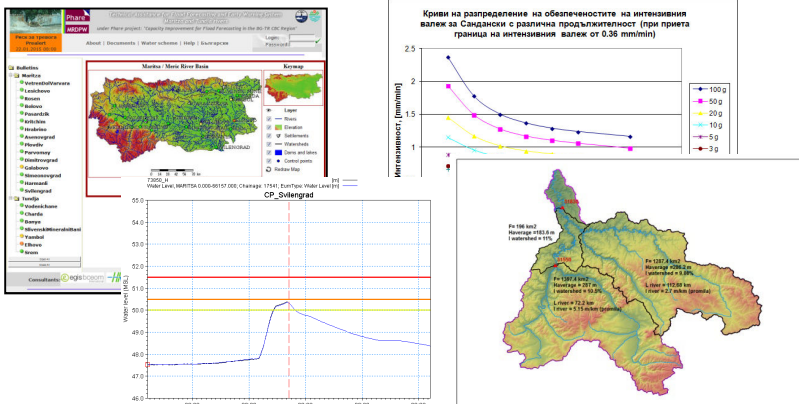


НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ
БЪЛГАРСКА АКАДЕМИЯ НА НАУКИТЕ

ас. инж. Георги Георгиев Кошинчанов

**ХИДРОЛОЖКО И ХИДРАВЛИЧНО МОДЕЛИРАНЕ НА ИЗБРАНИ
ПОРЕЧИЯ ЗА НУЖДИТЕ НА ИЗГРАЖДАНЕ НА СИСТЕМИ ЗА
РАННО ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ОТ НАВОДНЕНИЯ**



А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

на дисертация

За присъждане на образователна и научна степен “Доктор”
в област на висше образование 5. Технически науки,
професионално направление 5.7. Архитектура, строителство и геодезия (инженерна
хидрология, хидравлика и водно стопанство)

Научен ръководител: Проф. д-р инж. Николай П. Лисев
УАСГ, Хидротехнически факултет, катедра "Хидравлика и Хидрология"

София, 2016 г.

Дисертационният труд е с обем 146 стр., съдържа 22 таблици, 101 фигури и 27 уравнения и се състои от 4 глави. Използваната литература включва 108 заглавия, от които 21 на кирилица и 87 на латиница.

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на заседание на разширен научен семинар на департамент "Прогнози и информационно обслужване", проведен на 18.11.2016 г., съгласно заповед РДО9-251/14.11.2016 г. на директора на НИМХ-БАН.

Състав на научното жури:

проф. д-р Пламен Нинов

доц. д-р Снежанка Балабанова

проф. д-р Богдан Казаков - УАСГ

проф. д-р Николай Лисев - УАСГ

доц. д-р Мартина Печинова - УАСГ

Резервни членове:

проф. д-р Цвятка Карагъзова

доц. д-р Венцислав Божков - УАСГ

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 21.03.2017 г. в 14:00 часа в Учебния център на НИМХ-БАН, гр. София

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

Номерата на фигурите, таблиците и формулите в автореферата съответстват на тези в дисертационния труд.

СЪДЪРЖАНИЕ

| | |
|--|----|
| СЪДЪРЖАНИЕ | ii |
| Увод | 1 |
| I Преглед на световния опит в областта на моделирането и системите за ранно предупреждение..... | 3 |
| I.1. Класификация на хидроложките модели | 3 |
| I.2. Системи за ранно предупреждение за наводнения. Общи принципи. Глобални и национални системи за ранно предупреждение..... | 3 |
| I.3. Изводи..... | 7 |
| II Валежът като основен оттокообразуващ фактор | 7 |
| II.1. Характеристики на интензивен валеж за нуждите на създаване на система за ранно предупреждение | 7 |
| II.2. Анализ на данни за валежи, изчислени с помощта на дистанционни методи (сателити) върху пилотен водосбор | 11 |
| II.3. Изводи..... | 15 |
| II.4. Заключение и препоръки..... | 16 |
| III Хидроложко моделиране | 16 |
| III.1. Описание на NAM модела | 16 |
| III.2. Описание на изследвания водосбор | 18 |
| III.3. Създаване на модел валеж-отток за водосбора на река Русенски Лом | 20 |
| III.4. Калибриране на модела за водосбора на река Черни Лом до хидрометрична станция 31550 (село Широково)..... | 21 |
| III.5. Резултати от калибрирането на модела за водосбора на река Черни Лом | 23 |
| III.6. Анализ на чувствителността на параметрите | 24 |
| III.7. Приложение на хидроложкото моделиране в системата за ранно предупреждение от наводнения за басейна на река Марица и река Тунджа | 26 |
| III.8. Хидроложко моделиране на избран пилотен водосбор с валежи, изчислени с използване на сателитна информация | 28 |
| III.9. Създаване на система за прогнозиране на отток и нива на предупреждение за водосбора на река Русенски Лом..... | 35 |
| III.10.Изводи..... | 38 |
| IV Приложение на хидравлично моделиране в системите за ранно предупреждение | 39 |
| IV.1. Кратка характеристика на 1D и 2D хидравлични модели | 39 |
| IV.2. Преглед на някои от използваните хидравлични модели..... | 40 |
| IV.3. Хидравлично моделиране | 40 |
| IV.4. Създаване на хидравличен модел..... | 42 |
| IV.5. Процес на калибриране и валидиране на хидравличния модел | 42 |
| IV.6. Резултати | 45 |
| IV.7. Влияние на хидравличните характеристики и речните легла при хидравличното моделиране..... | 45 |
| IV.8. Изводи..... | 46 |
| Приноси в дисертацията..... | 46 |
| Списък на публикации свързани с дисертационния труд: | 47 |
| БЛАГОДАРНОСТИ | |

Увод

Наводненията са едни от най-разрушителните природни бедствия [13]. В последните десетилетия в света и в България стават все повече наводнения, много от които имат катастрофални последици за населението и икономиката. Примерите за такива наводнения са много, като по-значими за последните години са:

1. Наводнението в голяма част от територията на България в периода 5-9 август 2005 г.;
2. Наводнението в град Цар Калоян - 6 август 2007 г.;
3. Наводнението в квартал Аспарухово на град Варна 19 юни 2014 г.;
4. Наводнението в град Мизия на 3 август 2014 г.;
5. Наводненията в Южна България в периода 5-7 септември 2014 г. - град Бургас и южното черноморие, във водосбора на река Марица след вливането на река Сазлийка, както и по протежението на самата река Сазлийка.

Област на приложение

Дисертацията е адресирана към хидроложко моделиране и прогнозиране на речния отток. Развитието на хидроложкото прогнозиране и предупредителните системи са важен елемент в националната и регионална стратегии. Устойчивото икономическо и социално развитие изисква все повече усилия да се вложат в прогнозирането на наводнения и изграждане на предупредителни системи, за да се избегне риска от наводнения. Обединяването на наблюдения (метеорологични и хидрологични), моделиране и оперативното управление от добре обучени специалисти е важно за конструирането на една система за ранно предупреждение за наводнения. Прогнозирането и изграждането на предупредителни системи изисква оптимално съчетание на входни данни, прогностични модели и добре обучени специалисти.

Основна цел и задачи на дисертационния труд

Основната цел на настоящия дисертационен труд е да изследва един от основните инструменти, използвани в моделирането на максимални водни количества – хидроложки и хидравлични модели – и да даде научно обосновани препоръки за тяхното практическо приложение в хидроложкото прогнозиране при българските условия.

За постигане на основната цел са поставени няколко задачи:

- да бъде направен задълбочен анализ на информацията и процесите, които са в основата на хидроложкото моделиране и прогнозиране на оттока;
- при хидроложкото моделиране да бъдат използвани най-съвременните научни методи и модели в създаването на прогностичен хидроложки модел;
- да бъде създаден хидроложки модел за симулиране на процеса валеж - отток, с което да бъде подобрена работата на секция "Хидрологични прогнози" в областта на хидроложкото прогнозиране и издаването на предупреждения при екстремни явления;
- да бъдат определени прагови стойности, които да бъдат комбинация от морфологичните условия на речното корито и водното количество, спрямо които да се дефинират и различните степени за предупреждение на населението и институции като МОСВ и "Гражданска защита";
- подобряване квалификацията на автора ѝ и изстраване като специалист в областта на хидроложкото прогнозиране;

- изследване на интензивните валежи, като един от основните оттоко-образуващи фактори и причина за появата на дъждовни и поройни наводнения. Ще бъде направен анализ на интензивните валежи и ще бъдат разгледани техните характеристики като честота и др. и тенденциите на изменението им през последните десетилетия;

- ще бъде представен пример за хидравлично моделиране с еднодименсионален модел в участъка на река Марица между градовете Пловдив и Първомай, калибриране на модела за високата вълна преминала в участъка през август 2005 г. и валидирането му с високата вълна през март 2006 г. с използване на заливаеми тераси и свързващи канали.

Средства, с които ще бъдат постигнати целите:

Научни средства:

- изучаване на добрите практики в областта на моделирането на оттока;

- ще бъде използвано know-how на НИМХ-БАН в областта на хидроложкото моделиране и хидропрогнозите.

Техническа обезпеченост и средства:

- използване на хидроложка и метеорологична информация от НИМХ-БАН;

- НИМХ-БАН като официална хидрометеорологична служба на Република България има достъп до разнообразни регионални и глобални метеорологични модели, чиято изходна информация се използва като вход за хидроложкото моделиране. За целите на дисертационния труд ще бъдат ползвани данни от един регионален модел - ALADIN-BG и глобалния модел на Европейския център за средносрочни прогнози базиран в Рединг (Англия) (ECMWF);

- софтуер MIKE11 на DHI за моделиране на процесите валеж-отток (NAM модул) и 1D хидравличен модел (HD модул);

- GIS софтуер - ArcGIS на ESRI;

- софтуер за статистическа обработка на данни - EasyFit на mathwave.

Актуалност на тематиката

Според голяма част от климатичните сценарии за в бъдеще се прогнозира увеличаване на честотата и интензивността на валежите, което е предпоставка за често възникване на наводнения. С оглед на това актуалността се състои в необходимостта от развитие на съвременни средства за анализи и модели за прогнозиране на опасността от наводнение, с цел ефективно планиране и провеждане на дейности за защита на населението.

I Преглед на световния опит в областта на моделирането и системите за ранно предупреждение

I.1. Класификация на хидроложките модели

Хидроложките модели, които се използват за прогнозиране могат да бъдат разделени по няколко класификации.

Една от класификациите е на база схема на получаване на крайния резултат:

Емпиричните модели (тип "черна кутия") използват математически уравнения без връзка с физическите процеси на системата. Те трябва да се използват само след като се познаят добре процесите и условията на моделираната област.

Към тези модели могат да бъдат причислени: невронните мрежи, Curve Number.

Концептуалните модели използват хидроложки подход за симулиране на поведението на даден басейн чрез параметри, всеки от които представлява физически процес или връзка.

Към тези модели могат да бъдат причислени: NAM модулът на MIKE11, HBV, SACRAMENTO.

Физически модели - те симулират хидроложките процеси чрез физични уравнения като тези на кинематичната или дифузивната вълна.

Към тези модели могат да бъдат причислени: HEC-HMS, SWAT, LISFLOOD, ISBA-MODCUE, TOPKAPI, SOBEK-RR.

Друга класификация на хидроложките модели може да бъде на база разпределение на параметрите:

модели със съсредоточени параметри - при тях водосбора се третира като едно цяло и всеки използван параметър има една стойност за целия водосбор. За малки водосбори този тип модели са много полезни, защото имат проста структура и могат лесно да се променят техните параметри или променливи. Към този вид модели могат да се причислят и моделите с полуразпределени параметри - при тях водосбора се разделя на "N" броя подводосбори на база общи признаци и за всеки подводосбор входните и изчислителни параметри имат една стойност.

Към тях принадлежат NAM модула на MIKE11, SACRAMENTO, HBV, SWAT, HEC-HMS, SOBEK-RR.

модели с разпределени параметри - водосборът се разделя на клетки (grid) и параметрите се изчисляват във всяка клетка (grid). Предимството на разпределените модели е, че те могат да вземат в предвид пространствената изменчивост на физическите характеристики на басейна и входната информация.

Към тях принадлежат: LISFLOOD, TOPKAPI, ISBA-MODCUE.

I.2. Системи за ранно предупреждение за наводнения. Общи принципи. Глобални и национални системи за ранно предупреждение

Система за ранно предупреждение за наводнение е интегрирана система от инструменти за прогнозиране и планове за действия при екстремни явления. Наличието ѝ е предпоставка за успешно намаляване на щетите от наводнения. Основните цели на системата за ранно предупреждение са:

- да прогнозира и проследява в развитие неблагоприятни хидрометеорологични явления и да издава предупреждения за отговорните институции и населението;
- предупрежденията да се издават с достатъчна предварителност, надеждност и да са разбираеми за институциите и обществото.

I.2.1. Общи принципи

Една система за ранно предупреждение трябва да съдържа следните елементи [46]:

- *атмосферни прогностични модели*, чиято цел е предоставяне на числени стойности за валежи, температури и други метеорологични елементи. Точната и надеждна информация от тези модели е от изключителна важност;

- *мрежа от конвенционални и автоматични станции* за измерване на метеорологични елементи (валеж, температура, вятър и др.) хидроложки елементи (речно ниво, водно количество, температура на водата и др.), които са част от моделиращите платформи;

- *система за предаване на данни и предупреждения по телеметричен път*. Важно е да има система за автоматично предаване на данни от телеметричните станции до събирателния център, където те постъпват за по-нататъшна обработка и работа с тях;

- *при необходимост да има и модул (система)*, който да следи за данните от различните източници и да ги верифицира и когато е нужно, да извършва калибриране на използваните датчици;

- *комбинация от хидроложки и хидравлични модели* за прогнозиране на речен отток и водни нива в наблюдателната мрежа на страната и на други критични места. Прогнозирането на оттока/нивото като стойност не е достатъчно. За да се прецени дали и доколко тази стойност е опасна тя трябва да се сравни с предварително определени прагове (нива на предупреждения), които да са съобразени с локалните особености на съответните места;

- *асимилационна процедура*, която да преизчислява прогнозираните водни количества и водни нива надолу по течението на база реално измерени такива в по-горните части на водосбора;

- *система за разгласяване*. Навременното предупреждение за наводнение може да спаси човешки живот, инфраструктура, селскостопанските продукции, движимо и недвижимо имущество и значително да намали щетите.

I.2.2. Необходими данни

Данните, нужни за функционирането на системите за ранно предупреждение от наводнения, са основно три вида: хидроложки (фиг. I.1 и I.2) и метеорологични данни (фиг. I.4 и фиг. I.5), както и топографски данни.



Фиг. I.1 Хидрометрична станция оборудвана с рейка



Фиг. I.2 Радарен датчик за ниво



Фиг. I.4 Датчик тип "кобилица"

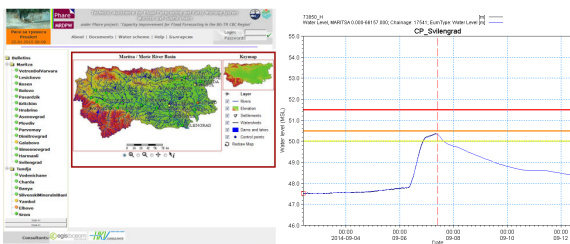


Фиг. I.5 Автоматична метеорологична станция за интензивност на валежа състояща се от тегловен датчик за валеж, датчик за температура и относителна влажност на въздуха, датчик за слънчева радиация

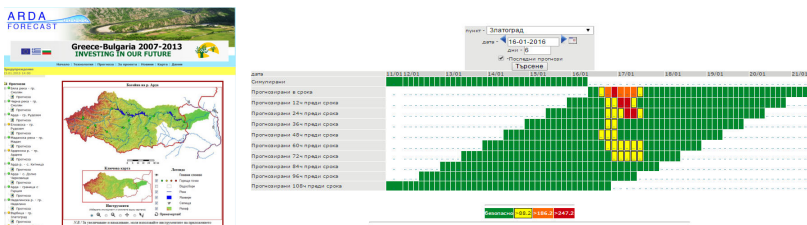
1.2.3. Определяне (дефиниране) на прагове за предупреждения

Предупрежденията за наводнения се основават на преминаването на предварително зададени прагове на речно ниво или количество валеж за определено време.

Друг принцип, който се използва при определянето на праговете за предупреждение е статистически определени водни количества с определена обезпеченост, като за критичния праг най-често се използва обезпеченост между веднъж на 20 години [50, 51] и веднъж 100 години [49]. За най-ниския праг се използва водно количество, протичащо през дадения створ с обезпеченост веднъж на 2 години [49] фигури I.8 и I.9.



Фиг. I.8 Общ вид на системата за ранно предупреждение по р. Марица и р. Тунджа в България [51] и прагове за предупреждение за Свиленград за 07.09.2014 г.



Фиг. I.9 Общ вид на системата за ранно предупреждение по р. Арда в България [49] и прагове за предупреждение за гр. Златоград за 17.01.2016 г.

