаване на дълбочината

d_c - уплътнената (без наличие на макропори) дълбочина на почвения пласт

IV.5. Свързване на хидроложкия модел TOPODYN с параметризационната схема ISBA

Развитието на съчетаната система е започнало от Chancibault et.al (2006) [18] и по-късно успешно се прилага за симулиране на наводнения в Средиземноморския басейн на Франция (Bouilloud et.al 2010) [19]. Моделната система е съчетание от параметризационната схема ISBA-3L (Boone et.al 1999) [20] и динамичната версия на хидроложкия модел TOPMODEL – модела TOPODYN [8]. Приложението на съчетана система е продиктувано от съществените предимства на двата модела и от необходимостта да се намали броят на калибрационните параметри. По този начин ISBA симулира динамиката на елементите на водния баланс във водосбора (изпарение, снежни запаси, влажност на почвата и др), а хидроложкият модел TOPODYN, представя страничното прехвърляне на вода във водосборния басейн и последващото ѝ движение в речната мрежа.

Следващата схема илюстрира принципа на работа на обединения модел ISBA-TOPODYN



Фиг.8 Взаимодействия между параметризационната схема ISBA и TOPMODEL

Идеята за физичната връзка между двата модела се основава на отношението между водното съдържание в почвата изчислявано от ISBA и дефицитът на влажност в TOPMODEL.

IV.6. Изводи

1. Избирането на конкретен хидроложки модел зависи от особеностите на речния басейн, както и от целите, за които ще бъде използван моделът
2. Съчетаната система ISBA – TOPODYN позволява точното симулиране на динамиката на елементите на водния баланс във водосбора (изпарение, снежни запаси, влажност на почвата) и речния отток.
3. Изборът на съчетаната система ISBA – TOPODYN е продиктуван от съществени предимства на двата модела и от необходимостта да се намали броят на калибрационните параметри

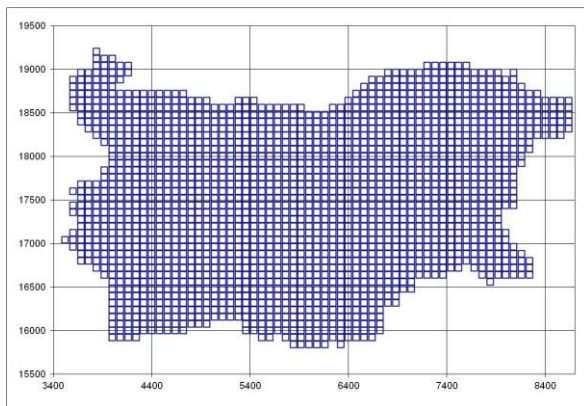
V Приложение на модела ISBA-TOPODYN за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на р.Осъм

Моделната система ISBA -TOPODYN изисква предварително изготвяне на две групи от входни файлове. Първата група съдържа физикографските особености на водосборния басейн, а втората - метеорологична информация.

V.1. Подготовка на входните физикогеографски данни

За тяхното определяне е необходимо да се отчете географското местоположение на изследвания водосборен басейн на р. Осъм. Това обикновено се извършва чрез грид, като всеки грид се дефинира с неговите главни координати. Много проекции могат да бъдат използвани, но в случай на свързване на ISBA с TOPODYN това е коничната конформна картографска проекция Lambert II.

За моделирането на речния отток на територията на България е направен грид, който съдържа 1919 точки с размер 8 по 8 км. Преди превръщането му в проекция Lambert II гридът е преместен с 23 градуса на запад.



Фиг.9 Създаден грид на България за нуждите на ISBA-TOPODYN

Генериране на входните файлове се осъществява чрез следните данни:

V.1.1. Топография на земната повърхност

Информация за характерните особености на релефа се извлича от глобалната база данни на U.S. Geology Survey (USGS) GTOPO30.[21]

От тези данни е изготвен цифров модел на терена на изследвания водосбор с пространствена разделителна способност, съответстваща на тази, която използва хидроложкия модел TOPMODEL – 50 м.



Фиг.10 Цифров модел на терена за водосборния басейн на р. Осъм

След това от числовия модел на релефа с помощта на безплатната програма ГИС GRASS ver7.0, комбинирана с JAVA скрипта CATCHMENT_FROM_DTM.jar се създават пет специфични файла, съдържащи топографските особености на водосборния басейн.

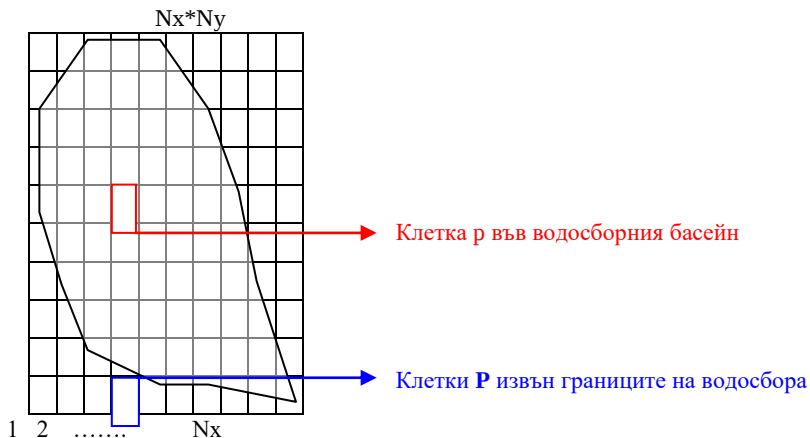
За извършване на изчисленията информацията за надморските височини трябва да бъде структурирана в характерен текстов файл (DTM файл). Форматът му е представен в документа „TOPODYN OPTION IN SURFEXV7-2 : USERS GUIDE”, създаден от Beatrice Vincendon. Географската зона на водосборния басейн е разделена на клетки с резолюция – 50 м. Всяка клетка се характеризира чрез надморската си височина. В заглавната част на файла се посочват координатите на долния ляв ъгъл на мрежата от клетки в коничната конформна картографска проекция Lambert II. След това данните за надморските височини на отделните клетки се подреждат, започвайки отляво надясно и отдолу нагоре (например първа е стойността на клетката, намираща се в долния ляв ъгъл, а последната стойност е на клетката в горния десен ъгъл).

DTM файла, съдържащ данни за надморските височини, се използва от JAVA скрипта CATCHMENT_FROM_DTM.jar за начало на процедурата по създаване на петте специфични файла, представящи топографията във водосборния басейн.

JAVA скрипта завършва с изобразяване на текста „PROGRAMME TERMINE NORMALEMENT” като създава 5 входни файла необходими за модела ISBA-TOPODYN:

1. CAT_FilledDTM.map (с CAT е означено името на водосбора)

Структурата на файла е подобна на тази на DTM файла, но е приложен обработения цифров модел на терена след отстраняването на неправилно структурираните клетки.



Работната област представлява правоъгълник, в който е вписан водосборният басейн. Клетките от мрежата на този правоъгълник, намиращи се извън границите на водосборния басейн, са със стойност нула.

Информацията за надморските височини се използва от променливата **XTOPD(P)** на модела.

2. CAT_connections.vec

Този файл се получава въз основа на данните от файла име на водосбора_FilledDTM.map. Във файла за всяка клетка се изброяват гореразположените спрямо нея клетки (съседни клетки с по-високи надморски височини) според количеството на вода, която разглежданият пиксел може да поеме от по-високо разположени клетки. За клетка номерирана като p1 (започвайки отляво надясно и отдолу нагоре) в този файл се посочва:

- надморската височина

- броя на нейните съседни клетки с по-високи надморски височини

- за всяка от по-високо разположените клетки

 - броя на нейните съседни

 - процента на оттичащата се площ към клетка p1 или процента на оттичащата се площ към съседния пиксел

3. CAT_slope.vec

Съдържа изчислените стойности на топографския индекс на всяка клетка във водосбора. Във файла се включени само клетките, разположени в границите на водосборния басейн

4. CAT_HillDist.map

Информацията от файла **CAT_FilledDTM.map** служи за определяне на разстоянието, което водата трябва да измине по склона, докато достигне до речното легло.

5. CAT_RiverDist.map

Данните от файла **CAT_connections.vec** се ползват за определяне на разстоянието, което водата трябва да измине по реката, докато достигне до изхода на водосбора.

V.1.2. Информация за типа на земната покривка

Използвана е базата данни ECOCLIMAP-II/Europe [22], съдържаща информация за различните видове земна покривка.

Вярното представяне на почвени и геоложки условия, растителна покривка, релеф, климат и др. води до по - точно изчисление на преноса на топлина и влага между атмосферата и различните видове земна повърхност (оголена почва или растителната покривка) (Chen T.H, 1997) [23]. За въвеждане физикогеографските характеристики на земната повърхност в атмосферните модели са разработени различни карти и бази от данни. Условно тези набори от данни могат да бъдат разделени на нови (използващи спътникова информация) и традиционни. В този параграф се прави кратък обзор на съществуващите бази и набори от данни. Тъй като в дисертационната работа изчислителните експерименти са извършени с базата от данни ECOCLIMAP, повече внимание е отделено на принципите при нейното създаване.

Броят на величините, характеризиращи физикогеографските особености на земната повърхност, зависят от вида на параметризационната схема. Най – често земната повърхност се очертава чрез следните параметри: индекс на листната повърхност LAI, степен на покритие на повърхността с растителност, сумарен коефициент на отражение (албедо), устично съпротивление на растителната покривка, дълбочина на кореновата система, параметър на грапавина - за повърхност, покрита с растителност, и процента на пясък и глина в почвата.

ECOCLIMAP е глобална база от данни за параметрите на земната повърхност с резолюция 1км. Тя комбинира в себе си създадените преди нея набори от данни и в известен смисъл се явява база от второ поколение. При създаване на базата данни параметризирането на различните типове растителност е извършено като се отчитат сезонните ѝ промени и типовете екосистеми в различните части на земното кълбо. Растителността върху различните типове земна повърхност има специфично физиологично развитие през годината в зависимост от географското си разположение. Например годишното изменение на индекса на листната повърхност LAI за вечнозелените широколистни гори в тропическа Африка и Централна Европа е различен. Това е важно както за климатичните модели така и за числените модели за прогноза на времето. Отчитането на годишното изменение в параметрите на растителната покривка е едно от най-големите достойнства на базата ECOCLIMAP.

Съществен недостатък на ECOCLIMAP както и на другите бази е, че не отразява напълно влиянието на селскостопанската дейност. В базата няма сезонни и междугодишни изменения в размера и състоянието на обработваемите земи, които на практика се променят в течение на годината. При оранта и веднага след прибиране на реколтата степента на земната повърхност, покрита с растителност, на практика има

нулево значение; в този случай почвата се намира в директен контакт с атмосферата. В същото време степента от земната повърхност, покрита с растителност, в периода на максималното развитие на селскостопанските култури, е близка до единица.

В последната версия на базата данни - ECOCLIMAP-II/Europe характеристиките на ландшафта са обновени въз основа на най-новите карти за земното покритие: CORINE2000 и Global Land Cover (GLC2000) [22]. След обединението на информацията от двете карти е създадена нова класификация на видовете земна покривка, която за разлика от предишната версия на ECOCLIMAP е групирана в 14 класа: посеви (crops), иглолистни гори (needleleaf forest), широколистни гори (broadleaf forest), треви и храсти (herbaceous/shrubs), скали (rocks), водоеми (water bodies), оголени почви (bare soil), смесени гори (mixed forest), култивирани полета/мозайка от зеленчуци (crops/natural veg. mosaic), заблатени и влажни полета (wetland), градска част (urban area), гора с тревиста растителност (forest/other veg. mosaic), полеви насаждения (irrigated crops) и сняг и лед (snow and ice).

Както и в предишната версия конкретизирането на основните типове земна повърхност е извършено на основа на климатична информация от: световната климатична карта на Коеппе and De Long (1958) [24], съдържаща 16 климатични класа и карта на проекта FIRS (ES,1995), която покрива територията на Европа и съдържа 23 климатични зони.

Уточнението на динамиката на растителната покривка през годината се извършва с помощта на спътникови данни. Употребяват се ежемесечните индекси NDVI. Основното предимство на ECOCLIMAP-II/Europe е използването на обновена информация за растителната покривка, получена от спътника SPOT/ Vegetation (в периода 1999 – 2005).

Основната информация за водосборния басейн на р. Осъм, определена от базата данни за земната повърхност ECOCLIMAP II Europe, е представена в Таблица 3

Таблица 3. Основни орографски елементи във водосбора на р. Осъм определени с помощта на базата данни ECOCLIMAP II Europe

№ по ред	Характеристики на земната повърхност	Символ	Интервал	Средна стойност за водосборния басейн
1	Дълбочина на първия почвен слой	d_1	-	0.01
2	Дълбочина на кореновата система	d_2	1.32 - 1.76	1.51
3	Дълбочина на почвения пласт	d_3	1.82 - 2.54	2.09
4	Минимално устично съпротивление	R_{smin}	46.05 - 73.49	54.06
5	Индекс на листната повърхност	LAI	1.68 - 5.02	2.94
6	Параметър на грапавина	Z_o	0.04 - 1.00	0.34
7	Степен на покритие на повърхността с растителност	veg	0.55 - 0.94	0.73

V.1.3. Почвени характеристики за басейна на р.Осьм

Видът на почвата (дълбочина на почвения пласт, съдържание на пясък и глина в почвата) е определена от базата данни на FAO [25].