1.2.4. Примери за глобални и национални системи за ранно предупреждение

1.2.4.1. Глобални системи за ранно предупреждение от наводнения

- **EFAS (European Flood Awareness System)** - това е система за предупреждение от наводнения в Европа [50].

- **GloFAS (Global Flood Awareness System)** - Глобална система за прогнозиране на наводнения [100].

- **Global Flood Detection System (GFDS)** - Глобална система за мониторинг и локализиране на наводнения [89].

- **Meteoalarm** - представлява система за предупреждение за опасни и особено опасни явления, която е интегрирана под формата на уебстраница [91] под егидата на EUMETNET.

- **Global Flood Monitoring System (GFMS)** - Глобална система за прогнозиране на наводнения [92].

1.2.4.2. Национални системи за ранно предупреждение от наводнения

Разгледани са системите за ранно предупреждение във Великобритания, САЩ, Австралия, Бангладеш, Мозамбик.

I.3. Изводи

От направения преглед на моделите и системите за ранно предупреждение могат да бъдат направени следните изводи:

- важно е да се подбере подходящият тип система за ранно предупреждение според поставените цели и задачи;
- направеният преглед на системите за предупреждение показва необходимостта от интегрирана система за мониторинг, модели и прогнози, която да предоставя информация за вземане на решение за ранно предупреждаване в случаите на наводнение. Ранното предупреждение е изключително важно за защитата на населението и критичната инфраструктура.

II Валежът като основен оттокообразуващ фактор

Валежът е един от най-важните оттокообразуващи фактори.

В тази глава са разгледани основно два вида валежи, които се използват като вход в моделите за хидроложко прогнозиране при системите за ранно предупреждение:

- интензивни валежи и техните характеристики;
- продукти за валеж, получени чрез използване на дистанционни методи (сателити).

II.1. Характеристики на интензивен валеж за нуждите на създаване на система за ранно предупреждение

Интензивните валежи са сред най-опасните метеорологични явления за обществото и икономиката на страната. Те често причиняват наводнения, вследствие на което има значителни щети и нерядко - загуба на човешки живот. Повечето сценарии за изменението на климата през следващите 100 години показват намаляване на валежите на годишна база и показват тенденция за увеличаване на честотата [72, 73, 74] на интензивните валежи, което е предпоставка за поява на поройни и дъждовни наводнения.

II.1.1. Дефиниция на интензивен валеж

Най-често се дефинира чрез долен праг за даден период от време. За България е прието този праг да е 0.18 mm/min, независимо от продължителността на валежа [67]. Основните характеристики на интензивните валежи са - продължителност и интензитет.

II.1.2. Налична информация и първична обработка на данните

От работата на докторанта по различни проекти, като проекта по линия на PHARE-CBC "Система за ранно предупреждение по река Струма", се разполага с данни за интензивни валежи от базата данни на НИМХ-БАН от 7 станции: 5 от тях са във водосбора на река Струма – Перник, Кюстендил, Дупница, Благоевград и Сандански - при тях данните са за периода от откриване на станциите до 1998 г. и 2 в Северна България - Търговище от 1960 до 2006 г. и Велико Търново с данни от 1954 до 2006 г.

II.1.3. Методи на анализ на наличната информация

Наличната информация е анализирана чрез използване на следните методи:

- метод на максималната интензивност, използван от НИМХ за първична обработка на данните от пльвиографа, последван от построяване на емпирична крива на обезпеченост за всички интервали и избиране на теоретичен закон за разпределение и построяване на кривите на обезпеченост;

- метод подобен на първия, но при приета граница за интензивен валеж от 0.36 mm/min;

- метод на обобщени характеристики за цели територии, разработен от руския хидролог Г. А. Алексиев и адаптиран за нашата страна от проф. Стр. Герасимов (редукционни криви);

- метод на максималните стойности на интензивности по години и продължителност – построяване на емпирична крива на обезпеченост, последван от избор на теоретичен закон на разпределение и построяване на кривите на обезпеченост за съответната продължителност;

- метод, който взема предвид само интензивните валежи (ако има такива) в деня с годишен 24 часов максимум.

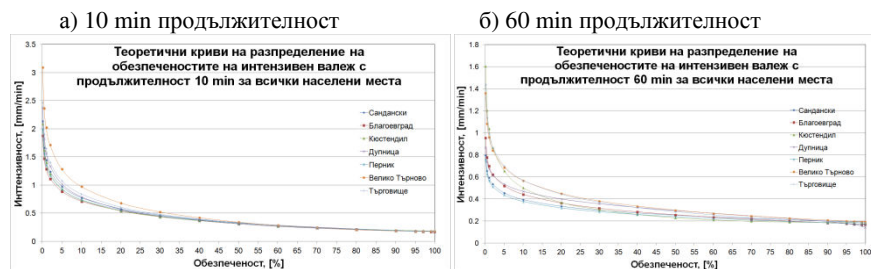
Първите три метода са разработени за всички станции, четвъртият е разработен за Велико Търново и Търговище и петият - само за Велико Търново.

II.1.4. Избор на теоретичен закон на разпределение

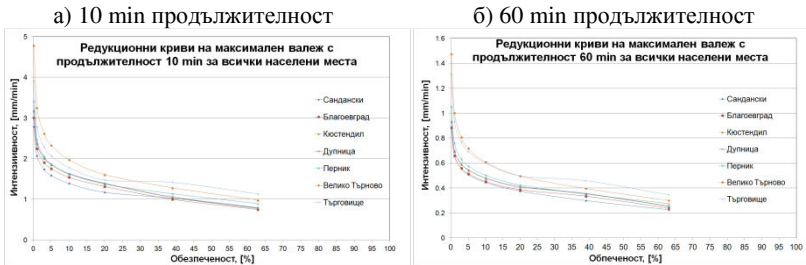
За целта са направени анализи с Pearson III, полиномна регресия от втора степен и логнормално разпределение от вида $ALOG(Y-COR)=ALN*X+BLN$ с оптимизация на параметрите ALN и BLN. Като най-подходящ за описване на емпиричните криви на разпределение на вариационните редове на всички станции и методи е избран теоретичен закон на разпределение Pearson III, който е широко използван в практиката на НИМХ, заради голямата му гъвкавост, дължаща се на трите параметъра.

II.1.5. Резултати

На фигура II.8 и II.9 са показани теоретичните разпределения по стандартния метод и метода на редукционните криви за всички населени места.



Фиг. II.8 Теоретични криви на разпределение на интензивните валежи по стандартния метод за всички населени места



Фиг. П.9 Редукционни криви на разпределение на максимален валеж за всички населени места

От фигури П.8 и П.9 се вижда, че и за двете показани продължителности, при всички обезпечености, интензитетът на валежа в станциите в Северна България е по-голям в сравнение със станциите във водосбора на река Струма.

В следващите 4 таблици, публикувани в [67], информацията е допълнена с данни до 1998 (2006) години и са анализирани различните периоди.

Табл. П.3 Честота на дъждовете с различно времетраене, независимо от интензитета в проценти от общия им брой

| Времетраене, [min] | Сандански | | Благоевград | | Дупница | | Кюстендил | | Перник | | Велико Търново | | Търговище | |
|-----------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1997 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 2006 | до 1976 | до 2006 |
| 5 | 32.8 | 34.17 | 32.8 | 33.61 | 31.0 | 32.18 | 34.5 | 36.08 | 35.6 | 36.78 | 33.2 | 31.89 | 32.4 | 30.10 |
| 10 | 22.4 | 21.61 | 21.5 | 21.58 | 22.4 | 21.18 | 23.3 | 22.56 | 22.3 | 22.41 | 22.6 | 19.79 | 22.3 | 20.54 |
| 15 | 14.8 | 14.50 | 15.0 | 14.60 | 16.8 | 14.98 | 15.0 | 14.72 | 15.0 | 14.61 | 15.3 | 14.56 | 13.8 | 14.09 |
| 20 | 11.2 | 10.54 | 10.0 | 10.32 | 10.9 | 10.69 | 10.0 | 9.64 | 9.9 | 9.64 | 11.0 | 10.81 | 10.0 | 10.73 |
| 25 | 7.3 | 7.92 | 7.0 | 7.43 | 7.2 | 7.44 | 6.3 | 6.51 | 6.5 | 6.65 | 7.4 | 7.89 | 7.5 | 8.27 |
| 30 | 5.7 | 5.84 | 5.0 | 5.09 | 5.0 | 5.52 | 4.6 | 4.87 | 4.5 | 4.77 | 5.1 | 5.65 | 5.3 | 6.01 |
| 40 | 2.9 | 2.97 | 3.9 | 3.50 | 2.8 | 3.56 | 3.2 | 2.81 | 3.0 | 2.85 | 2.8 | 3.65 | 4.1 | 4.23 |
| 50 | 1.6 | 1.41 | 2.3 | 1.88 | 2.1 | 2.18 | 1.6 | 1.55 | 1.6 | 1.32 | 1.4 | 2.49 | 2.4 | 2.68 |
| 60 | 0.8 | 0.74 | 1.4 | 1.23 | 1.4 | 1.38 | 1.0 | 0.92 | 1.1 | 0.77 | 0.8 | 1.68 | 1.4 | 1.85 |
| >60 | 0.5 | 0.28 | 1.2 | 0.75 | 0.4 | 0.89 | 0.6 | 0.35 | 0.4 | 0.21 | 0.3 | 1.58 | 0.7 | 1.51 |

Сравнявайки периодите от откриване на станциите до 1976 г. и от откриване на станциите до настоящия момент се вижда, че процентно честотата на дъждовете с малки времетраения (5 и 10 min) като цяло се увеличава или остава почти без промяна за станциите в басейна на река Струма за сметка на намаляване на дъждовете с по-голямо времетраене (главно повече от 50 min) (табл. П.3). Почти без промяна остава относителният дял на дъждовете със средни продължителности. За разлика от тях точно обратната тенденция се наблюдава в другите две станции (намиращи се в Северна България): честота на дъждовете с малки продължителности е намалял за сметка на дъждовете със средна и голяма продължителност.

Интересен е фактът, че въпреки намаляването на относителния дял на дъждовете със средна продължителност за басейна на река Струма като абсолютна бройка, случаите на интензивни валежи с малки и средни продължителности се е увеличил (табл. П.4). Имаме незначително намаляване на случаите на интензивни валежи с времетраене над 60 min. За станциите от Северна България може да бъде казано следното – при Велико Търново се наблюдава намаляване на броя валежи за 1 година до 25 min. С увеличаване на времетраенето се наблюдава повишаване на броя

на валежите. За Търговище се наблюдава увеличаване на броя на валежите за всички продължителности.

Табл. П.4 Брой в 1 година на дъждовете с различно времетраене независимо от интензитета им

| Времетраене [min] | Сандански | | Благоевград | | Дупница | | Кюстендил | | Перник | | Велико Търново | | Търговище | |
|----------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1997 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 2006 | до 1976 | до 2006 |
| 5 | 15.75 | 19.32 | 15.39 | 20.72 | 23.12 | 29.45 | 16.68 | 22.84 | 22.42 | 25.78 | 21.71 | 19.34 | 20.88 | 26.32 |
| 10 | 10.75 | 12.22 | 10.07 | 13.30 | 16.69 | 19.39 | 11.29 | 14.28 | 14.05 | 15.71 | 14.74 | 12.00 | 14.41 | 17.96 |
| 15 | 7.12 | 8.20 | 7.04 | 9.00 | 12.50 | 13.71 | 7.25 | 9.32 | 9.47 | 10.24 | 10.00 | 8.83 | 8.94 | 12.32 |
| 20 | 5.38 | 5.96 | 4.68 | 6.36 | 8.12 | 9.79 | 4.82 | 6.10 | 6.21 | 6.76 | 7.23 | 6.55 | 6.47 | 9.38 |
| 25 | 3.50 | 4.48 | 3.29 | 4.58 | 5.38 | 6.82 | 3.04 | 4.12 | 4.10 | 4.66 | 4.87 | 4.79 | 4.82 | 7.23 |
| 30 | 2.75 | 3.30 | 2.32 | 3.14 | 3.75 | 5.05 | 2.21 | 3.08 | 2.84 | 3.34 | 3.32 | 3.43 | 3.41 | 5.26 |
| 40 | 1.38 | 1.68 | 1.82 | 2.16 | 2.06 | 3.26 | 1.57 | 1.78 | 1.89 | 2.00 | 1.84 | 2.21 | 2.65 | 3.70 |
| 50 | 0.75 | 0.80 | 1.07 | 1.16 | 1.56 | 2.00 | 0.75 | 0.98 | 1.00 | 0.93 | 0.90 | 1.51 | 1.53 | 2.34 |
| 60 | 0.38 | 0.42 | 0.64 | 0.76 | 1.06 | 1.26 | 0.46 | 0.58 | 0.68 | 0.54 | 0.52 | 1.02 | 0.94 | 1.62 |
| >60 | 0.25 | 0.16 | 0.57 | 0.46 | 0.31 | 0.82 | 0.29 | 0.22 | 0.26 | 0.15 | 0.23 | 0.96 | 0.47 | 1.32 |

От табл. П.5 е видно, че средната интензивност на валежите с малки и средни продължителности намалява сравнявайки двата периода – от откриване на станциите до 1976 година и до 1998/2006 година. Увеличава се интензитетът само на валежите с най-големи времетраения. Само за Велико Търново имаме увеличаване на интензитета за всички продължителности след десетата минута на валежа.

Табл. П.5 Среден интензитет [mm/min] на дъждовете с различно времетраене

| Времетраене [min] | Сандански | | Благоевград | | Дупница | | Кюстендил | | Перник | | Велико Търново | | Търговище | |
|----------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1997 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 2006 | до 1976 | до 2006 |
| 5 | 0.497 | 0.433 | 0.465 | 0.422 | 0.471 | 0.442 | 0.504 | 0.437 | 0.487 | 0.431 | 0.516 | 0.485 | 0.485 | 0.455 |
| 10 | 0.445 | 0.420 | 0.427 | 0.399 | 0.429 | 0.424 | 0.426 | 0.402 | 0.440 | 0.410 | 0.446 | 0.486 | 0.470 | 0.435 |
| 15 | 0.419 | 0.398 | 0.392 | 0.382 | 0.405 | 0.411 | 0.409 | 0.378 | 0.404 | 0.387 | 0.438 | 0.458 | 0.486 | 0.432 |
| 20 | 0.397 | 0.371 | 0.368 | 0.358 | 0.386 | 0.394 | 0.399 | 0.370 | 0.382 | 0.365 | 0.410 | 0.429 | 0.479 | 0.415 |
| 25 | 0.387 | 0.346 | 0.357 | 0.343 | 0.379 | 0.382 | 0.413 | 0.368 | 0.373 | 0.346 | 0.375 | 0.425 | 0.465 | 0.397 |
| 30 | 0.339 | 0.317 | 0.348 | 0.334 | 0.371 | 0.374 | 0.397 | 0.346 | 0.360 | 0.334 | 0.367 | 0.417 | 0.467 | 0.393 |
| 40 | 0.345 | 0.313 | 0.311 | 0.306 | 0.379 | 0.351 | 0.377 | 0.340 | 0.324 | 0.307 | 0.328 | 0.393 | 0.424 | 0.374 |
| 50 | 0.282 | 0.282 | 0.315 | 0.314 | 0.339 | 0.341 | 0.336 | 0.307 | 0.315 | 0.289 | 0.301 | 0.384 | 0.395 | 0.365 |
| 60 | 0.254 | 0.269 | 0.308 | 0.283 | 0.302 | 0.315 | 0.328 | 0.297 | 0.280 | 0.257 | 0.302 | 0.376 | 0.366 | 0.347 |
| >60 | 0.208 | 0.224 | 0.252 | 0.260 | 0.241 | 0.263 | 0.271 | 0.267 | 0.241 | 0.236 | 0.257 | 0.341 | 0.354 | 0.292 |

Табл. П.6 показва, че в басейна на река Струма, като изключим град Дупница, няма съществена промяна в стойностите на максималните интензивности, сравнявайки стария период и периода до 1998/2006 година. Същото е валидно и за почти всички продължителности на интензивния валеж и за Търговище. В същото време имаме значително повишение на максималните стойности на валежа в Дупница и Велико Търново. Това може да се обясни с локални особености в орографско и климатично отношение.