Таблица 4. Почвени характеристики за водосборния басейн на р.Осьм определени от базата данни на FAO.

№ по ред	Характеристики на земната повърхност	Символ	Интервал	Средна стойност за водосборния басейн	Дименсия
1	Съдържание на глина	X clay	0.21 - 0.37	0.15	-
2	Съдържание на пясък	X sand	0.18 - 0.45	0.47	-

V.1.4. Хидрометеорологични данни

За изчисление на евапотранспирацията, повърхностния и подземен отток моделът се нуждае от информация за: твърда и течна фаза на валежите, температура на въздуха, влажност на въздуха, скорост на вятъра, слънчева и атмосферна радиация, и атмосферно налягане.

Част от информацията е получена на базата на измерванията от метеорологичните станции, разположени на територията на изследвания водосборен басейн. Данните, които не са налични, се заместват с моделираните полета данни от атмосферния модел ALADIN в този период.

Двата вида данни са интерполирани в равномерна решетка (грид) над басейна на р. Осьм със стъпка време - 3ч и пространствена стъпка - 8 километра.

○ Метеорологични данни

Специфична особеност на метеорологичните данни е, че те се събират в отделни станции т.е. имат дискретен характер, а същевременно се отнасят за недискретни явления. Следователно проблемът при моделирането им се състои в трансформиране на точково разположена информация в пространствена. За тази цел се използват различни методи за пространствена интерполация. Важно предимство е, че резултатът е във вид на растерен слой, където всяка клетка има конкретна стойност, а съвкупността им добре отразява континуалността на изследваното явление.

Пространствените полета от метеорологични данни за водосборния басейн на р.Осьм се извличат от цялостната информация за територията на България. Това гарантира непрекъснатост при интерполацията на данните на границата на водосборните басейни.

При интерполацията се включват всички налични данни за количеството на валежа: измерения в класическите станции валеж за 24 часа и сумираните почасови данни от автоматичните дъждомери за същия период. За да може да се използват пълноценно по-големия брой ръчно измерени дневни суми, е разработен специален метод.

Данните за валежа, измерени в автоматичните станции, се сумират на 3 часа и се превръщат в проценти спрямо общия период от 24 часа. За периода от 8:01 часа до 8:00 ч. на следващия ден се определят 8 стойности в проценти за всеки сензор (сумата от стойностите им е 100%). Получените данни служат за определяне на времето (в продължение на 24 ч) и пространствено разпределение на валежа.

След това измереният в класическите станции 24 часов валеж се умножава с тези процентни полета и се получават осем 3 часови пространствени полета на количеството валеж през деня.

Разделянето на валежа на твърд и течен (сняг, дъжд) се извършва в зависимост от средната температура на въздуха, измерена в точките, в които се измерва и валежът.

Пространствените полета с измерена температура на въздуха на височина 2м се интерполират, като се използва градиента на разпределение на температурата в зависимост от надморската височина (според получените резултати от атмосферния модел ALADIN в този период). Това е необходимо за подобряване точността на резултатите при интерполацията на температурата в планинските региони поради недостатъчния брой от температурни сензори.

Тези температурни полета са от изключителна важност, особено при моделирането на натрупването на сняг и симулиране процеса на снеготопене.

Тъй като във водосбора на р. Осъм сензорите за измерване посоката и силата на вятъра са малко, а данни за слънчевата и атмосферна радиация липсват, те се заместват с моделираните полета данни от атмосферния модел ALADIN в този период.

Метеорологичната информация е групирана в 8 специфични ASCII файла, започващи с представката **Forc**:

- Температура на въздуха - **Forc_TA.txt** (K)
- Влажност на въздуха - **Forc_QA.txt** (kg/m^3)
- Атмосферно налягане - **Forc_PS.txt** (Pa)
- Течен валеж - **Forc_RAIN.txt** ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)
- Твърд валеж - **Forc_SNOW.txt** ($\text{kg/m}^2/\text{s}$)
- Скорост на вятъра **Forc_WIND.txt** (m/s)
- Слънчева радиация **Forc_DIR_SW.txt** (W/m^2)
- Атмосферна радиация **Forc_SCA_SW.txt** (W/m^2)

Forc.... файловете включват в себе си редове от данни съответстващи на различни времеви стъпки. Тези редове съдържат стойностите на метеорологичните параметри за всяка клетка от водосборния басейн.

Освен горепосочните файлове моделът се нуждае и от още един конфигурационен файл с име **Params_config.txt**, който съдържа следната информация:

- броя на клетките
- броя на времевите стъпки по време на симулацията
- продължителност на времевата стъпка (секунди)
- година - задава се годината, в която започва симулацията
- месец – месецът, в който започва симулацията
- ден – дата, на която започва симулацията
- час – часът, в който започва
- географска дължина на всяка точка от разглежданата зона (десетични градуси)

- географска ширина на всяка точка от разглежданата зона (десетични градуси)
- надморска височина на всяка точка от разглежданата зона (м.)
- височина, в която е измерена температура на въздуха
- височина, в която е измерена силата на вятъра

○ Хидроложки данни

Хидроложките данни за речния отток са получени въз основа на информацията от хидрометричните станции, разположени по течението на р. Осъм.

Изчислителните експерименти по калибриране на модела са извършени с хидрометеорологични данни за периода 1.08.2012 – 1.09.2014 г.. За сравнение са използвани данни за речния отток от хидрометричната станция на река Осъм при с. Изгрев.

Този период е достатъчно дълъг и описва един цикъл (период на пълноводие и период на маловодие) и може с достатъчна надеждност да се определят стойностите на моделните параметри.

V.2. Калибриране на модела

Калибрирането е процес на адаптиране на моделните параметри на хидроложкия модел SURFEX - TOPODYN към водосборния басейн на река Осъм. Основната му цел е минимизиране на разликите между симулираните от модела и наблюдаваните водни количества.

Стойностите на различните видове параметри и опциите за избор на различни изчислителни схеми се съдържат в конфигурационния файл OPTIONS nam [26].

По – важните от хидроложка гледна точка параметри в съчетаната система SURFEX - TOPODYN са четири за параметризиращата схема ISBA и два за хидроложкия модел TOPODYN. Тези параметри са:

○ Параметри в ISBA

b - определя диференциалното разпределение на капацитета на почвата да инфилтрира вода (XUNIF_RUNOFFB във файла OPTIONS nam)

w_{drain} – характеризира подземния отток, който възниква дори когато $w_i < w_{fc}$ тоест, този параметър определя големината на постоянното подземно подхранване на реката (XUNIF_WDRAIN във файла OPTIONS nam)

f - параметър на чувствителност, характеризиращ бързината на затихване на хидравличната проводимост с увеличаване на дълбочината на почвата (XF_PARAM_BV във файла OPTIONS nam)

α – параметър, определящ до каква дълбочина спрямо кореновата система достига попиването в почвата (XC_DEPTH_RATIO_BV във файла OPTIONS nam)

○ Параметри в TOPODYN

V_r – скоростта на водата в реката (XSPEEDR във файла OPTIONS nam)

V_g – скоростта на водата в реката (XSPEEDG във файла OPTIONS nam)

Първата стъпка в процеса на калибриране е анализ на чувствителността на модела към отделните параметри. Тази техника служи за идентифициране влиянието на различни стойности на един параметър върху изчислените от модела водни количества.

V.2.1. Анализ на чувствителността

Първите параметри, които са анализирани, са параметърът на чувствителност – f и параметърът α - определящ до каква дълбочина спрямо кореновата система достига попиването в почвата. Те определят влажността на почвата и съответно влияят върху динамиката на повърхностния и подземния отток. Колкото годината е по - влажна (с повече валежи), толкова е и по-силно влиянието им при формирането на оттока. В сухите години динамиката на повърхностния и подземния отток зависи в по-голяма степен от водопропускливостта на земната повърхност.

Обобщена информация за въздействието на параметрите f и α върху моделираните водни количества са предствени в следващите таблици:

При $\alpha < 0$

Табл.5

Параметър	Максимален отток	Среден отток	Минимален отток
$\alpha \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
$f \nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$	$\searrow$

При $\alpha \geq 0$

Табл.6

Параметър	Максимален отток	Среден отток	Минимален отток
$\alpha \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$
$f \nearrow$	$\nearrow$	$\nearrow$	$\searrow$

○ Параметър b

Определя диференциалното разпределение на капацитета на почвата да инфилтрира вода.

В хидроложката литература най-популярните методи за определяне на подходяща стойност на b са свързани с топографията на водосборния басейн (Dümenil and Todini 1992) [27] или с интензитета на валежа и вида на почвата, но най-често стойността на b се определя чрез калибриране.

За определяне въздействието му върху повърхностния и подземния отток са използвани стойности от 0.20 – 5.00

Малките стойности на b отговарят на равна земна повърхност и пясъчливи почви.

Резултатите показват, че повишението на стойността на параметъра b води до повишение на повърхностния отток.

V.2.2. Оценка на получените резултати при хидроложкото моделиране

За количествената оценка на нивото на калибриране и точността на модела са използвани статистически методи: средно квадратична грешка, коефициентът на ефективност на Неш, и коефициентът на корелация.

V.2.3. Процес на калибриране

Стойностите на моделните параметри не е възможно да бъдат определени предварително чрез преки измервания макар че съответстват на реални физични величини. Поради този факт процесът на калибриране включва промяна стойностите на параметрите, докато се постигне най-добро съответствие между симулираните от модела и измерените водни количества.

Първоначално на параметрите b и w_{drain} са зададени константни стойности, съответно $b = 0.50$ и $w_{drain} = 0.001 \text{ m}^3/\text{m}^3$.

Стойностите на останалите параметри са приети в границите показани в Табл.7

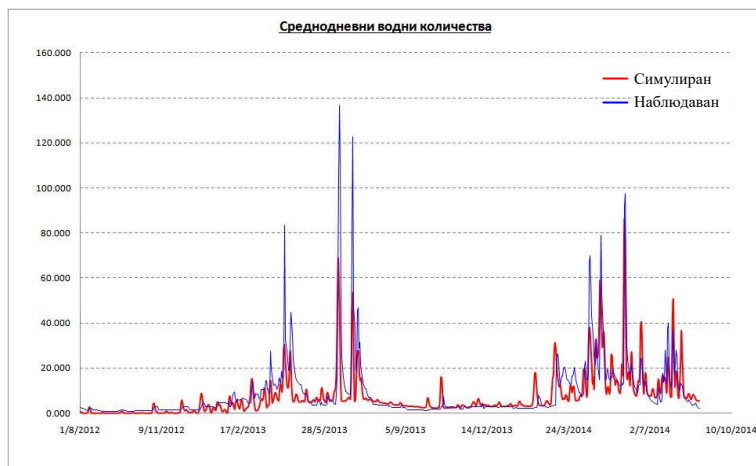
Табл.7

Параметър	Стойност	
	Минимум	Максимум
f	1.00	10.00
α	0.10	1.30
V_r	0.10	1.70
V_g	0.10	0.90

За целите на калибрирането е използван скрипт (скриптът е разработен в НИМХ - Плевен), позволяващ автоматично генериране на стойности на отделните параметри през определена стъпка в интервала посочен в Табл. 7, тяхното комбиниране, стартиране на модела и запис на резултатите.

С помощта на разработения скрипт са извършени 5741 бр. симулации. Най-добро съответствие между моделираните и измерени водни количества е постигнато със следните стойности на моделните параметри: $f = 4.00$, $\alpha = 0.50$, $V_r = 0.50$, $V_g = 0.02$

Най – добрите резултати от калибрирането са представени на графиката по-долу, представяща хидрографите от симулираните и измерените водни количества за хидрометричната станция, разположена при с.Изгрев.



Фиг.11 Хидрограф на наблюдаваните и моделираните водни количества

От графиката за река Осъм е видно, че симулираният отток в периода на ниски и средните води се доближава до измерените водни количества в хидрометричната станция при с. Изгрев. Максималните водни количества обаче са силно занижени.

Основните статистически параметри, получени при тази първа стъпка от процеса на калибриране, са представени в Табл.8

Табл. 8

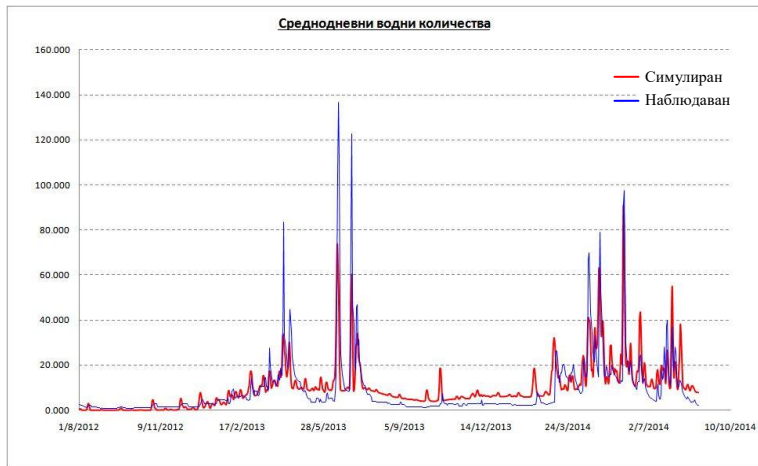
Станция №	Река	Населено място	Средно квадратична грешка	Нормализирана средно квадратична грешка		Коефициент на корелация	Коефициент на Неш
				I	II		
22800	Осъм	с.Изгрев	8.44	0.06	0.95	0.82	0.64

След определяне на оптималните стойности на горепосочените параметри процесът по калибриране на модела продължава с определяне подходяща стойност на параметърите b и w_{drain} , запазвайки стойностите на останалите параметри.