Табл. П.6 Максимален интензитет [mm/min] на дъждовете с различно времетраене

| Времетраене, [min] | Сандански | | Благоевград | | Дупница | | Кюстендил | | Перник | | Велико Търново | | Търговище | |
|-----------------------|------------|------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1997 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 1998 | до 1976 | до 2006 | до 1976 | до 2006 |
| 5 | 2.00 | 2.080 | 2.00 | 2.040 | 1.98 | 3.460 | 2.02 | 2.020 | 2.02 | 2.040 | 2.40 | 4.260 | 2.06 | 2.720 |
| 10 | 1.80 | 1.850 | 1.41 | 1.630 | 1.87 | 3.090 | 2.02 | 2.020 | 1.75 | 1.950 | 2.00 | 3.650 | 2.00 | 2.030 |
| 15 | 1.37 | 1.453 | 1.09 | 1.200 | 1.57 | 2.747 | 1.76 | 1.760 | 1.31 | 1.890 | 1.60 | 2.753 | 2.00 | 2.000 |
| 20 | 1.30 | 1.300 | 0.96 | 1.120 | 1.30 | 2.465 | 1.50 | 1.500 | 1.08 | 1.605 | 1.31 | 2.295 | 1.82 | 1.960 |
| 25 | 1.22 | 1.220 | 0.84 | 1.008 | 1.06 | 2.224 | 1.28 | 1.284 | 0.91 | 1.424 | 1.08 | 1.912 | 1.61 | 1.672 |
| 30 | 1.09 | 1.087 | 0.74 | 0.887 | 0.89 | 1.923 | 1.09 | 1.093 | 0.8 | 1.297 | 0.99 | 1.770 | 1.47 | 1.473 |
| 40 | 0.84 | 0.840 | 0.62 | 0.710 | 0.72 | 1.485 | 0.85 | 0.852 | 0.64 | 0.998 | 0.84 | 1.578 | 1.22 | 1.225 |
| 50 | 0.51 | 0.636 | 0.54 | 0.584 | 0.62 | 1.204 | 0.70 | 0.700 | 0.53 | 0.546 | 0.64 | 1.438 | 1.07 | 1.072 |
| 60 | 0.32 | 0.550 | 0.48 | 0.487 | 0.56 | 0.555 | 0.60 | 0.598 | 0.44 | 0.445 | 0.56 | 1.335 | 0.96 | 0.957 |
| >60 | 0.23 | 0.389 | 0.39 | 0.389 | 0.39 | 0.420 | 0.42 | 0.416 | 0.31 | 0.307 | 0.44 | 1.118 | 0.73 | 0.734 |

П.2. Анализ на данни за валежи, изчислени с помощта на дистанционни методи (сателити) върху пилотен водосбор

За прецизното и успешно хидроложко моделиране и прогнозиране на наводнения е необходимо да има колкото е възможно по-детайлна информация за валежа като основен оттокообразуващ фактор, както в пространството, така и във времето. Конвенционалните методи за измерване на валежа са точки, в ограничен брой дъждомерни, климатични и синоптични станции. Валежът от своя страна много често се характеризира със силно изразена пространствена изменчивост. В този смисъл дистанционните методи за измерване на валежи имат голямо практическо приложение. В много случаи, те са единствените, които дават възможност за получаване на цялостна картина на полето на валежите, поради факта, че притежават сравнително добра пространствена резолюция.

Най-разпространени са измерванията с радари и сателити. В тази част от дисертационния труд са описани информацията и методиките, по които се прави валидиране на валежите в проекта HSAF.

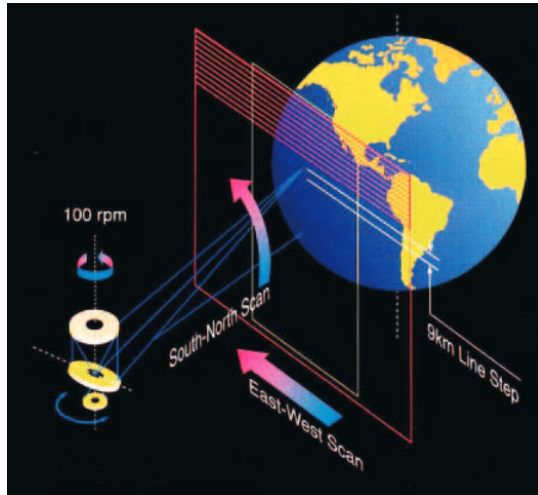
П.2.1. Кратко описание на използваните сателити и зависимост между измерваните параметри и валеж

Най-общо сателитите, които ползват EUMETSAT и мрежите му са два типа:

- такива на полярни орбити, обикалящи ниско около земята (LEO) и използващи датчици в микровълновия обхват;

- сателити на геостационарна орбита (GEO) от второ поколение, използващи бързо въртящи се датчици (SEVIRI) [58]. Тези датчици се въртят около ос перпендикулярна на линията, свързваща сателита и Земята със скорост 100 об/мин. и правят пълно сканиране на повърхността за около 13 минути (фиг. П.12) [59]. Имат 12 канала, които могат да се използват за измерване на различни метеорологични параметри като валеж, влажност на въздуха, наличие на мъгла и др.

От 12-те канала, 11 от тях имат резолюция от 3 km, а 1 от каналите е с резолюция 1 km. Тази резолюция е валидна за височината, на която е позициониран сателита (около 35800 km).



Фиг. II.12 Механизъм на сканиране на инструмента SEVIRI [59]

Един от основните параметри, които измерват датчиците на сателитите е температурата на повърхността на облаците. Доказано е, че има връзка между температурата на облака и интензивността на валежа. Най-общо връзката е от вида на уравнение [70] (2):

$$R = A * \exp(-b * T^n) \quad (2)$$

където,

R - интензивност на валежа [$l/m^2/s$];

A, b и n са константи;

T - температура на повърхността на облака [K].

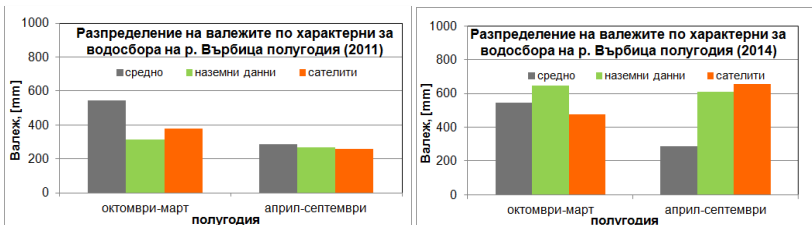
Така получената интензивност се сравнява с данните от някой от глобалните атмосферни модели (GFS, ECMWF, COSMO), след което се прави статистическа оценка на вече изчислената интензивност. При необходимост се коригират някои от изходните параметри [60, 61, 62].

II.2.2. Резултати и анализи на продукта за валеж за 2011 и 2014 г.

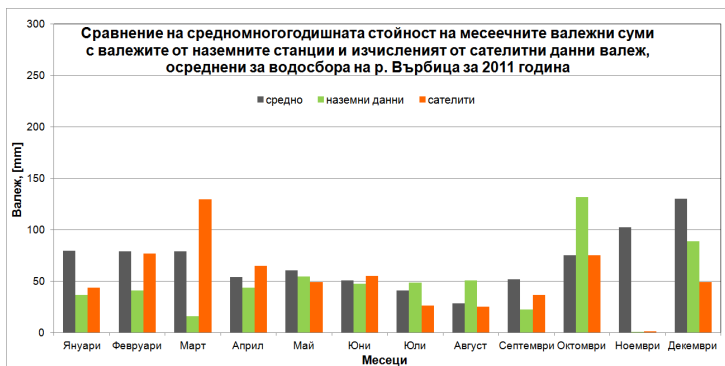
Валидирането на валежа е направено по методика утвърдена и разработена в проекта HSAF и описана в дисертационния труд.

Представените резултати от валидирането на валежа върху пилотния водосбор за 2 различни от хидроложка гледна точка години - 2011 и 2014 - първата година е суха, а втората - влажна.

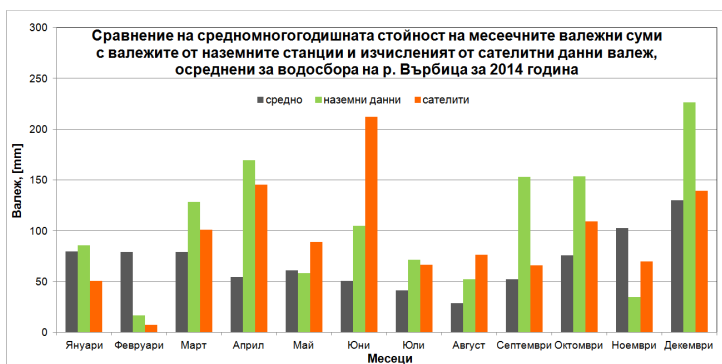
На фиг. II.14 е представено разпределение на валежа по характерни за водосбора полугодия. За водосбора на река Върбица (която е под влияние на средиземноморски циклони) са характерни 2 периода - октомври-арт и април-септември. Първият период се характеризира с по-честа поява на средиземноморски циклони и съответно повече валежи. Вторият период се характеризира с по-сухо време и по-малки количества валеж.



Фиг. П.14 Разпределение на валежа по характерни за водосбора на р. Върбица полугодия за 2011 и 2014 г.



Фиг. П.15 Вътрешногодишно разпределение на валежа за водосбора на р. Върбица за 2011 г. сравнен с осредненото за периода 1991-2010 г.



Фиг. П.16 Вътрешногодишно разпределение на валежа за водосбора на р. Върбица за 2014 г. сравнен с осредненото за периода 1991-2010 г.

От фигури П.14, П.15 и П.16 се вижда, че в по-сухите периоди валежът, изчислен на база спътникова информация е завишен спрямо наземната информация, а в по-влажни периоди - точно обратното - подценен.

Сумарният годишен валеж за 2011 г., осреднен върху водосбора, е 581 mm, а изчисленият от продукта валеж е 633 mm или с около 9 % повече.

За 2014 г. сумарният годишен валеж е 1254 mm, а изчисленият от продукта валеж е 1132 mm или с около 10 % по-малко.

Ако се направи анализ на валежа за полугодията на 2011 и 2014 години се наблюдават следните тенденции:

- през 2011 година сумарният валеж през "сухото" полугодие изчислен от продукта е по-малък с около 4-5 % сравнен с реалния валеж, а през "влажното" полугодие - той е с 20% по-голям от него.

- през 2014 година - сумарният валеж от продукта през "влажното" полугодие е с 26% по-малък от този с наземната информация, а в "сухото" полугодие - той е с 8 % повече.

В таблици II.9 и II.10 са показани статистическите оценки за двете години на месечна база по методиката на проекта HSAF, която е описана в дисертационния труд. Показаната статистика оценява само случаите, в които 24 часовата сума на интерполирания наземен валеж е по-голяма или равна на 1 mm.

Табл. II.9 Статистически резултати за 2011 година за всички случаи с валеж над 1 mm

| | | Jan-11 | Feb-11 | Mar-11 | Apr-11 | May-11 | Jun-11 | Jul-11 | Aug-11 | Sep-11 | Oct-11 | Nov-11 | Dec-11 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|
| ME | APe1 | -3.120 | 1.901 | 9.168 | -2.604 | -3.037 | -2.543 | -5.075 | -11.672 | -2.239 | -6.875 | -9.999 | -6.320 |
| SD | APe1 | 4.169 | 11.990 | 15.901 | 8.105 | 5.185 | 6.268 | 8.328 | 16.391 | 6.339 | 13.868 | -9.999 | 9.975 |
| MAE | APe1 | 3.811 | 8.564 | 11.907 | 6.836 | 4.751 | 5.108 | 6.961 | 13.485 | 5.328 | 9.990 | -9.999 | 7.633 |
| CC | APe1 | 0.320 | -0.074 | -0.084 | 0.408 | -0.104 | 0.196 | 0.310 | 0.690 | 0.737 | 0.446 | -9.999 | 0.390 |
| RMSE | APe1 | 5.208 | 12.140 | 18.355 | 8.513 | 6.009 | 6.764 | 9.752 | 20.564 | 6.723 | 15.425 | -9.999 | 11.808 |
| NSC | APe1 | -0.613 | -7.449 | -6.731 | -0.975 | -0.964 | -0.431 | -0.264 | 0.006 | 0.483 | -0.003 | -9.999 | -0.188 |

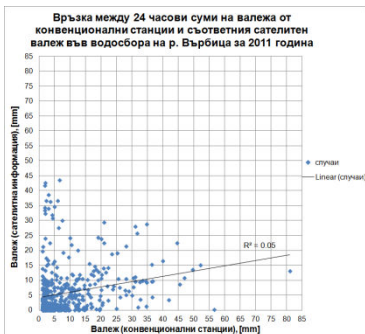
Табл. II.10 Статистически резултати за 2014 година за всички случаи с валеж над 1 mm

| | | Jan-14 | Feb-14 | Mar-14 | Apr-14 | May-14 | Jun-14 | Jul-14 | Aug-14 | Sep-14 | Oct-14 | Nov-14 | Dec-14 |
|------|------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|
| ME | APe1 | -4.990 | -5.598 | -2.264 | -2.384 | -0.104 | 3.501 | -3.853 | 1.271 | -12.807 | -8.671 | -0.589 | -6.970 |
| SD | APe1 | 5.275 | 5.466 | 11.371 | 10.111 | 7.927 | 15.431 | 10.045 | 17.306 | 19.780 | 14.564 | 7.581 | 13.200 |
| MAE | APe1 | 5.293 | 5.658 | 7.715 | 6.682 | 4.670 | 11.388 | 6.570 | 11.584 | 14.090 | 10.630 | 6.408 | 9.213 |
| CC | APe1 | 0.801 | -0.362 | 0.093 | 0.636 | 0.288 | -0.010 | 0.168 | 0.484 | 0.322 | 0.632 | 0.339 | 0.712 |
| RMSE | APe1 | 7.282 | 7.751 | 11.594 | 10.542 | 7.928 | 15.823 | 10.758 | 17.352 | 23.456 | 16.850 | 7.588 | 14.745 |
| NSC | APe1 | 0.257 | -1.379 | -0.417 | 0.334 | -1.179 | -1.177 | -0.239 | -6.694 | -0.262 | 0.123 | -0.804 | 0.365 |

Вижда се, че средната грешка за 2011 година варира между -11.7 mm, за месец август и +9.2 mm март, а за 2014 година - между -12.6 mm за месец септември и +3.5 за месец юни. През по-влажната година е по-ясно изразена закономерността - през влажното полугодие валежът от продукта да подценява реалния валеж, а през сухото полугодие - да го надценява. Друго, което се забелязва е, че през по-сухото полугодие, абсолютната стойност на средната грешка се увеличава - например за месеците юни, август и септември 2014 г. средната грешка по абсолютна стойност е над 10 mm, а за влажните месеци тя обикновено е около 6-7 mm.

За корелационния коефициент може да се каже, че на месечна база той е изключително нисък и на практика липсва корелация между двата вида валеж, но отново се наблюдава, че през месеците в по-влажното полугодие той е малко позначим: например януари и декември 2014 година корелационният коефициент е 0.6-0.8. За тези два месеца се вижда, че и коефициентът на Nash-Suitcliffe е най-добър - между 0.26 и 0.38, а в останалите месеци той има и отрицателни стойности.

На фигури II.19 и II.20 по-долу са показани разсейването на 24 часовите валежни случаи спрямо аналогичните сателитни валежи.



Фиг. П.19 Връзка между 24 часови суми на валежа от конвенционални станции и съответния сателитен валеж във водосбора на р. Върбица за 2011 година



Фиг. П.20 Връзка между 24 часови суми на валежа от конвенционални станции и съответния сателитен валеж във водосбора на р. Върбица за 2014 година

Вижда се, че като цяло корелационният коефициент е изключително нисък, като стойността му е малко по-значима в по-влажната година.

От показаните таблици и фигури може да се направят следните заключения:

- на годишна база разликата във валежните суми на продукта и този от конвенционалните станции е сравнително малка - тя е до около 10 % . Колкото периода на дискретизация намалява, толкова по-големи са разликите и по-често се наблюдават значителни отклонения между продукта и конвенционалната информация.

П.3. Изводи

В резултат на направените анализи могат да бъдат изведени следните изводи:

а) за интензивните валежи:

- въпреки намаляването на относителния дял на дъждовете със средна продължителност за басейна на река Струма като абсолютна бройка, случаите на интензивни валежи с малки и средни продължителности са се увеличили за периода от откриване на станцията до 1998/2006 година в сравнение с периода до 1976 година;

- за басейна на река Струма, като изключим град Дупница, няма съществена промяна в стойностите на максималните интензивности, сравнявайки стария период до 1976 година и периода до 1998/2006 година. В същото време имаме значително повишение на максималните стойности на валежа в Дупница и Велико Търново. Това може да се обясни с локални особености в орографско и климатично отношение;

- за целите на прогнозиране на наводнения и особено за случаите на поройни наводнения е необходимо да се разработват характеристиките на интензивните валежи;

- от направените анализи за два периода (до 1976 година и до 1998/2006 година) на наблюдения се вижда, че е необходимо тази информация да бъде актуализирана, за да може да се вземат в предвид тенденциите в изменението на интензивните валежи, както във времето, така и в пространството.

б) за валежи получени от сателитна информация:

- от статистическата обработка на валежите от наземна и сателитна информация може да се направи извода, че на годишна база разликата във валежните суми от

двата източника е сравнително малка - тя е до около 10 % . Колкото периодът на дискретизация намалява, толкова по-големи са разликите и по-често се наблюдават значителни отклонения между продукта и конвенционалната информация;

- констатира се, че за разгледания водосбор на река Върбица при по-сухите периоди валежът, получен от сателитна информация е завишен, а при влажните периоди - е едва около 25 % - 35 % от реалния валеж;

- поради факта, че водосборът на река Върбица е под влияние на средиземноморски циклони в периода октомври-март, а за тях е характерно наличието на конвекция, това най-вероятно води до подценяване на валежа през зимата от страна на продукта.