За параметър b са приети стойности в интервала 0.00 – 1.00 а за параметър w_{drain} в интервала 0.0005 – 0.01.

Определени са оптимални стойности $b = 0.80$ и $w_{\text{drain}} = 0.003$, които подобряват стойностите на статистическите параметри.

Резултатите след втората стъпка на калибриране са показани на графиката по-долу, представляваща хидрографите от симулираните и измерените водни количества за хидрометрична станция разположена при с.Изгрев.



Фиг.12 Хидрограф на наблюдаваните и моделираните водни количества

Табл.9 Статистически параметри, получени при втората стъпка от калибрирането на модела

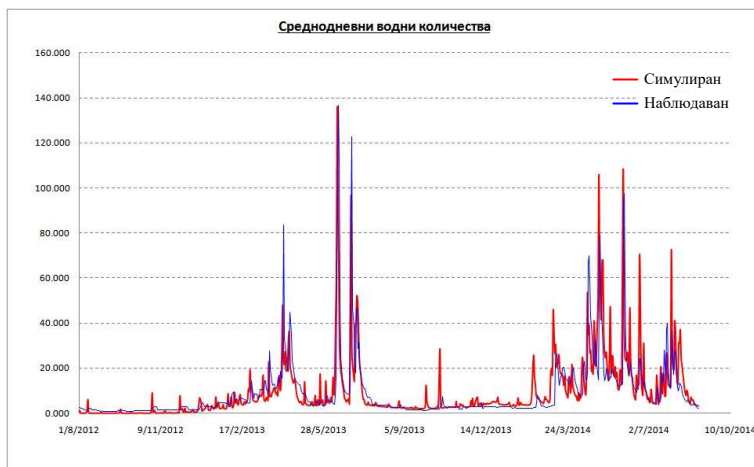
Станция №	Река	Населено място	Средно квадратична грешка	Нормализирана средно квадратична грешка		Коефициент на корелация	Коефициент на Неш
				I	II		
22800	Осъм	с.Изгрев	7.76	0.06	0.88	0.84	0.69

Въпреки подобрието на статистическите параметри, които са критерии за съответствие между наблюдаваните и симулираните водни количества, от графиката се вижда, че повишението на стойността на постоянното подземно подхранване води до увеличение на моделирания отток по време на маловодието.

При все че параметрите b и w_{drain} са увеличени, моделираните максимални водни количества остават силно занижени.

Най-добро съответствие на максималните измерени и симулирани водни количества е установено със стойности на моделните параметри съответно: $b = 0.80$ и $w_{drain} = 0.003$, $\alpha = 0.50$, $Vr = 1.50$, $Vg = 0.50$.

Макар че максималните водни количества са добре моделирани, при минималните водни количества се наблюдават много малки пикове, които са нереалистични. Това води до влошаване на статистическите параметри, които служат като мярка за съответствие:



Фиг.13 Хидрограф на наблюдаваните и моделираните водни количества

Табл.10

Станция №	Река	Населено място	Средно квадратична грешка	Нормализирана средно квадратична грешка		Коефициент на корелация	Коефициент на Неш
				I	II		
22800	Осъм	с.Изгрев	9.38	0.07	1.06	0.80	0.54

В.3. Валидиране на модела

Валидирането е процес на потвърждение правилната работа на модела с така приетите оптимални стойности на параметрите в процеса на калибриране.

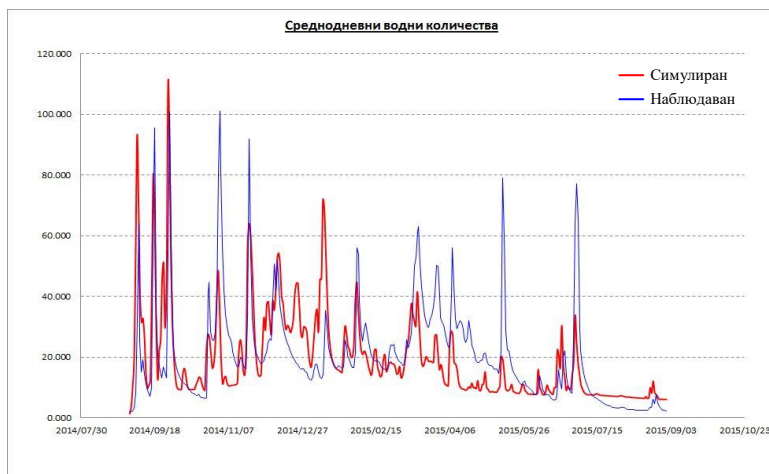
За калибриране на модела служат метеорологични входни данни за периода 1.09.2014 – 31.08.2015 г. За сравнение са използвани данни за речния отток от хидрометричната станция на река Осъм при с. Изгрев за същия период.

Избрани са стойности на моделните параметри, с които е получена най-добра стойност на коефициента на ефективност на Неш, а именно съответно: $b = 0.80$, $w_{drain} = 0.003$, $f = 4.00$, $\alpha = 0.50$, $V_r = 0.50$, $V_g = 0.02$.

Статистическите параметри на съответствие между моделираните и измерените водни количества в периода на валидиране са представени в Табл. 11

Табл.11

Станция №	Река	Населено място	Средно квадратична грешка	Нормализирана средно квадратична грешка		Коефициент на корелация	Коефициент на Неш
				I	II		
22800	Осъм	с.Изгрев	14.72	0.15	0.70	0.58	0.23



Фиг.14 Хидрограф на наблюдаваните и моделираните водни количества в периода на валидиране

Направен е опит за валидиране на модела със стойности на моделните параметри, с които най-добре се симулират максималните водни количества, но това не води до подобряване на статистическите параметри на съответствие между моделираните и измерените водни количества.

Въпреки влошаването на статистическите параметри на съответствие между наблюдавания и моделирания отток в периода на верификация резултатите може да

се считат за задоволителни и моделът да се използва за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на река Осъм.

V.4. Използване на модела за изготвяне на хидроложки прогнози

Обединената моделна система ISBA-TOPODYN от 1.09.2015 г. се употребява в експериментален режим за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на река Осъм.

Метеорологичната прогностична информация, която захранва системата, на практика е националната числена прогноза, произведена от моделната система ALADIN, която оперативно се прави два пъти на ден и се използва интензивно от НИМХ-БАН.

Моделът ALADIN е типичен модел за ограничена територия (Limited Area Model –LAM) и за да работи, получава граничните си условия от френския глобален метеорологичен модел ARPEGE. Областта на българската версия на ALADIN покрива значителна част от Балканския полуостров и Черно море.