II.4. Заключение и препоръки

а) за интензивните валежи:

- за оценка на интензивните валежи трябва да се разполага с достатъчно надеждна и дискретизирана информация.

б) за валежи от сателитна информация;

- необходимо е уравнението, което представя зависимостта между температурата на повърхността на облака (първичната сателитна информация) и интензивността на валежа да бъде различно за двата периода (влажен и сух).

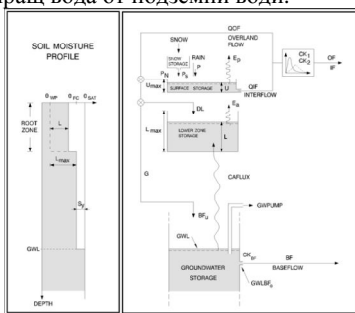
III Хидроложко моделиране

В тази глава е акцентирано върху описанието на използвания модел, както и приложението му за различни по своя характер водосбори за целите на хидроложкото прогнозиране. На края ще бъдат направени изводи относно приложимостта на модела за водосбори с различни характеристики.

III.1. Описание на NAM модела

NAM моделът е съсредоточен, концептуален модел, който симулира елементите на оттока - повърхностен, подповърхностен и подземен [2]. За целта се използва система от 4 взаимосвързани резервоара (фиг. III.1), всеки имитиращ задръжането на вода в системата, а именно:

- резервоар за акумулиране на сняг;
- резервоар, акумулиращ вода от повърхностния слой;
- резервоар, акумулиращ вода от коренова система;
- резервоар, акумулиращ вода от подземни води.



Фиг. III.1 Структура на NAM модела [2]

За създаването на модела е необходима метеорологична (валеж, температура, потенциална евапотранспирация) и хидроложка информация (водно количество).

III.1.1.1. Параметри на модела

Основните параметри използвани в NAM модела са [2, 108]:

- за кореновия и повърхностния слой на водосбора: **Lmax** [mm], **Umax** [mm], **CQOF** [-], **TOF** [-], **CKIF** [h], **TIF** [-], **CK1,2** [h];

- за подземния слой: **CKBF** [h], **TG** [-], **Carea** [-], **GWLBF0** [m], **GWLBF1**, **Абстракция** [mm], **Cqlow** [%], **Cklow** [h];

- за снеготопене: **Csnow** [mm/day/°C], **T0** [°C], **Брой на височинните зони**, **Отправна височина на референтната температура** [m], **Температурен градиент в сухо време**, **Температурен градиент при влажно време**, **Отправна височина на референтния валеж** [m], **Корекция на валежите** [%].

III.1.2. Основни принципи, на които е основан моделът

Съдържанието на вода (**U**) в резервоара непрекъснато се променя. То или намалява, в резултат на формиране на подповърхностен отток (**IF**) към речната мрежа и евапорация, или се увеличава, вследствие на паднал валеж. Когато резервоарът (**U**) се напълни и започва да прелива, част от водата, **P_N**, се превръща в повърхностен отток (**OF**), а друга част инфилтрира и попада в резервоара за коренова система (**L**) и резервоара за подземни води. **CQOF** показва каква част от **P_N** се превръща повърхностен отток.

Повърхностният отток се приема, че е пропорционален на **P_N** и е линейна функция на относителното съдържание на вода в кореновата система (**L/Lmax**) (9):

$$Q_{OF} = \begin{cases} C_{QOF} \frac{L/L_{max} - TOF}{1 - TOF} P_N & \text{for } L/L_{max} > TOF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TOF \end{cases} \quad (9)$$

Обемът на резервоара **L** е наличната вода, която се транспира от растенията. **Lmax**, както бе споменато по-горе, е максималното съдържание на вода в резервоара. Относителното съдържание на вода (почвената влажност) (**L/Lmax**) в този резервоар е критерий за това, дали ще има подхранване на подземния резервоар и дали ще се генерира повърхностен и подповърхностен отток.

Евапотранспирация: първоначално потенциалната евапотранспирация (**E_p**) се формира от повърхностния резервоар **U**. Когато съдържанието на вода в резервоара **U** намалее, т.е. **U < E_p**, тогава е прието растенията да транспират вода от резервоара за кореновата система. Актуалната евапотранспирация, **E_a**, е пропорционална на потенциалната евапотранспирация и е линейна функция на относителната почвена влажност (10):

$$E_a = (E_p - U) \frac{L}{L_{max}} \quad (10)$$

Подповърхностен отток: приема се, че е пропорционален на съдържанието на вода в повърхностния резервоар (**U**) и е в линейна зависимост от относителното съдържание на вода в кореновата система (**L/Lmax**) (11):

$$Q_{IF} = \begin{cases} (CKIF)^{-1} \frac{L/L_{max} - TIF}{1 - TIF} U & \text{for } L/L_{max} > TIF \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TIF \end{cases} \quad (11)$$

Придвижване на повърхностен отток: Придвижването е линейна функция на повърхностния отток с различна времева константа (12). **OF_{min}** [mm/h] е горната

граница за линейно придвижване на оттока = 0.4 mm/h. β в (12) е = 0.4 и кореспондира с използването на формулата на Manning за моделиране на повърхностен отток.

$$CK = \begin{cases} CK_{12} & \text{for } OF < OF_{min} \\ CK_{12} \left(\frac{OF}{OF_{min}} \right)^{-\beta} & \text{for } OF \geq OF_{min} \end{cases} \quad (12)$$

Подхранване на резервоара за подземни води (13) зависи от относителното съдържанието на вода в кореновата система.

$$G = \begin{cases} (P_N - QOF) \frac{L/L_{max} - TG}{1 - TG} & \text{for } L/L_{max} > TG \\ 0 & \text{for } L/L_{max} \leq TG \end{cases} \quad (13)$$

Подземен отток: изчислява се като изтичане през линеен резервоар с времева константа CK_{BF} .

III.1.3. Принципи и критерий, използвани при калибрирането

Калибрирането е процес, при който параметрите на модела се променят, като крайната цел е да се получи симулация, която най-добре описва реалния отток по предварително зададени критерии.

В NAM модела параметрите и променливите представляват средни стойности за целия водосбор. За процеса на калибриране са нужни времеви редици от метеорологични и хидрологични наблюдения.

Критерии за точност на модела – за процеса на калибриране могат да се използват 4 критерия за точност:

1. Обемът на регистрирания отток, преминал през створа да е равен или близък до този на симулираният такъв;
2. Формите на хидрографите на симулирания и наблюдавания отток да бъдат близки или еднакви;
3. Добро описание на високите води - задава се определена стойност на водното количество, над която се прави оптимизация на симулациите по време и стойност;
4. Добро описание на ниските води - задава се определена стойност на водното количество, под която се прави оптимизация на симулациите по време и стойност.

III.2. Описание на изследвания водосбор

III.2.1. Физикогеографски характеристики

Басейнът на река Русенски Лом е разположен в североизточната част на страната и преминава основно през Търговишка, Разградска и Русенска области, като малка част от водосборът преминава и през областите Велико Търново и Шумен. Площта на водосбора до хидрометричната станция при с. Божичен е 2880.8 km². Водосборът на река Русенски Лом има равнинен характер. Средната надморска височина на водосбора до станцията при село Божичен е 279 m. Равнинният му характер обуславя и малките средни наклони на реките, които варират между 1.7 % за река Русенски Лом и 13.3 ‰ за река Канарка. Поради равнинния релеф, река Русенски Лом има малка гъстота на речната мрежа. Всички реки във водосбора имат гъстота под 1 km/km² [39].

III.2.2. Кратка климатична характеристика на водосбора

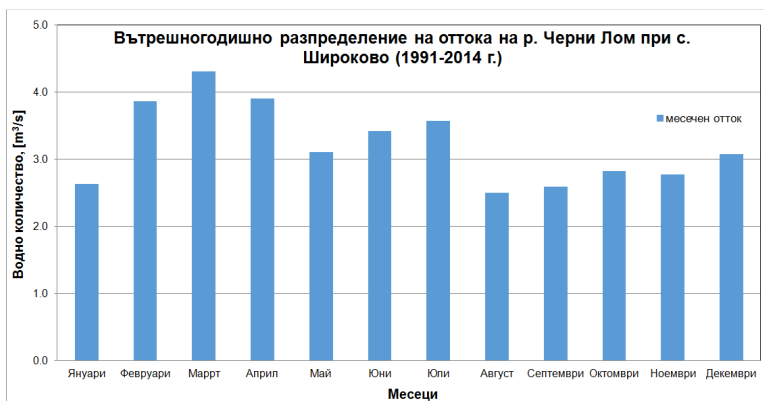
Водосборът се намира в източните части на Дунавската равнина и се характеризира с особеностите на умереноконтиненталния климат. За тази област е характерно пролетно-летен максимум на валежите, суха и студена зима. Лятото е топло и влажно.

През зимата най-често има нахлувания на влажни въздушни маси от Атлантическия океан и Средиземно море, но има и нахлувания на студени и сухи въздушни маси от североизток. През студеното полугодие, нерядко се случват и внезапни затопляния, дължащи се на средиземноморски циклони преминаващи северно от България. Такива нахлувания са предпоставка за поява на наводнения, получени от комбинация на обилни валежи и активно снеготопене.

През топлото полугодие на годината най-честите нахлувания са от Атлантическия океан и по-рядко от Средиземно море. Поради това в района има и максимум на валежи през периода юни-юли. През втората половина на летния период често тази област е под влиянието на Азорски антициклони, които причиняват и продължително засушаване.

III.2.3. Хидроложки режим на водосбора на река Русенски Лом

Вътрешногодишното разпределение на оттока във водосбора на река Русенски Лом, в частност водосбора на река Черни Лом (фиг. III.11), се определя от преобладаващите климатични, релефни и почвено-геоложките особености на района: типичен умереноконтинентален климат с не много обилни валежи през есента и зимата. Стопеният сняг през зимата не дава висок речен отток, поради равнинно-хълмистия терен, наличието на лъсови почви и карст. Пълноводието в басейна се наблюдава предимно през пролетта и началото на лятото (февруари-юли), като в периода април-юни по-често се случват и интензивни дъждове. През зимата (ноември-февруари) има слабо повишение на оттока. Средномногогодишните водни количества за периода 1981-2012 година за станция 31550 (река Черни Лом при село Широково) са $3.002 \text{ m}^3/\text{s}$ [104]. Средномногогодишната стойност на модула на оттока за водосбора на река Русенски Лом за периода 1981-2012 година е между 2 и 4 l/s/km^2 [104], като по-високите стойности са за по-горните части на водосбора.



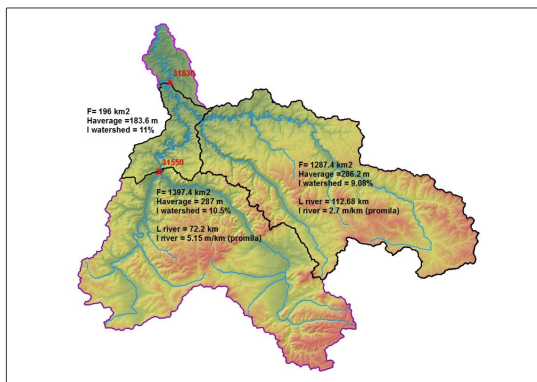
Фиг. III.11 Вътрешногодишно разпределение на оттока на р. Черни Лом при с. Широково

III.3. Създаване на модел валеж-отток за водосбора на река Русенски Лом

Създаването на модел валеж-отток за водосбора на река Русенски Лом е усложнено от няколко факта:

- големина на водосбора - над 2800 km² (фиг. III.13);
- сложен геоложки строеж на водосбора и по специално наличие на карст, което оказва влияние върху формиране на оттока.

Поради горните факти, вниманието на докторанта ще бъде насочено върху изграждането на модел валеж-отток за водосбора на река Черни Лом до село Широково. Големината е 1397 km², което го прави подходящ да бъде моделиран с NAM модула на MIKE11. В края на водосбора има и хидрометрична станция (фиг. III.13), данните от която ще бъдат използвани за калибриране на модела.



Фиг. III.13 Водосбор на р. Русенски Лом и избраните подводосбори с някои техни характеристики

III.3.1. Анализ на връзката валеж-отток

Използваният модел е от вида валеж-отток, поради което е необходимо да се изследва връзката между валежа и регистрирания отток във водосбора. За целта са изчислени осреднените годишни суми на валежите за водосбора на река Черни Лом до село Широково по метода на Тийсен и годишният отток в [mm] по формула (15):

$$R_i = \frac{Q_i * n * 86400}{A * 1000}, \text{ [mm/year]} \quad (15)$$

където,

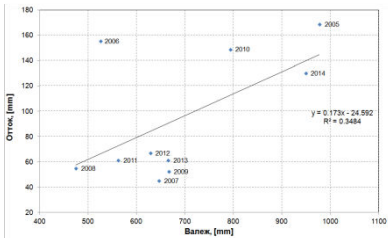
R_i - годишният отток за i -тата година в [mm/year];

Q_i - средногодишното водно количество за i -тата година в [m³/s];

n - брой на дните в i -тата година;

A - площ на водосбора в [km²].

На фигура III.15 е показана връзката между валежа и оттока и тренда от цялата налична информация - периода 2005-2014 г. Корелацията е много ниска - коефициент на корелация 0.35

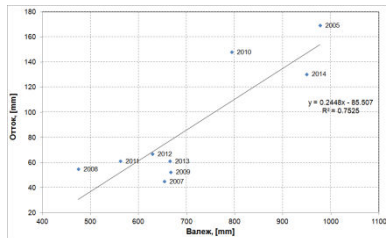


Фиг. III.15 Връзка и тренд между годишната сума на среднопредгледените валежи за водосбора на р. Черни Лом до с. Широково и средногодишния отток в [mm] за водосбора до хидрометрична станция 31550

От графиката се вижда, че точката, обозначаваща валежа и оттока за 2006 година се отклонява значително от тренда, което налага да се направи допълнителен анализ на информацията за тази година.

Ако се изключи от анализа 2006 година, връзката между валежа и оттока се получава с добра корелация, както е видно от фигура III.16, с коефициент на корелация около 0.75.

След анализите направени в дисертационния труд е взето решение, че при създаването на модела 2006 година ще бъде изключена.



Фиг. III.16 Връзка и тренд между годишната сума на среднопредгледените валежи за водосбора на р. Черни Лом до с. Широково и средногодишния отток в [mm] за водосбора до хидрометрична станция 31550 без 2006 г.

III.4. Калибриране на модела за водосбора на река Черни Лом до хидрометрична станция 31550 (село Широково)

III.4.1. Първоначален избор на някои от параметрите на модела

Стойностите на параметъра **Lmax**, получени при калибрационния процес, могат да бъдат предварително определени и в по-тесен диапазон, в зависимост от водно-физичните характеристики на почвите във водосбора (ППВ и ВЗ) и дълбочината на кореновата система. Преобладаващите почвени типове във водосбора на река Черни Лом са черноземни почви и сиви горски почви [36], чиято дълбочина варира от 150 до 200 cm [33]. За настоящата разработка ще се приеме, че средната дълбочина на коренообитаемия почвен слой достига до 200 cm.

Данните за водно-физичните характеристики на двата почвени типа са от агрометеорологичната мрежа на НИМХ-БАН. Във водосбора на реката попадат 2 агрометеорологични станции: Образцов чифлик и Разград. За станцията в гр. Разград стойностите на ППВ и ВЗ за 200 cm слой са съответно: 608 mm и 360 mm, и продуктивният воден запас е 248 mm. За станцията в Образцов чифлик съответните стойности са 631 mm и 330 mm, като продуктивният воден запас е 301 mm.

От по-горе цитираните данни в процеса на калибриране се приемат граници на изменение на параметъра **Lmax** от 220 до 330 mm.

Повечето автори [2, 99] препоръчват параметърът **Umax**, при първоначалния стадий на калибриране да се приеме в границите 0.1 до 0.2 от **Lmax**. Поради тази причина за **Umax** ще бъдат зададени граници на изменение от 20 до 50 mm.

От таблица III.1 се вижда, че средно между 8 и 20 % от валежа на годишна база се реализира в повърхностен отток. Тези граници ще бъдат заложени в коефициента за повърхностен отток **CQOF** при първоначалния етап на калибриране на модела.