Моделът произвежда стойности на около 20 метеорологични параметъра, включително и необходимите за нашата задача : твърда и течна фаза на валежите, температура и влажност на въздуха, скорост на вятъра, слънчева и атмосферна радиация, и атмосферно налягане.

Инициализация на модела се осъществява с помощта на постъпващата от метеорологичните станции диагностична информация.

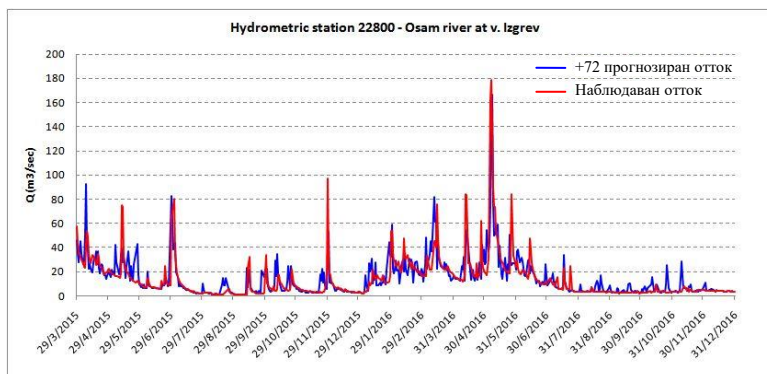
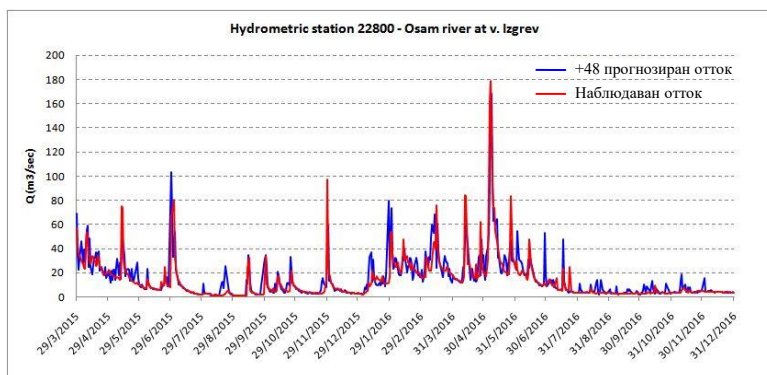
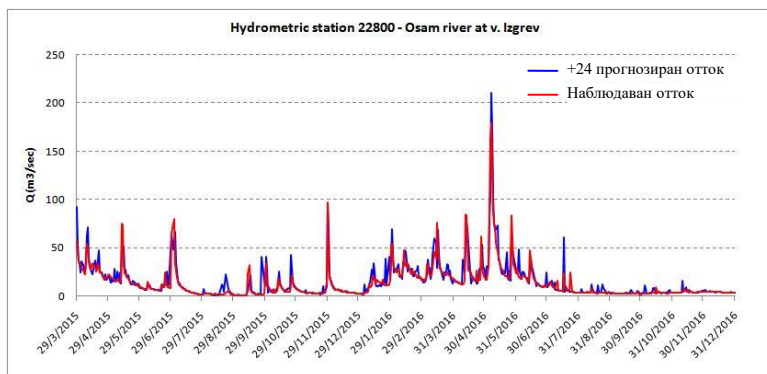
Специфична особеност на метеорологичните данни е, че те се събират в отделни станции. За да може да се ползва точково разположената информация, трябва да се трансформира в пространствена. Важно предимство е, че резултатът е във вид на растерен слой, където всяка клетка има конкретна стойност, а съвкупността им добре отразява континуалността на изследваното явление.

Пространствените полета от метеорологични данни за водосборния басейн на река Осъм се извличат от цялостната информация за територията на България. Това гарантира непрекъснатост при интерполацията на данните на границата на водосборните басейни.

При интерполацията се включват всички налични данни за количеството на валежа и температура на въздуха, измерени в класическите метеорологични станции, и данните от автоматичните станции.

Тъй като във водосбора на р. Осъм сензорите за измерване посоката и силата на вятъра са малко, а данни за слънчевата и атмосферна радиация липсват, те се заместват с моделираните полета данни от атмосферния модел ALADIN в този период.

На следващите фигури са представени хидрографите на прогнозираните и измерените водни количества в периода 18.05.2015 – 31.12.2016 год. в зависимост от срока на прогнозата



Фиг.15 Наблюдавани и прогнозирани водни количества в створа на р. Осъм при с. Изгрев

Табл. 12 Статистически параметри на прогнозираните водни количества

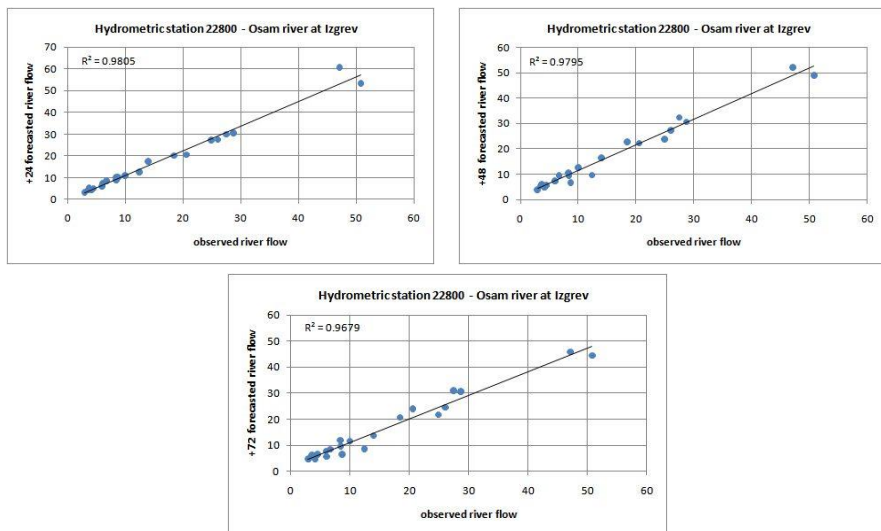
Река	Станция	Нас. място	Прогноза + 24 часа		Прогноза + 48 часа		Прогноза + 72 часа	
			NSE	BIAS	NSE	BIAS	NSE	BIAS
р. Осъм	ХМС 22800	с.Изгрев	0.82	9.96	0.55	9.03	0.45	3.69

В зависимост от получените стойности на NSE и BIAS Moriasi et al., 2015 въвеждат следните критерии за оценка точността на моделните данни:

- при $0.70 \leq NSE \leq 1$ и $|BIAS| < 10\%$ - данните са добри
- при $0.50 \leq NSE \leq 0.70$ и $10\% \leq |BIAS| \leq 15\%$ - данните са задоволителни
- при $NSE \leq 0.50$ и $|BIAS| \geq 15\%$ данните са лоши

Съгласно критериите за точност на модела според получените стойности на NSE и BIAS прогнозираните водни количества за период от +24 часа са добри, задоволителни за период от + 48 часа и лоши за период от +72 часа за хидрометричния створ на р.Осъм при с. Изгрев. Наблюдава се намаляване на точността на прогнозираните водни количества с увеличаване срока на прогнозата.