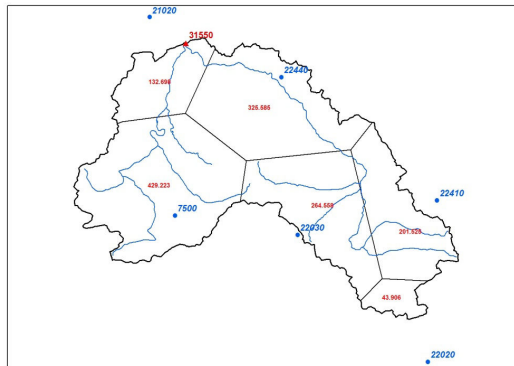
Табл. III.1 Процентно отношение на оттока спрямо валежа на годишна база за водосбора на Черни Лом

| | Валеж, [mm] | Отток, [mm] | Отношение |
|------|-------------|-------------|-----------|
| 2005 | 977.5 | 168.6 | 17.2 |
| 2006 | 525.0 | 155.3 | 29.6 |
| 2007 | 646.1 | 45.2 | 7.0 |
| 2008 | 474.6 | 55.1 | 11.6 |
| 2009 | 666.0 | 52.4 | 7.9 |
| 2010 | 793.1 | 148.9 | 18.8 |
| 2011 | 561.6 | 61.3 | 10.9 |
| 2012 | 628.1 | 67.1 | 10.7 |
| 2013 | 665.0 | 61.4 | 9.2 |
| 2014 | 949.0 | 130.1 | 13.7 |

III.4.2. Използвани данни за процеса на калибриране

III.4.2.1. Средноденонощна температура и 24 часова сума на валежа

Във и в близост до водосбора се намират 6 дъждомерни и климатични станции от конвенционалната мрежа на НИМХ-БАН (фиг. III.20). За целите на дисертационния труд са използвани редици от 1.1.2005 до 31.10.2014 г. с дневна сума на валежите и средноденонощна температура. Данни за валеж са използвани от 6 станции, а за температура - 3. На фигура III.21 е представено разпределение на валежа по Тийсен от използваните в модела климатични и дъждомерни станции от конвенционалната мрежа на НИМХ-БАН реализирано с помощта на продукта ArcMAP на ESRI.



Фиг. III.21 Площно разпределение на валежите по станции по метода на Тийсен за водосбора на р. Черни Лом до хидрометрична станция при с. Широково

За температурата на въздуха е използван вертикален градиент, който за района на водосбора на река Черни Лом е приет да бъде $0.4\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{ m}$ разлика във височина, на база получените резултати в т. III.2.2 на дисертационния труд.

III.4.2.2. Изчисляване на потенциална евапотранспирация

В литературата [24, 25, 26] има доста анализи, експерименти и опити за изчисляване на потенциалната евапотранспирация и използването ѝ като входна информация в моделите тип "валеж-отток" [23]. Всички те се стремят към опростяване на оригиналната формула на Penmann-Montieth [27] (17), поради наличието на много параметри в нея:

$$ET_o = \frac{0,408\Delta(R_n - G) + \gamma \frac{900}{T+273} U_2 (e_a - e_d)}{\Delta + \gamma(1+0,34U_2)} \quad (17)$$

където,

- ET_o - референтна евапотранспирация [mm/d];
- Δ - наклон на кривата на налягането на водните пари [kPa °C];
- R_n - нетна радиация на повърхността [MJ/(m²*d)];
- G - топлинен поток от почвата [MJ/(m²*d)];
- γ - психрометрична константа [kPa/°C];
- T - температура на въздуха на 2 m височина [°C];
- U₂ - скорост на вятъра на 2 m височина [m/s];
- e_a-e_d - дефицит на налягането на наситените водни пари [kPa].

В дисертационния труд са разгледани няколко формули за изчисляване на потенциална евапотранспирация. Всички те опростяват изчисляването на PET, като използват основно температура на въздуха, а някои от тях използват и допълнителни географски и климатични характеристики. Резултатът, който се получава е месечни или годишни стойности на PET в [mm].

Поради причина, че в по-късен етап на развитие на модела се предвижда да се използват прогностични и диагностични стойности на валежа и температурата с учестена стъпка, е решено в дисертационния труд да бъде използвана дневна средномногогодишна стойност на потенциалната евапотранспирация, изчислена по проекта "Black Sea Middle East Flash Flood Guidance System" (BSMEFFGS).

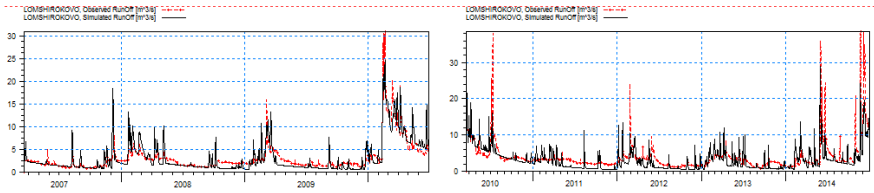
III.5. Резултати от калибрирането на модела за водосбора на река Черни Лом

Поради факта, че в т. III.3.1 се направи изключване на 2006 г., калибрирането е решено да бъде за периода 2007-2010 година, а периодът на валидиране да бъде 2011-2014 година.

След процеса на калибриране и валидиране се получиха следните стойности на параметрите, показани в таблица III.2 и хидрографи, показани на фигури III.25 и III.26.

Табл. III.2 Заложени граници на изменение на параметрите в процеса на калибриране и избрани стойности след него

| | Избрани стойности | Долна граница | Горна граница |
|-------|-------------------|---------------|---------------|
| Umax | 10 | 15 | 30 |
| Lmax | 410 | 250 | 350 |
| COOF | 0.08 | 0.07 | 0.2 |
| CKIF | 672 | 200 | 1000 |
| CK1 | 15 | 10 | 35 |
| CK2 | 29 | 10 | 35 |
| TOF | 0.0001 | 0 | 0.99 |
| TIF | 0.63 | 0 | 0.99 |
| TGW | 0.76 | 0 | 0.99 |
| CKBF | 4150 | 0 | 6000 |
| CqLow | 0.48 | 0 | 0.99 |
| CKLow | 121000 | 10000 | 1000000 |



Фиг. III.25(лява) и фиг. III.26 (дясна) Хидрограф на наблюдавания и симулирания отток в периода калибриране (лява) и валидиране (дясна).

Червена линия - наблюдаван отток; Черна линия - симулиран отток

Статистически оценки:

NSC = 0.681
CC = 0.730

NSC = 0.466
CC = 0.512

За целия период (2007 - 2014 г.) статистическите оценки са:

NSC = 0.544
CC = 0.574

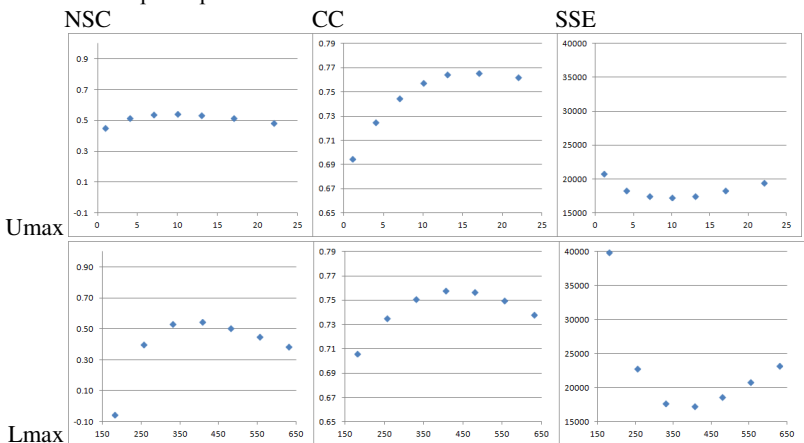
III.6. Анализ на чувствителността на параметрите

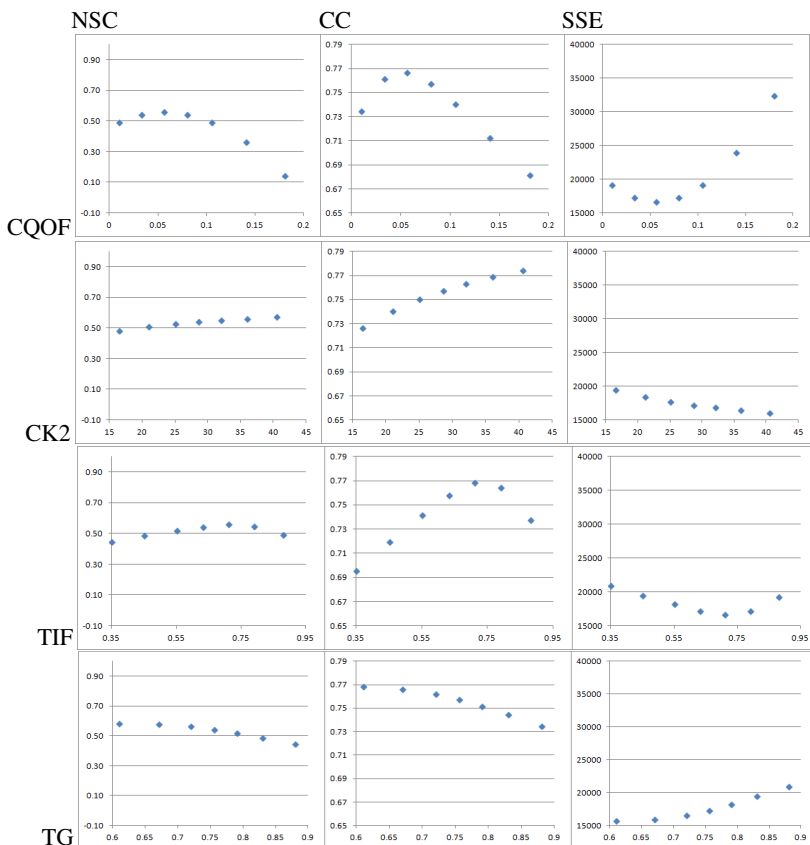
Анализът на чувствителността е проведен за целия период (2007-2014 г.), чрез поставяне на един параметър като променлива и непроменяване на останалите параметри [42, 45]. При анализа са използвани три статистически оценки: коефициент на Nash-Suitcliffe (NSC); коефициент на корелация (CC) и сума от квадрата на разликите (SSE).

След направения анализ се установи, че за водосбора на река Черни Лом:

- по-чувствителни са параметрите: **Lmax**, **Umax**, **CQOF**, **CK2**, **TIF**, **TG** (фиг. III.27). Те имат по-голямо влияние върху резултатите от модела;
- параметрите **TOF**, **CK1**, **CKIF**, **CKBF** не са чувствителни.

Чувствителни параметри:





Фиг. III.27 Графична зависимост между трите статистически параметъра и чувствителните параметри на модела за р. Черни Лом

След направения анализ на чувствителността на параметрите, се вижда, че за някои параметри (**CQOF**, **CK2**, **TG**, **CKBF**) най-добрите статистически оценки се получават при стойности, различни от тези получени след процеса на калибрирането.

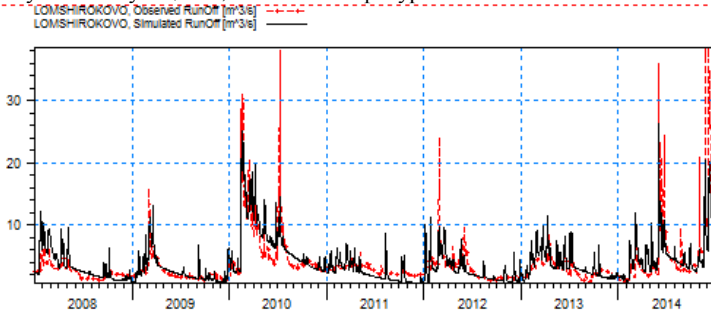
Кои параметри да бъдат променени?

За този водосбор повърхностният отток е между 8 и 20 % от валежа на годишна база (табл. III.1). Това напълно корелира с определената в процеса на калибриране стойност на коефициента на повърхностния отток, която е 0.08. Поради този факт е решено **CQOF** (параметър, отчитащ каква част от падналия валеж се превръща в повърхностен отток) да не се променя. Основният акцент ще бъде върху промяна на параметрите, които влияят на подземния отток (**TG**, **CKBF**), и параметърът **CK2**, влияещ върху времето на формиране на пика и формата на високата вълна.

След промяна на параметрите:

- намаляване на **TG** от 0.76 на 0.6;
- намаляване на **CKBF** от 4150 часа на 3600 часа;
- увеличаване на **CK2** от 29 часа на 50 часа.

е получена симулацията, показана на фигура III.29



Фиг. III.29 Хидрограф на симулирани и наблюдавани водни количества с новите стойности на променените параметрите. Червена линия - наблюдаван отток; Черна линия - симулиран отток

Статистически оценки на симулацията при промените параметри са:

$$NSC = 0.616$$

$$CC = 0.623$$

в сравнение със стойностите при първоначалното калибриране:

$$NSC = 0.544$$

$$CC = 0.574$$

След промяната на параметрите от фигура III.29 и статистическите оценки към нея, се вижда, че има незначително подобрение на резултатите от симулацията, главно във времето на пика на високата вълна и формата на високата вълна. Занижените стойности на пиковете са в резултат на наличието на карст във водосбора и поръзността на водоносните слоеве. За конкретния водосбор би било подходящо да се използва модел, който по-добре описва пространствените процеси, свързани с движението на подземните води, като например MIKE-SHE или друг подобен модел.

Може да бъде направен следния извод: NAM моделът не е подходящ за водосбори с комплексни геоложки формации (наличие на карст, поръзност и др.).

NAM моделът е успешно използван при създаването на модели валеж-отток в системата за ранно предупреждение за водосборите на река Марица и река Тунджа, което ще бъде представено в следващата точка.

III.7. Приложение на хидроложкото моделиране в системата за ранно предупреждение от наводнения за басейна на река Марица и река Тунджа

III.7.1. Създаване на модели валеж-отток за системата за ранно предупреждение от наводнения за водосбора на река Марица и река Тунджа

Системата за ранно предупреждение от наводнения по река Марица и река Тунджа е в оперативен режим от месец ноември 2008 г. Тя е изградена от френско-холандски консорциум по линия на проекта от програма PHARE "Capacity Improvement for Flood Forecasting in the BG-TR CBC Region - Technical Assistance for flood forecasting and Early Warning System for Maritsa and Tundzha Rivers " и използва продукта за хидроложко (NAM модула) и хидравлично (HD модула) моделиране на DHI - MIKE11. При създаването на системата има участие и авторът на

дисертационния труд чрез създаването на всички модели валеж-отток във водосбора на река Тунджа и част от моделите валеж-отток във водосбора на река Марица.

За водосбора на река Тунджа са калибрирани и валидирани хидроложки модели за водосборите на реките: Беленска - до гара Чумерна, Мочурица до село Воденичане, Калница до село Крумово и Синаповска до село Синапово.

За останалите притоци на река Тунджа в участъка язовир "Жребчево" - село Срем, на които няма хидрометрични станции, реките: Асеновска, Овчарица, Боа, Дереорман, Коюнбонар, Поповска, Араплийска, Куруджа, Воденична, са приети параметри на вече калибрираните модели на база физико-географско подобие на водосборите с някои от водосборите с наличие на хидрометрични станции.

За водосбора на река Марица са калибрирани и валидирани моделите за водосборите на реките: Марица до град Белово, Яденица до град Големо Белово, Чепинска до село Марко Николово, Въча до местност Забрал, Първенецка до село Храбрино. За река Стара (Пещерска) са избрани параметрите на модела за река Първенецка, поради сходство на двата водосбора във физико-географско отношение.

Резултатите от моделирането са представени във финалния отчет на проекта.

III.7.2. Влияние на температурата на въздуха върху формирането на повърхностен отток при модула за снеготопене в NAM модела

След създаването на системата за ранно предупреждение от наводнения за водосбора на река Марица и река Тунджа, в хода на работата се оказва, че е нужна допълнителна работа по някои аспекти на системата.

Един такъв аспект се отнася до модула на снеготопене и неправилното третиране на среднопрегледената температура.

След обстоен анализ на резултатите от симулациите на различните модели валеж-отток от системата за ранно предупреждение по река Марица и река Тунджа през месеците март и април 2009 г. се установи следното: когато в изчисляването на среднопрегледената температура за даден водосбор участват станции с различен период на предаване (автоматични - през 1 час и климатични - с 1 (средноденонощна температура) стойност на ден), се изчисляват нереалистични стойности на среднопрегледената температура в периода на асимилране, лявата половина от синята линия на фиг. III.33.



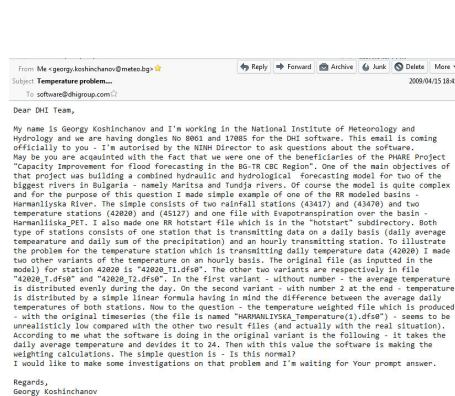
Фиг. III.33 Среднопрегледена температура на въздуха за водосбора на р.

Харманлийска, изчислена от модела за периода на асимилация 26-31.03.2009 г. и прогностичния период 31.03-04.04.2009 г. (синя линия) и реална среднопрегледена температура за водосбора на р. Харманлийска за периода асимилация (зелена линия)

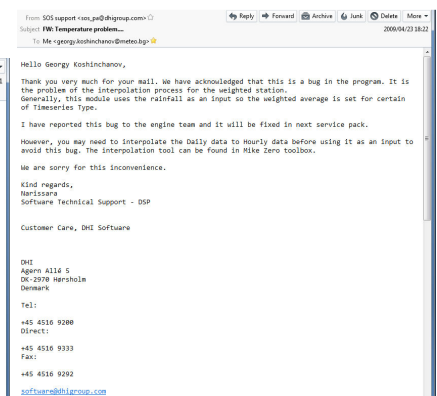
В този случай, моделът първо дели данните с по-голям интервал (средноденонощна температура от климатична станция) на броя налични температури за същия ден от автоматична станция, след което прилага определените по Тийсен тежестни коефициенти. По този начин се получава нереалистично ниска температура - лявата половина от синята линия на фиг. III.33. Това води до нереалистични стойности на симулирания отток. Причина за това е, че температурата става близка до или дори по-ниска от граничната такава T_0 , под която валежът се третира като сняг и се задържа от резервоара за сняг.