В допълнение за изследвания створ е изчислен и коефициентът на детерминация R^2 между наблюдаваните и прогнозираните средно месечни водни количества, който се изменя от 1 (добра връзка между променливите) до 0 (липса на връзка).



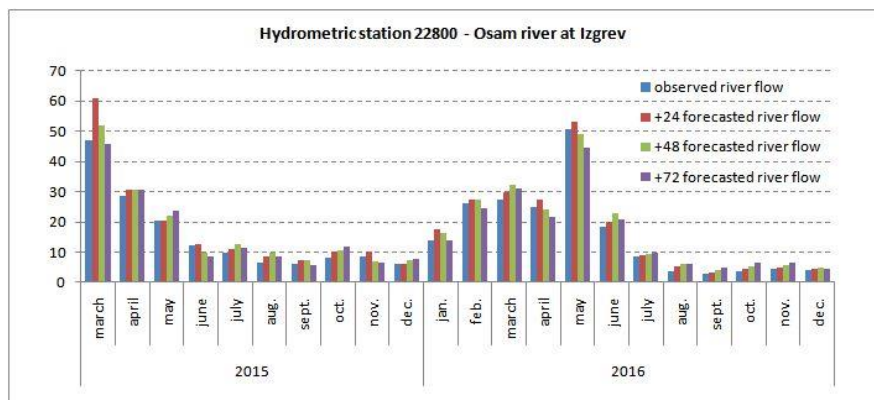
Фиг.16 Връзка между наблюдавани и прогнозирани средно месечни водни количества в створа на р. Осъм при с. Изгрев

Табл. 13 Коефициент на детерминация на прогнозираните водни количества

Река	Станция	Нас. място	Прогноза+ 24 часа	Прогноза+ 48 часа	Прогноза+ 72 часа
			R^2	R^2	R^2
р. Осъм	ХМС 22800	с.Изгрев	0.9805	0.9795	0.9679

Резултатите показват, че прогнозираният отток във водосборния басейн максимално се доближава до измерените водни количества в хидрометричната станция на р.Осъм при с.Изгрев.

За оценка работата на модела през отделните месеци е направено сравнение между средномесечните наблюдавани и прогнозирани водни количества.



Фиг.16 Наблюдавани и прогнозирани средно месечни водни количества в створа на р. Осъм при с. Изгрев

От получените статистически резултати и графики се вижда, че моделът представя хидрологичните процеси във водосборната област на р. Осъм напълно задоволително. Той може да бъде успешно използван за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на р.Осъм, както и за изготвяне на предупреждения за опасни явления.

Анализът показва, че точността на моделираните водни количества намалява с увеличаване срока на прогнозата, което се дължи до голяма степен и на върната метеорологична прогноза.

V.5. Изводи

1. От получените статистически резултати и графики се вижда, че моделът представя хидрологичните процеси във водосборната област на р. Осъм напълно задоволително.

2. Моделът може да бъде успешно използван за изготвяне на хидроложки прогнози в долното течение на р.Осъм, както и за изготвяне на предупреждения за опасни явления.

3. Анализът показва, че точността на моделираните водни количества намалява с увеличаване срокът на прогнозата, което се дължи до голяма степен и на вярната метеорологична прогноза.

Приноси

В резултат от разработения дисертационен труд са постигнати следните приноси:

1. Приноси с научно-фундаментален характер

- Разширени са проучванията във връзка с приложимостта на модела SURFEX-TOPODYN за условията на речния отток в България.
- Създаден е скрипт за автоматично генериране на стойности на отделните параметри, тяхното комбинирание, стартиране на модела и оценка на резултатите.
- Поставено е началото на развитието на прогностична система за водосборния басейн на р. Осъм

2. Приноси с научно-приложен характер

- Предложен е подходящ хидроложки модел за прогнозиране на речния отток в долното течение на р.Осъм.
- Калибриран и валидиран е избраният модел SURFEX-TOPODYN за речния басейн на р.Осъм
- Проведени са числени експерименти и оценка на качеството на моделираните данни за водния отток
- Демонстрирана е добрата работа на модела за изготвяне на краткосрочни прогнози в долното течение на р. Осъм
- Хидроложкият модел SURFEX-TOPODYN е приложен за прогнозиране на речния отток в долното течение и на реките Вит и Огоста. Резултатите от изследванията са публикувани в сборник на XXVII Международна конференция на Дунавските страни: „Хидроложко прогнозиране и хидроложки основи на управлението на водите“ [http: www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf](http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf)
- Изградена е уеб страница, на която ежедневно се публикуват прогнозите за оттока на р. Осъм при с. Изгрев, р.Огоста при с.Бутан и р.Вит при с.Търнене (<http://hydro-pleven.meteo.bg>)

Апробация на дисертационната работа

Основните резултати от направените изследвания, изложени в дисертацията, са докладвани и обсъждани на:

1. Приложение на схемата SURFEX в НИМХ: хидроложко моделиране, воден баланс, евапотранспирация, енергиен баланс (Ерам Артинян, Николай Недков, Михаил Манолов)
2. Parameterization of river speed within the SURFEX-TOP modelling platform: calibration and validation using a Bulgarian Mediterranean basin (Eram Artinyan, Beatrice Vincendon, Николай Недков, Георги Кошинчанов , Петко Царев)
3. Представяне на резултатите от използването на хидроложкия модел SURFEX-TOP за изготвяне на хидроложки прогнози във водосборните басейн на р. Вит и Осъм (Годишна научна конференция на румънския институт по хидрология и управление на водите)

4. Участие в Генералната Асамблея на Европейския съюз по геонауки EGU2016 с постер на тема: Parametrization of SURFEX – TOPMODEL river velocity based on instant discharge dependency (N.Nedkov, E. Artinyan, P.Tsarev) EGU2016-17878, 2016. EGU General Assembly 2016.
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2016/EGU2016-17878.pdf>

5. Европейски съюз по геонауки EGU2017: Eram Artinyan, Ekaterina Bachvarova, Nikolay Nedkov, Nadezhda Shopova, Petko Tsarev, 2017: Comparison of measured and modeled surface fluxes at two experimental sites in Bulgaria, Geophysical Research Abstracts Vol. 19, EGU2017-5020, 2017, EGU General Assembly 2017.
<http://meetingorganizer.copernicus.org/EGU2017/EGU2017-5020.pdf>

Публикации

Приложение на модела SURFEX – TOPODYN за изготвяне на хидроложки прогнози, е представено в следните публикации:

1. Николай Недков, 2017: „Моделиране на параметрите на речния отток във водосборните басейни на реките Вит и Осъм с помощта на модел SURFEX-TOPODYN“, дадена за печат в списание „Водно дело“, юли 2017 г, София
http://www.stuwa.org/files/magazine/3-4.17_s2.pdf

2. Nikolay Nedkov Modeling and forecasting of Osam and Vit river flow by SURFEX-TOPMODEL Proceedings of the Annual Scientific Conference 2014, 10-11 November, 2014, Bucharest, ISBN 978-973-0-18825-7 <http://danube-water.eu/wp-content/uploads/2015/07/Lista-articole-WATER.pdf>

3. Nikolay Nedkov, Eram Artinyan „Modelling and forecasting of the riverflow in lower course of Osam, Vit and Ogosta rivers“ на XXVII Международна конференция на Дунавските страни: „Хидроложко прогнозиране и хидроложки основи на управлението на водите“ http://www.danubeconference2017.org/images/e-book_full_texts_dc_2017.pdf

4. Eram Artinyan, Beatrice Vincendon, Kamelia Kroumova, Nikolai Nedkov, Petko Tsarev, Snezhanka Balabanova, Georgy Koshinchanov, 2016: Flood forecasting and alert system for Arda River basin, Journal of Hydrology 541 (2016) 457–470.
<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0022169416301044>

Използвана литература

[1] Рабочая книга по прогнозированию – М.Мысль, 1982 с.430

[2] Crawford, N.H. and R.K. Linsley, 1966. Digital simulation in hydrology. Stanford Watershed Model IV. Stanford, Dept of Civil Engineering, University of California, Technical Report No 39.

[3] Burnash, R.J.C., Ferral, R.L. and McGuire, R.A., 1973. A generalised streamflow simulation system – conceptual modelling for digital computers, US Department of Commerce, national Weather Service and State of California, Department of Water resources.

[4] Bergström, S., 1976. Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments. SMHI report, Nr. RHO 7.

[5] WMO, 1975. Intercomparison of conceptual models used in operational hydrological forecasting. Oper. Hydrol. Report 7, WMO No 429, Geneva.

[6] Singh, V.P., 1988. Hydrologic Systems. Volume 1: Rainfall-runoff modelling. Prentice Hall, New Jersey

- [7] Beven, K., Kirkby, M.J., (1979). A physically based, variable contributing area model of basin hydrology. *Hydrol. Sci. Bull.* 24, 43–69.
- [8] Pellarin, T., Delrieu, G., Saulnier, G.M., Andrieu, H., Vignal, B., Creutin, J.D., 2002. Hydrological visibility of weather radars operating in mountainous regions: case study for the Ardèche catchment, France. *J. Hydrometeorol.* 3 (5), 539–555
- [9] Pedro Viterbo. A review of parametrization schemes for land surface processes By ECMFW, Shinfield Park, Reading, England Meteorological Training Course Lecture Series ECMFF (<http://www.ecmwf.int>)
- [10] Habets, F., A. Boone, and J. Noilhan: Simulation of a Scandinavian basin using the diffusion transfer version of ISBA. 2003, *Glob. Plan. Change*, 38, 137-149.
- [11] Manabe, S.: The atmospheric circulation and the hydrology of the earth's surface, *Mon. Weather Rev.*, 97, 739–774, 1969.
- [12] Habets, F. et G. M. Saulnier (2001). Subgrid runoff parameterization. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B : Hydrology, Oceans and Atmosphere* 26(5-6), 455 – 459
- [13] Pellenq, J. (2002). Couplage de la modélisation hydrologique avec la modélisation des Transferts Sol-Végétation-Atmosphère Application à la spatialisation et l'assimilation des données du satellite SMOS. Ph. D. thesis, Université Paul Sabatier, Toulouse III
- [14] Beven, K. (2001). *Rainfall-runoff modelling : the primer*. John Wiley and Sons.
- [15] Noilhan, J. and S. Planton (1989). A simple parameterization of land surface processes for meteorological models. *Monthly Weather Review* 117(3), 536–549.
- [16] Douville, H., J. Royer, and J. Mahfouf, 1995 : A new snow parametrization for the Météo- France climate model. Part I : validation in stand-alone experiments. *Climate Dynamics*, 12, 21–35
- [17] Chen, J., and P. Kumar, 2001: Topographic influence on the seasonal and interannual variation of water and energy balance of basin in North America. *J. Climate*, 14, 1989–2014
- [18] Chancibault, K., F. Habets, V. Ducrocq, B. Vincendon, P. Lemoigne, G.-M. Saulnier, et S. Anquetin (2006). A hydrometeorological high-resolution coupled system for flashflood forecasting. Dans 2nd International Symposium on QPF and Hydrology, Boulder
- [19] Bouilloud, L., K. Chancibault, B. Vincendon, V. Ducrocq, F. Habets, G. Saulnier, S. Anquetin, E. Martin, et J. Noilhan (2010). Coupling the isba land surface model and the topmodel hydrological model for mediterranean flash-flood forecasting : Description, calibration, and validation. *Journal of Hydrometeorology* 11(2), 315–333.
- [20] Boone, A., J.-C. Calvet, et J. Noilhan (1999). Inclusion of a third soil layer in a land surface scheme using the force restore method. *Journal of Applied Meteorology* 38(11), 1611–1630
- [21] <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>
- [22] Faroux S., Kaptue Tchente A.T, Roujean J.L., Masson V., Martin E., Moigne P.Le., 2013 Ecoclimap II/Europe: a twofold database of ecosystems and surface parameters at 1km resolution based on satellite information for use in land surface meteorological and climate models. (<http://www.geosci-model-dev.net/6/563/2013/gmd-6-563-2013.html>)
- [23] Chen T.H. and co auteurs, 1997 Cabauw experimental results from the project for intercomparison of land-surface parameterization schemes. *J. Climate*, 10(7), 1194-1215
- [24] Koeppe C.E. and De Long G.C., 1958. *Weather and climate*, McGraw-Hill Book Company], [EC, 1995. Regionalization and Stratification of European Forest Ecosystems, Internal Special Publication of the Joint Research Centre of the European Commission. S.I.P.95.44, EC, SAI, EMAP, Italy, p.69.

- [25] FAO/IIASA/ISRIC/ISSCAS/JRC, 2012. Harmonized World Soil Database (version 1.2). FAO, Rome, Italy and IIASA, Laxenburg, Austria.
- [26] <http://www.cnrm.meteo.fr/surfex-lab/IMG/pdf/surf-v7-3.pdf>
- [27] Dümenil, L. and E. Todini, 1992 : A rainfall-runoff scheme for use in the Hamburg climate model. Advances in Theoretical hydrology, A tribute to James Dooge, J.P.O. Kane , ED. European Geophysical Society Series on Hydrological Sciences, 1, 129–157