Този проблем беше забелязан от автора на дисертационния труд и беше изпратен до разработилите модела в Дания, коие от писмото е показано на фигура III.36.

В отговор, показан на фигура III.37, ДНІ признават за този проблем, след което беше направена нова подверсия на притежаваната от НИМХ-БАН версия, в която е отстранен проблемът с температурата на въздуха.



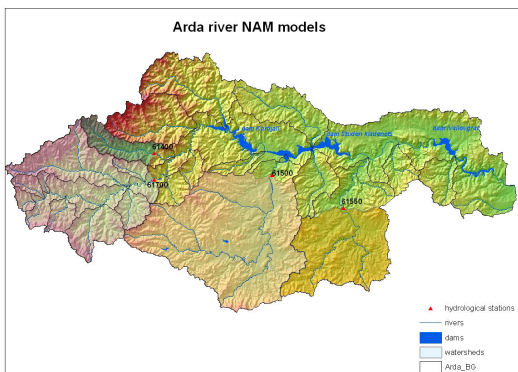
Фиг. III.36 Писмо до ДНІ за проблема с формирането на среднопотеглената температура на въздуха



Фиг. III.37 Отговор на ДНІ за проблема с температурата

III.8. Хидроложко моделиране на избран пилотен водосбор с валежи, изчислени с използване на сателитна информация

Тук ще бъдат представени резултатите от калибриране и валидиране на модела за пилотен водосбор, избран за работа по проекта HSAF, както и резултатите от хидровалидиране за 2 различни от хидроложка гледна точка години - 2011 и 2014 години - първата - суха, а втората - влажна. Основен критерий за избора на водосбора е, че е с ненарушен режим и има сравнително голям брой конвенционални и автоматични станции във водосбора. Друг критерий за избора на този водосбор е, че при работата по проекта "Capacity Improvement for Flood Forecasting and Flood Control in the TR-BG CBC Region" в периода (2008 -2010 г.), авторът на дисертационния труд е работил върху създаването на NAM модели във водосбора на река Арда: река Арда до село Вехтино, река Малка Арда до село Баните, река Върбица до спирка Джебел и река Крумовица до село Горна кула, показани на фигура III.38, и познава добре водосбора на река Върбица.



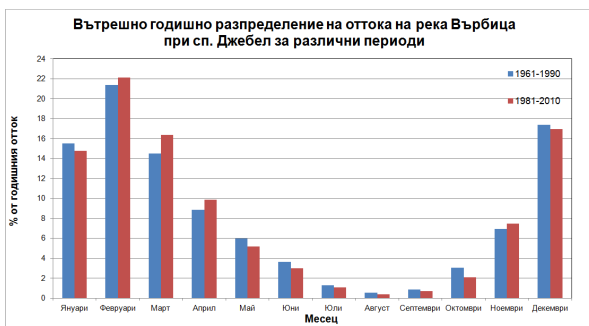
Фиг. III.38 Подводосбори във водосбора на р. Арда, за които е правено хидроложко моделиране

III.8.1. Кратко физикогеографско описание на водосбора на река Върбица

Река Върбица е приток на река Арда и е разположена в източните склонове на Родопите. Образва се от сливането на двете съставящи я реки: Голяма река (лява съставяща) и Малка река (дясна съставяща). Площта на водосборната ѝ област е 1203 km², а дължината ѝ до вливането в яз. "Студен кладенец" е 98 km. Средната надморска височина на водосбора е 550 m, средният наклон на реката е 11 ‰, а коефициентът на извитост е 2.4. Най-високата точка на водосбора е 1395 m, а най-ниската - 225 m. Водосборът е хълмист, като около 1/5 от него е разположена над 800 m. Около 40 % от площта му е залесена, главно с нискостеблени гори.

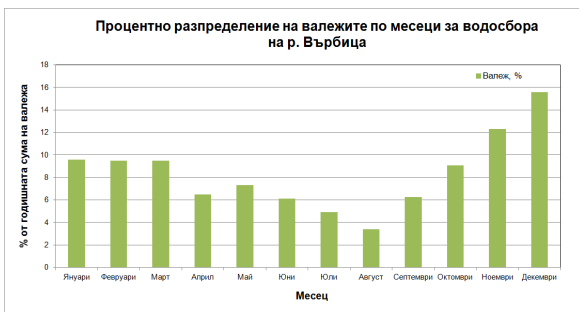
III.8.2. Хидроложки режим във водосбора на река Върбица

Средномногогодишният отток на река Върбица при спирка Джебел за периода 1961-2002 година е 16.053 m³/s [56]. Средномногогодишната стойност на модулята на оттока за водосбора за периода 1961-2002 година варира между 13.9 и 15.0 l/s/km² [56]. Периодът на маловодие е юли-септември, а периодът на пълноводие - декември - март (фиг. III.40).



Фиг. III.40 Вътрешногодишно разпределение на оттока на р. Върбица при хидрометрична станция 61500 за различни периоди

Характерна черта за най-южните водосбори (като река Върбица) е, че месечният минимален отток е почти или равен на нула (фиг. III.40). От фигурата се вижда, че сравнявайки двата периода (1961 - 1990 г.) и (1981 - 2010 г.) наблюдаваме тенденция на намаление на оттока в периода на маловодие във времето. Причините за ниските стойности на оттока в периода на маловодие могат да бъдат търсени в: пещкливите леки почви и обезлесените склонове, които благоприятстват за бързото оттичане на дъждовните води и бързото изтощаване на подземни води в речните тераси и наносните конуси; водовземанията през летните месеци [57].



Фиг. III.42 Процентно разпределение на валежите за водосбора на р. Върбица за периода 1991-2010 г.

От фигура III.42 се вижда, че в периода октомври до март валежите са значително повече в сравнение с останалата част от годината. Тогава се случва около 2/3 от годишната сума на валежите за водосбора. През есенно-зимния период се увеличава броят на средиземноморските циклони и конвективните явления, които често предизвикват обилни и интензивни валежи във водосбора.

III.8.3. Хидровалидиране

Под термина хидровалидиране, използван в проекта HSAF, се разбира процесът на калибриране на модела за пилотния водосбор с данни за валеж от конвенционални станции и автоматични станции. Следващата стъпка в този процес е симулации с получените параметри, като при тях реалният валеж се замества с валежа, получен от сателитна информация. След което двете симулации се сравняват и се правят анализи с използване на няколко статистически оценки.

Използван е NAM модула на моделиращата платформа MIKE11.

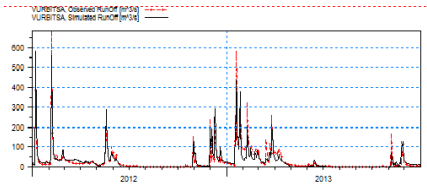
III.8.3.1. Налични данни и избор на период на калибриране и валидиране

Поради причина, че 2011 година се отличава с това, че е сравнително суха година, а периодът 2012-2014 години се характеризира със сравнително еднакви хидрометеорологични условия и водност, за процеса на калибриране са избрани 2012 и 2013 година, а за валидиране - 2014 година.

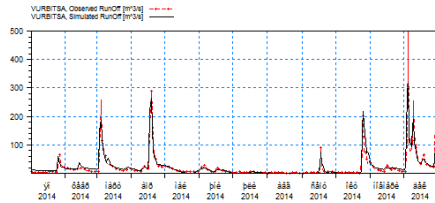
За процеса на калибриране са използвани 24 часови суми на валежа и средноденонощни температури за станциите във водосбора от оперативната база данни на филиал Пловдив на НИМХ-БАН и средноденонощното водно количество за хидрометрична станция 61500 (река Върбица - спирка Джебел).

III.8.3.2. Резултати от калибрирането на модела

На фигури III.43 и III.44 са показани симулациите, съответно за периода на калибриране и валидиране на модела.



Фиг. III.43 Калибриране на модела за р. Върбица



Фиг. III.44 Валидиране на модела за р. Върбица

Червена линия - наблюдаван отток; Черна линия - симулиран отток

Статистически оценки:

NSC = 0.860

0.793

CC = 0.860

0.795

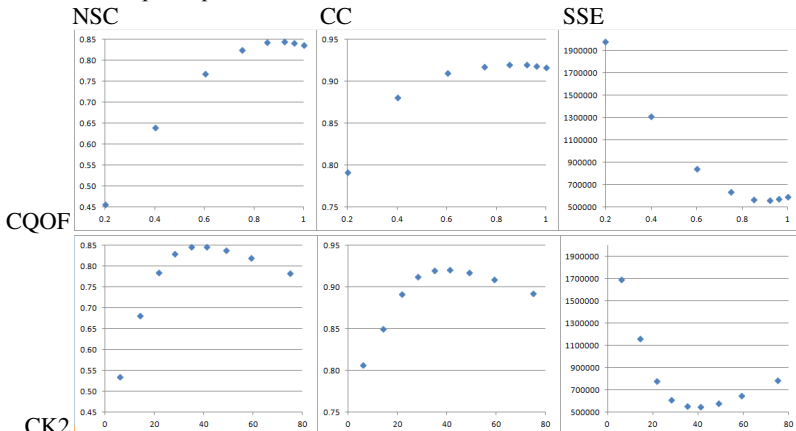
От анализа на получените резултати и статистически оценки за двата периода (на калибриране и валидиране) може да се каже, че получените стойности на параметрите на модела описват много добре процеса валеж-отток за водосбора на река Върбица.

III.8.3.3. Чувствителен анализ на параметрите за модела на река Върбица

За пълнота на изследването ще бъдат показани резултатите от чувствителния анализ, проведен за модела на река Върбица и ще бъдат съпоставени с тези за водосбора на река Черни Лом.

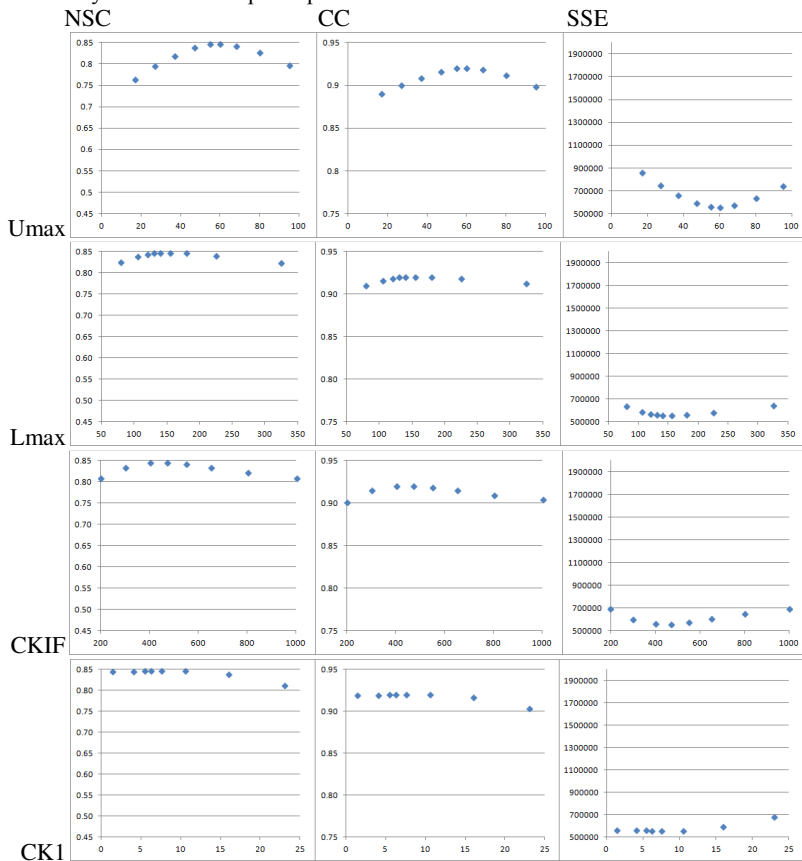
Разглеждайки получените резултати от чувствителния анализ на параметрите за водосбора на река Върбица, най-чувствителните параметри са: **CQOF** и **CK2** (фиг. III.45), по-малко чувствителни са: **Umax**, **Lmax**, **CK1**, **CKIF** (фиг. III.46) и нечувствителни за модела са параметрите: **TIF**, **TOF**, **TG**, **CKBF**.

Чувствителни параметри:



Фиг. III.45 Графична зависимост между 3 статистически параметъра и чувствителните параметри на модела за р. Върбица

По-малко чувствителни параметри:



Фиг. III.46 Графична зависимост между 3 статистически параметъра и по-малко чувствителните параметри на модела за р. Върбица

Може да се каже, че при водосбора на река Върбица, поради по-планинския характер на водосбора, по-голям процент от валежа се превръща директно в отток, който е между 40 и 60 %, докато за водосбора на река Черни Лом той е едва между 8 и 15 %. Поради тази причина за водосбора на река Върбица, параметърът **CQOF** е многократно по-чувствителен, в сравнение с този на река Черни Лом.

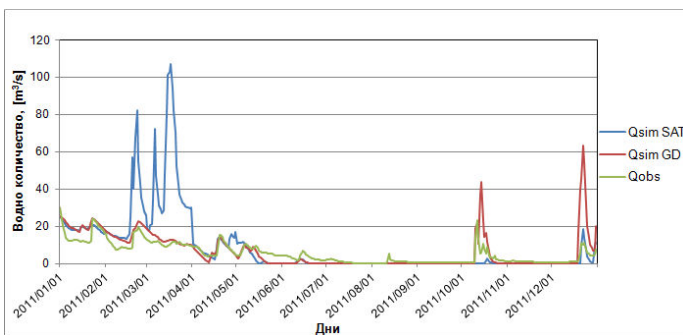
Друга съществена разлика между двата водосбора е, че при водосбора на река Върбица почти липсва подземно подхранване, докато при този на река Черни Лом то формира значителна част от повърхностния отток. Това е причина параметрите, влияещи на подземния отток, да са по-чувствителни за водосбора на река Черни Лом отколкото при река Върбица.

Видно е освен това, че коефициентът, който отчита времето на концентрация на висока вълна (**CK2**) е много по-чувствителен при водосбора на река Върбица отколкото при водосбора на река Черни Лом. Това са дължи на факта, че във

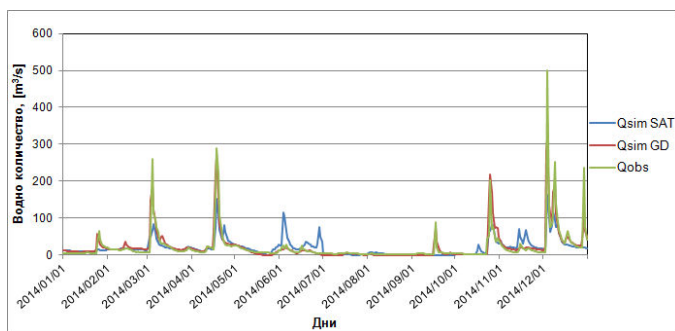
водосбора на река Върбица се формират значителни пикове на високите вълни, които се намаляват/увеличават много по-бързо при промяна на този параметър, в сравнение с пиковите, формирани във водосбора на река Черни Лом.

III.8.3.4. Процес на валидиране на продукта за валеж

Поради факта, че основният период на дискретизация при статистическите оценки, съгласно методиката приета в проекта HSAF, е месец, калибрираният модел се стартира всеки месец в интересувания ни период, като се използват началните условия, получени от симулациите с наземна информация. Валидирането на продукта за валеж, за всяка от годините, е получено чрез 12 симулации (по една за всеки от месеците в годината) като в месеца, който се провежда симулацията наземният валеж се заменя с този от сателитния продукт. На фигури III.48 и III.49 са показани резултатните хидрографи, получени след симулациите, за всяка от разглежданите години. В тях: Qsim SAT - водни количества от симулации с валеж, изчислен от сателитни данни; Qsim GD - водни количества от симулации с валеж от конвенционални станции; Qobs - наблюдавани водни количества.



Фиг. III.48 Хидрограф на наблюдавани и симулирани водни количества за 2011 г.



Фиг. III.49 Хидрограф на наблюдавани и симулирани водни количества за 2014 г.

В таблици III.6 - III.9 са показани резултатите от статистическите оценки.

Табл. III.6 (лява) и табл. III.7 (дясна) Статистически оценки на симулираните водни количества с данни за валежи от продукта (Qsim SAT) спрямо наблюдавани водни количества (Qobs) (дясна) и с данни за валежи от конвенционални станции (Qsim GD) спрямо наблюдавани водни количества (Qobs) (лява) за 2011 г.

| Продукт: H05 | | | | | | Продукт: H05 | | | | | | | |
|--------------|----------------|-------|--------|--------|---------|--------------|--------|-----------------|--------|--------|-----------|--|-----|
| Месец | Qsim GD - Qobs | | | | | N-S | Месец | Qsim SAT - Qobs | | | | | N-S |
| | MaxAE | MAE | RMSE | R | | | | MaxAE | MAE | RMSE | R | | |
| 1 | 10.352 | 5.006 | 5.895 | 0.777 | -0.368 | 1 | 8.477 | 4.949 | 5.506 | 0.519 | -0.194 | | |
| 2 | 7.426 | 4.299 | 4.539 | 0.929 | -0.329 | 2 | 64.549 | 14.675 | 21.599 | 0.690 | -29.095 | | |
| 3 | 5.790 | 2.054 | 2.640 | 0.710 | -6.739 | 3 | 96.883 | 36.103 | 45.068 | -0.154 | -2254.540 | | |
| 4 | 4.370 | 1.516 | 1.936 | 0.881 | 0.675 | 4 | 12.169 | 2.435 | 3.912 | 0.552 | -0.326 | | |
| 5 | 5.157 | 2.919 | 3.414 | 0.873 | -1.848 | 5 | 7.973 | 4.691 | 5.020 | 0.375 | -5.158 | | |
| 6 | 4.915 | 3.009 | 3.226 | 0.540 | -4.462 | 6 | 4.855 | 2.969 | 3.216 | 0.460 | -4.431 | | |
| 7 | 2.757 | 0.844 | 1.204 | 0.937 | -0.962 | 7 | 2.757 | 0.844 | 1.204 | 0.937 | -0.962 | | |
| 8 | 5.275 | 0.879 | 1.315 | -0.221 | -0.809 | 8 | 5.275 | 0.879 | 1.315 | -0.219 | -0.809 | | |
| 9 | 0.692 | 0.569 | 0.579 | -0.079 | -27.906 | 9 | 0.692 | 0.569 | 0.579 | -0.082 | -27.908 | | |
| 10 | 38.000 | 4.437 | 9.587 | 0.612 | -2.705 | 10 | 23.093 | 4.013 | 6.358 | 0.142 | -0.629 | | |
| 11 | 1.895 | 0.975 | 1.007 | 0.820 | -13.647 | 11 | 1.895 | 0.975 | 1.007 | 0.820 | -13.647 | | |
| 12 | 53.346 | 8.651 | 16.392 | 0.922 | -23.213 | 12 | 6.498 | 1.993 | 2.746 | 0.859 | 0.321 | | |
| Цял период | 53.346 | 2.934 | 6.188 | 0.780 | -0.706 | Цял период | 96.883 | 6.238 | 14.818 | 0.605 | -5.917 | | |

Табл. III.8 (лява) и табл. III. 9 (дясна) Статистически оценки на симулираните водни количества с данни за валежи от продукта (Qsim SAT) спрямо наблюдавани водни количества (Qobs) (дясна) и с данни за валежи от конвенционални станции (Qsim GD) спрямо наблюдавани водни количества (Qobs) (лява) за 2014 г.

| Продукт: H05 | | | | | | Продукт: H05 | | | | | | | |
|--------------|----------------|--------|--------|-------|--------|--------------|---------|-----------------|--------|--------|---------|--|-----|
| Месец | Qsim GD - Qobs | | | | | N-S | Месец | Qsim SAT - Qobs | | | | | N-S |
| | MaxAE | MAE | RMSE | R | | | | MaxAE | MAE | RMSE | R | | |
| 1 | 27.570 | 7.136 | 9.038 | 0.798 | 0.575 | 1 | 50.383 | 8.736 | 12.643 | 0.686 | 0.169 | | |
| 2 | 20.484 | 5.687 | 7.234 | 0.375 | -2.280 | 2 | 7.939 | 3.466 | 4.469 | 0.725 | -0.252 | | |
| 3 | 77.312 | 10.565 | 20.501 | 0.912 | 0.822 | 3 | 191.584 | 15.923 | 37.591 | 0.789 | 0.492 | | |
| 4 | 61.218 | 10.121 | 18.761 | 0.959 | 0.918 | 4 | 138.021 | 20.610 | 39.606 | 0.906 | 0.636 | | |
| 5 | 6.477 | 3.290 | 3.862 | 0.961 | 0.591 | 5 | 18.290 | 5.054 | 6.518 | 0.734 | -0.186 | | |
| 6 | 12.612 | 2.494 | 3.881 | 0.847 | 0.623 | 6 | 91.182 | 23.513 | 32.169 | 0.435 | -24.909 | | |
| 7 | 5.150 | 2.432 | 2.767 | 0.600 | -4.304 | 7 | 5.375 | 3.365 | 3.496 | 0.614 | -7.469 | | |
| 8 | 2.777 | 1.806 | 1.872 | 0.575 | -8.911 | 8 | 4.259 | 1.826 | 2.067 | 0.845 | -11.079 | | |
| 9 | 25.762 | 4.561 | 7.181 | 0.893 | 0.790 | 9 | 89.825 | 7.281 | 17.286 | -0.110 | -0.216 | | |
| 10 | 104.610 | 13.732 | 29.524 | 0.898 | 0.453 | 10 | 136.791 | 10.109 | 26.269 | 0.771 | 0.567 | | |
| 11 | 10.999 | 5.526 | 5.868 | 0.842 | 0.230 | 11 | 56.541 | 15.608 | 19.884 | 0.502 | -7.842 | | |
| 12 | 184.634 | 27.015 | 54.305 | 0.830 | 0.681 | 12 | 338.335 | 34.479 | 79.862 | 0.756 | 0.310 | | |
| Цял период | 184.634 | 7.906 | 20.263 | 0.892 | 0.793 | Цял период | 338.335 | 12.525 | 31.804 | 0.728 | 0.491 | | |

От получените резултати, показани в таблици III.6 до III.9, могат да бъдат направени следните анализи:

- за 2011 година (табл. III.6 и табл. III.7):

Анализ на симулациите с наземна информация:

В началото на годината, поради все още голямата почвена влажност, симулациите на модела с наземна информация дават добри резултати: корелационният коефициент за месеците от януари до май е между 0.78 и 0.92. След юни, до края на годината, настъпва продължителен период със значително по-малки количества валеж от типичните за района. Това води до намаляване почвената влажност и поради тази причина дори падналите валежи през месеците октомври и декември не довеждат до генериране на повърхностен отток. Поради факта, че моделът е калибриран за по-влажни години, по време на тези два валежни периода (октомври и декември), той симулира по-голям повърхностен отток от реалния (фиг. III.48). От табл. III.6 се вижда, че за месеците от октомври до декември, коефициентът на Nash-Suitcliffe е отрицателен въпреки, че коефициентът на корелация е сравнително висок, между 0.6 и 0.92. Това се потвърждава и от симулацията в периода октомври - декември 2011 г. (фиг. III.48).

Анализ на продукта за валеж:

Поради големия валеж от сателитния продукт за месец март и някои от дните към края на месец април 2011 година, моделът симулира нереалистично голям отток и коефициентът на корелация, както и коефициентът на Nash-Suitcliffe са отрицателни за този период (табл. III.7). В периода на липса на валежи двете симулации (с наземна информация и със сателитни данни) показват еднакъв

резултат, поради липса на повърхностен отток. За месеците октомври и декември (както вече бе споменато по-горе) продуктът показва тенденция да дава по-ниски стойности на валежа от реалния (вж. гл. II.2 и гл. II.3). Това е причина единият пик да не е отразен от симулацията (този през октомври) (фиг. III.48), а другият - през месец декември - да бъде добре описан по време и стойност. През месец октомври се наблюдава незначителен пик в симулирания повърхностен отток, който е отместен във времето, поради неточностите на сателитната информация.

- за 2014 година (табл. III.8 и III.9)

Анализ на симулациите с наземна информация:

Коефициентът на корелация (СС) на годишна база при симулация с наземна информация е 0.89, а на Nash-Suitcliffe (N-S) - 0.79, като през по-голяма част от месеците и двата коефициента са сравнително високи: от 0.45 до 0.92 за N-S и от 0.80 до 0.96 за СС (табл. III.8). Основно през летните месеци има недобра връзка между симулирания и наблюдавания отток. През тази година прави впечатление, че и за месец февруари не е много добра корелацията. Това може да бъде обяснено с факта, че водоносните хоризонти се изтощават в действителност по-бързо от показаното в симулационния процес.

Анализ на продукта за валеж:

През годината се наблюдават 4 високи вълни. Поради факта, че валежът от продукта силно подценява реалния валеж, високите вълни не се описват добре при симулацията с валежи от продукта (фиг. III.49) (табл. III.9). Точно обратното - през летния сезон продуктът завишава валежа от конвенционалните станции и в хидрографа се наблюдават няколко симулирани пика, които реално не са се случили.

III.9. Създаване на система за прогнозиране на отток и нива на предупреждение за водосбора на река Русенски Лом

След като моделът е калибриран и верифициран с историческа информация, следващата стъпка е да бъде организирана система за прогнозиране на оттока с използване на прогностична информация от атмосферни модели. Освен прогнозирането на оттока, в една предупредителна система е необходимо изчислените стойности на водните количества да се сравняват с предварително определени прагови стойности.

III.9.1. Изчисляване на прагови стойности на водните количества за оперативните хидрометрични станции във водосбора на река Русенски Лом

Според Закона за Водите (ЗВ), [85] чл. 146г, чл. 146д, чл. 146е за местата, за които съществува значителен риск от наводнения, трябва да бъдат направени карти, обхващащи зоните, които могат да бъдат наводнени при определени сценарии. За България са приети следните сценарии:

- наводнения с малка вероятност за настъпване, при които вероятният период за повторно настъпване е по-голям или равен на 1000 години, както и при непредвидими събития;

- наводнения със средна вероятност за настъпване, при които вероятният период за повторно настъпване е по-голям или равен на 100 години;

- наводнения с висока вероятност за настъпване, при които вероятният период за повторно настъпване е по-голям или равен на 20 години, където е целесъобразно.

Поради факта, че корекциите на реките извън населените места се изчисляват за максимални водни количества с обезпеченост веднъж на 20 години, а в населените

места - с обезпеченост веднъж на 100 години, тези две обезпечености са определени като два от праговете, които да се използват при сравняването със симулираните водни количества. В практиката е приет още един праг, който е максимално водно количество с период на повторение 1.5-2 години. Това водно количество е характерно и представлява водно количество, при което се запълва основното корито на реката [86].

В хидроложката практика, както и според Световната Метеорологична Организация (СМО) се препоръчва да се използват различни статистически разпределения за анализ на водните количества, като например:

- Normal (N) (Gauss);
- Log-normal (LN) (Hazen, 1914);
- Pearson type 3 (P3) (Foster, 1924);
- Gamma (G) (Moran, 1957);
- Log-Pearson type 3 (LP3) (U.S. Water Resources Council, 1967, 1981);
- General extreme value (GEV) (Jenkinson, 1955);
- Weibull (Wu and Goodbridge, 1976).

От правилния избор на функцията зависи адекватността на издаваните предупреждения.

В съвременната практика все по-често се използва GEV разпределението, тъй като описва добре големите стойности на максималния отток или опашката на кривата на функцията. За настоящето изследване е използвано именно GEV разпределението.

След направените анализи и изчисления са определени следните прагови стойности за всяка от станциите във водосбора на Русенски Лом (табл. III.10)

Табл. III.10 Прагови стойности на водни количества за станциите във водосбора на Русенски Лом

| Станция | Q2 | Q20 | Q100 |
|----------|------|-------|-------|
| Божичен | 29.5 | 91.6 | 159.7 |
| Широково | 33.3 | 115.6 | 175.1 |

III.9.2. Създаване на система за работа с прогностични данни

При създаването на прогностичната система е решено прогнозите да се издават с 4 дневна предварителност. За целта са необходими прогностични данни за 24 часови суми на валеж за 5 дни напред и прогностични данни за средноденонощна температура за 4 дни. Данните са от атмосферните модели ALADIN-BG (до 72 час) и ECMWF (до 120 час).

Данните за средноденонощната температура за предходния ден и валежа за настоящия, осреднени за подводосборите във водосбора на река Русенски Лом, се предоставят чрез програми и алгоритми разработени от доц. д-р Илиан Господинов във вид на ASCII файлове.

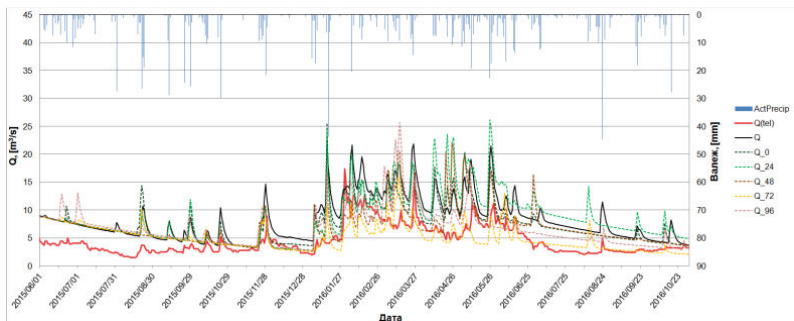
Прогностичните данни за осреднените стойности на валежа и температурата по подводосбори от моделите ALADIN-BG и ECMWF се получават от програми и алгоритми, разработени от автора на дисертационния труд и са описани в т. III.9.4.

III.9.3. Резултати от прогнозите за периода 01.06.2015 - 31.10.2016 г.

На фигура III.51 са показани наблюдавани водни количества от телеграми и симулации за периода, както следва:

- наблюдавани водни количества от телеграми (червена плътна линия);

- симулация с реално измерени и осреднени върху водосбора данни (черна линия);
- симулации с използвани прогностични данни с предварителност от 0 часа, 24 часа, 48 часа, 72 часа и 96 часа (пунктири с различни цветове). Данните с предварителност до 48 часа са от модела ALADIN-BG, а тези с предварителност 72 и 96 часа - от модела ECMWF.



Фиг. III.51 Наблюдавани водни количества по временна ключова крива за периода 1.06.2015 - 31.10.2016 г. за станция 31550. Симулирани водни количества за същия период с реално измерени данни и прогностични данни с предварителност до 4 дни

Табл. III.11 Статистическа оценка на получените резултати за целия период

| | R | F_0 | F_24 | F_48 | F_72 | F_96 |
|-----|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| N-S | -1.857 | -1.174 | -2.928 | -0.895 | 0.033 | -0.700 |
| CC | 0.826 | 0.726 | 0.655 | 0.542 | 0.469 | 0.644 |

Статистически оценки на модела за периода на калибриране и валидиране:

Период на калибриране

N-S = 0.681

CC = 0.730

Период на валидиране

N-S = 0.466

CC = 0.512

Като сравним получените резултати (фигура III.51. и таблица III.11) с тези, получени за периода на калибриране и валидиране се вижда, че за прогнозирания период резултатите са незадоволителни. Една от причините за това е, че в прогностичния период се работи с оперативна хидрологична информация (водните количества са изчислени по временни ключови криви) и оперативна метеорологична информация.

Друга причина може да се търси в промяна на подземното подхранване във водосбора, което е основен източник на отток за водосбора - например по-бързо подземно изтощаване през пролетта от моделираното такова.

Карстовият характер на долината също влияе значително върху формирането на повърхностен отток.

Може да се обобщи, че равнинният характер на водосбора, наличието на карст, непостоянните хидро-морфологични условия, сравнително малкото на брой налични конвенционални и автоматични метеорологични станции за валеж, са предпоставка за неточностите в NAM модела.

За конкретните условия може да се препоръча използването на модел, който по-добре описва процесите свързани с движението на подземните води, като например модела MIKE-SHE.

III.9.4. Създаване на програмни продукти за автоматизиране на процеса на работа

Прогностичната информация, както от ALADIN-BG, така и от ECMWF за валеж и температура, осреднена за подводосборите (вж. фиг. III.13) във водосбора на река Русенски Лом се получава чрез специално създадени програми и алгоритми, разработени от автора на дисертационния труд.

Програмите са написани на VBA и са в няколко направления:

1. Програми за декодиране на нужната прогностична информация за захранване на модела с данни от атмосферните модели ALADIN-BG и ECMWF (фиг. III.53);
2. Създаване на архив от прогностични данни за температура и валеж, осреднени по подводосбори с предварителност до 5 дни (фиг. III.54);
3. Автоматизиране процеса на издаване на ежедневен бюлетин за водосбора на река Русенски Лом (фиг. III.55): попълване на екселски файл с данни за водни количества за деня; създаване и попълване на DOC файл за настоящия ден с графики и текст; изпращане на файловете в директория на оперативен сървър \maritsa за понататъшна визуализация на уебстраница и работа на дежурните хидролози.

| | A | B | C | | A | B | C |
|---|---------------------------------|---|---|---|--|---|---|
| 1 | 2016/11/06 | | | 1 | 2016/11/06 | | |
| 2 | | | | 2 | | | |
| 3 | ПРОГРАМА | | | 3 | ПРОГРАМА | | |
| 4 | за декодиране на различни | | | 4 | за декодиране на данни за | | |
| 5 | параметри от ECMWF по пиксели и | | | 5 | температура, валеж и относителна | | |
| 6 | прогностични срокове за | | | 6 | влажност от симулации на ALADIN в 06 | | |
| 7 | територията на Р България - от | | | 7 | UTC за подводосборите в басейна на р. | | |
| 8 | датата следваща посочената в | | | 8 | Русенски Лом от датата следваща тази в | | |
| 9 | клетка A1 до настоящата | | | 9 | клетка A1 до настоящата дата. | | |

Фиг. III.53 Програми за декодиране на прогностични данни от атмосферните модели ALADIN-BG и ECMWF

| | | |
|--|--|---|
| ПРОГРАМА за вкарване на данни от ECMWF по подводосбори и направа на 24 часови суми на валежи и средноденонощни температури. Направа на база от данни с различна предварителност от ECMWF. | ПРОГРАМА за вкарване на данни от ALADIN по подводосбори и направа на 24 часови суми на валежи и средноденонощни температури. Направа на база от данни с различна предварителност от ALADIN. | ПРОГРАМА за вкарване на средноденонощни температури (анализ за изминалото денонощие) и 24 часов валеж (анализ за настоящия ден) по подводосбори предоставени от доц. Илиян Господинов |
|--|--|---|

Фиг. III.54 Програми за създаване на архив от анализ и прогностични данни с различна предварителност по подводосбори от атмосферните модели ALADIN-BG и ECMWF

| | | |
|--|---|--|
| ПРОГРАМА за вкарване на изчислено по временна ключова крива водно количество от станциите Божичен и Широково | ПРОГРАМА за вкарване на графики с моделираните и наблюдавани водни количества от XLS файл в DOC файл и създаване първоначален вариант на текст за прогноза | ПРОГРАМА за качване на направените PDF и DOC файлове в директория на оперативния сървър за дежурните хидролози |
|--|---|--|

Фиг. III.55 Програми за автоматизиране процеса по създаване на прогнози за водосбора на р. Русенски Лом

III.10. Изводи

За хидроложкото моделиране могат да се направят следните изводи:

- от анализа за влиянието на снеготопене при формирането на оттока става ясно, че за правилното функциониране на модела е изключително важно да бъде изчислена коректно среднопретеглената температура на въздуха за даден водосбор;
- от резултатите, получени при хидроложкото моделиране на двата водосбора е видно, че използваният модел дава много добри резултати при водосбори, при които

подземното подхранване е незначително. За водосбори със значително подземно подхранване и наличие на карст, какъвто е водосборът на река Русенски Лом, е необходимо да бъде моделирано по-добре движението на подземните води с използване на модел като MIKE-SHE;

- направени са статистически оценки на резултатите получени от моделирането с използване на сателитна, наземна информация и реални измервания. От тях се вижда, че през по-влажното полугодие, октомври - март, моделирането на отток с използване на сателитна информация за валежи дава силно занижени водни количества. Точно обратната тенденция се наблюдава в по-сухото полугодие - симулираните водни количества се завишават със сателитна информация;

- чрез създадените програми се дава възможност за координиране на отделните процеси при създаването на крайният продукт - от организиране на входна информация за модела, до публикуването на прогнозата;

- така създадените програми съкращават времето за издаване на прогноза, с което се дава възможност за бърза и адекватна реакция при наводнения.

IV Приложение на хидравлично моделиране в системите за ранно предупреждение

През последните години в България се наблюдават все повече екстремни явления - обилни и интензивни дъждове, наводнения и други, които нанасят значителни материални щети, а понякога дори и човешки жертви. В тази връзка превенцията е една от задължителните мерки, които трябва да бъдат направени с оглед намаляване на негативното влияние от тези екстремни явления. За да бъдат изчислени котите на свободната водна повърхност, получени вследствие на такива явления е нужен хидравличен модел. В тази глава е направен преглед на 1D и 2D хидравлични модели, както и предимствата и недостатъците на 1D и 2D моделирането. Показани са стъпките за изграждане на 1D хидравличен модел, неговото калибриране и валидиране. Той е приложен за създаването на карти на заплахата от наводнения за района на река Марица между градовете Пловдив и Първомай във връзка с изпълнението на Директивата за наводнения [1].

IV.1. Кратка характеристика на 1D и 2D хидравлични модели

Хидродинамичните изчисления са базирани на еднодименсионално (1D) и двудименсионално (2D) моделиране. Използването на определен софтуер зависи от опитността на служителите, както и от практиката в съответната институция. Тази задача изисква добра техническа подготовка и практика. В някои случаи се използва комбинация от 1D и 2D в един сложен софтуер.

1D моделите са най-често използваните не само от гледна точка на техния брой и цена на комерсиалните програми, но също и от гледна точка на практическата им употреба при управлението на водите. При тях се правят редица приемания, които опростяват движението на потока в напречния профил.

2D математичните модели широко се използват в момента, благодарение на бързото развитие на изчислителната техника, което е било основен лимитиращ елемент за тяхното масово използване. Тези математични модели използват двудименсионална хоризонтална схематизация, която може да бъде представена като изчислителна мрежа (обикновено квадрат или триъгълник), която покрива изследваната територия.

По долу е направено сравнение и са показани основните предимства и недостатъци на един модел спрямо друг:

Предимства на 1D спрямо 2D моделите:

- много по-бързи изчисления – могат да се използват online изчисления;
- могат да се използват за обширни територии;
- по-малко изисквания към основни данни (най-вече топографски);
- многобройни и разнообразни структури могат да се вкарат в изчисленията;
- по-прости решения за началните и крайни условия.

Недостатъци на 1D спрямо 2D моделите:

- моделирането е еднодименсионално (само по абсцисата "x" на течението);
- не може да бъде изразена турбуленция или друг феномен, когато преминава над прегради или други сложни процеси в заливаеми тераси;
- не могат да бъдат изразени напречни повърхностни градиенти;
- не дава пространствено разпределение на скоростите в един профил.

При еднакви други условия използването на 2D хидравличен модел е за предпочитане, което изисква наличието на точен цифров модел на терена и мощни компютри.

IV.2. Преглед на някои от използваните хидравлични модели

Тук са разгледани моделите **SMS** [12], **MIKE11** [2], **SOBEK** [6], **HEC-RAS** [105] и **FESWMS** [94].

В практиката на НИМХ-БАН за хидравлично моделиране се използват 1D моделите MIKE11 и HEC-RAS. MIKE11 е използван при изграждането на системата за предупреждение от наводнение за река Марица и река Тунджа [51], а HEC-RAS е използван при направа на сценарии за наводнения за град Смолян [106] при изграждането на системата за предупреждение за водосбора на река Арда [49].

IV.3. Хидравлично моделиране

В тази точка ще бъде представен пример за хидравлично моделиране с цел създаване на карти на заплахата от наводнения за трите сценария по чл.146е от ЗВ [85]. Избран е районът на река Марица между градовете Пловдив и Първомай (фиг. IV.1).

IV.3.1. Кратка климатична и хидроложка характеристика на водосбора на река Марица в моделирания район (района между градовете Пловдив и Първомай)

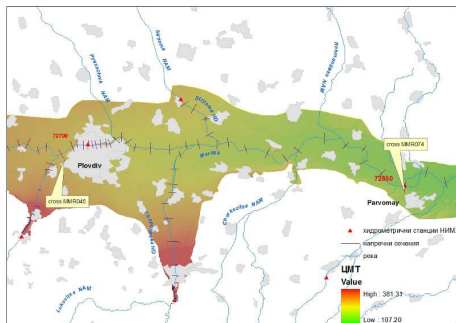
В Пловдивското поле се обособява област с преходноконтинентален климат - зимният сезон е сравнително мек и топъл, като средната януарска температура е около 0 °С. Средната юлска температура е около 23-24 °С. Ветровете преобладаващо са от запад, а от северните склонове на Родопите се спуска фьон. Налице е почти равномерно разпределение на валежите по сезони. Главният валежен максимум е през май, а минимум през март. Средна десетдневна височина на снежната покривка варира от 2 до 6 cm за периода от началото на декември до края на февруари.

Вътрешногодишното разпределение на оттока в поречието Марица се определя от климатичните особености на преходно-континенталната климатична подобласт: мека зима, сухи лято и есен. По главното поречието от Пазарджик надолу се оформя летен минимум на маловодието през септември, а периода на пълноводие е февруари - юни.

IV.3.2. Използвани данни

IV.3.2.1. Напречни сечения

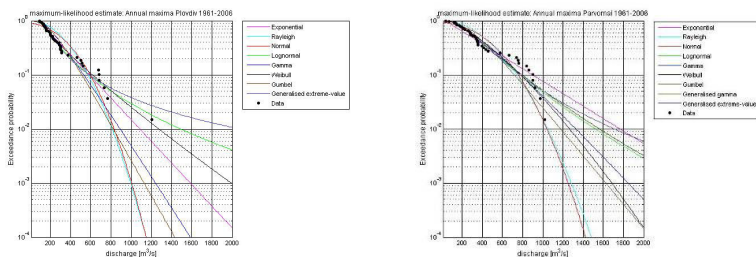
По дължината на река Марица и нейните основни притоци (река Стряма и река Чепеларска) са използвани наличните заснети напречни профили (около 50), необходими за хидравличното моделиране. Тяхното местоположение е представено на фиг. IV.1.



Фиг. IV.1 Цифров модел на терена за р. Марица между Пловдив и Първомай; местоположение на използвани напречни сечения; налични хидрометрични станции по главната река

IV.3.2.2. Хидроложки данни и анализи

За определяне на водни количества с период на повторение 20, 100 и 1000 г., са използвани хидроложки редици от годишни максимуми за станциите Пловдив и Първомай за периода 1961-2006 година. От анализа на разпределенията се вижда (фиг. IV.2), че за станция Пловдив наличните данни се описват най-добре от Weibull разпределението, а за Първомай от – Gumbel разпределението. След експертна оценка и консултации с местни специалисти са определени стойностите на Qt за всеки участък между Пловдив и Първомай, показани в таблица IV.1.



Фиг. IV.2 Избор на закон за разпределение на максималните водни количества за Хидрометрична станция Пловдив и Първомай

Табл. IV.1 Избрани оразмерителни водни количества в участъка

| Разстояние на реката до границата [m] | Q20 [m ³ /s] | Q100 [m ³ /s] | Q1000 [m ³ /s] |
|---------------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|
| 183000 | 750 | 1500 | 2400 |
| 176600 | 770 | 1520 | 2420 |
| 165800 | 860 | 1660 | 2560 |
| 162500 | 920 | 1750 | 2650 |
| 151200 | 940 | 1790 | 2690 |
| 144700 | 950 | 1800 | 2700 |

IV.3.2.3. Основни приемания, направени при разработването на хидравличния модел

В настоящето изследване приемаме стационарен режим, при който процесът на изчисление се основава на интерактивно решаване на еднодименционалното уравнение на енергията (уравнението на Бернули) [102] (27) с помощта на метода на стандартната стъпка [71]:

$$\left(z_1 + \frac{p_1}{\gamma} + \frac{\alpha_1 * V_1^2}{2g} \right) = \left(z_2 + \frac{p_2}{\gamma} + \frac{\alpha_2 * V_2^2}{2g} \right) + h_{заг.об}^{1-2} \quad (27)$$

където,

z - височина над определена равнина [m];

p - налягане [N/m²];

γ - обемно тегло на потока [N/m³];

α - скоростен множител [-];

v - скорост на потока [m/s];

g - земно ускорение [m/s²];

$h_{заг.об}$ - загуби на триене между двете сечения [m];

1;2 - индекси за двете сечения.

Възприетите основни хипотези са:

- стационарно течение - няма промени на дълбочините и скоростите в дадено сечение с времето;
- плавно изменящо се течение - предполага се разпределение на налягането по хидростатичен закон;
- еднодименционално движение - единствената компонента на скоростта е насочена по посока на течението;
- течението е с твърди неразвиваеми граници, което не позволява ерозиране или отлагане на наноси в речното легло (промени в напречните сечения).

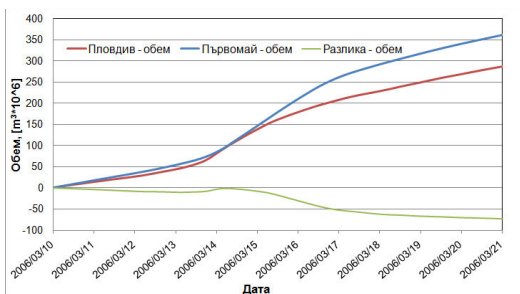
IV.4. Създаване на хидравличен модел

В точки IV.4.1 - IV.4.6 от дисертационния труд са показани стъпките, на изграждане на хидравличния модел: въвеждане на речната мрежа, въвеждане на напречни профили, въвеждане на хидротехнически съоръжения, въвеждане на защитни съоръжения, въвеждане на гранични условия, моделиране на допълнителна приточност (моделни валеж-отток).

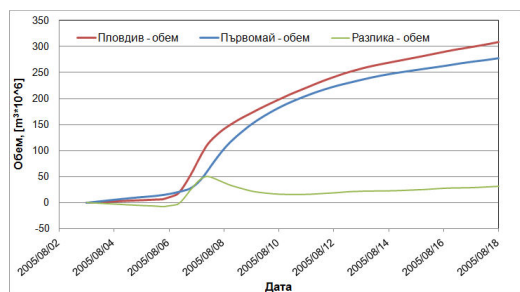
IV.5. Процес на калибриране и валидиране на хидравличния модел

Калибрирането на хидравличния модел е сложен процес. По-долу са изброени някои от основните принципи, които трябва да се спазват в този процес:

- едно от най-важните условия преди започване изграждането на модела е да се направи воден баланс – т.е. дали обемът вода, който идва от началния створ плюс обемите вода от допълнителната приточност (моделите валеж-отток) е равен на този в затварящия створ. Също така трябва да се направи анализ дали обемът вода, който се събира от притоците (моделите валеж-отток) е реалистичен. На фигури IV.8 и IV.9 са показани обемите на вълните за началния створ и крайния створ за двете високи вълни както и разликата в обемите между тях;



Фиг. IV.8 Обем на вълната от март 2006 г. за началния и крайния створ



Фиг. IV.9 Обем на вълната от август 2005 г. за началния и крайния створ

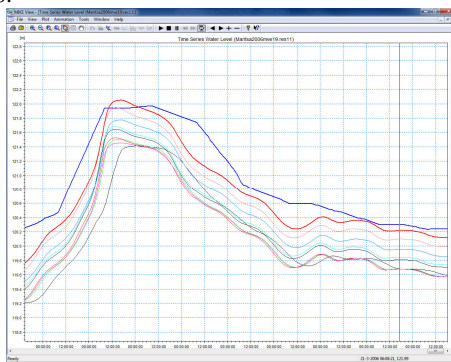
От фигура IV.8 се вижда, че при високата вълна преминала през март 2006 година обемът на вълната, регистриран при Първомай, е по-голям от този при Пловдив, тъй като между градовете Пловдив и Първомай има допълнителна приточност от вливащи се между тях притоци. Това е нормалното състояние за двете станции, ако няма разливи или скъсване диги по протежение на главната река.

За разлика от март 2006 година, при високата вълна през август 2005 година (фиг. IV.9), обемът на водата при Пловдив значително надвишава този в Първомай, особено в първите 2-3 дни, което показва, че част от обема вода, преминал през Пловдив се е разлял в крайречните тераси на реката и има скъсване на защитни съоръжения. Този факт трябва да бъде отчетен при калибрирането и валидирането на хидравличния модел.

- при разработване на модела, трябва да се направи анализ на хидрометричните станции, включени в модела, както на тези в крайните створове, така и на междинни такива, ако са ползвани данни от тях. Важно е да се проследи дали са били местени във времето, защото това може да окаже съществена разлика при моделирането на водните стоежи по-протежение на реката. Например, при надлъжен наклон на реката от 5 ‰ и преместване на станцията 100 m на горе или надолу по течението, разликата във водните стоежи ще бъде 50 cm при еднакви други условия. Сто метра не са от голямо значение за времето на движение на високата вълна – при скорост на движение около 2 m/s, това е разлика от около 2-3 min във времето, за което ще дойде пика, но 50 cm разлика във воден стоеж е съществена;

- друго важно условие при работа с данни от различни източници е тяхната съвместимост и коректност. При използване на ДТМ и теренни измервания трябва да се направи анализ на данните дали са коректни и дали могат да се използват без допълнителни модификации.

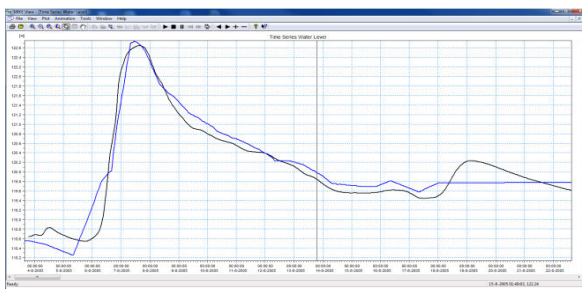
На фигури IV.10 - IV.13 е показан процеса на калибриране и валидиране за представения пример.



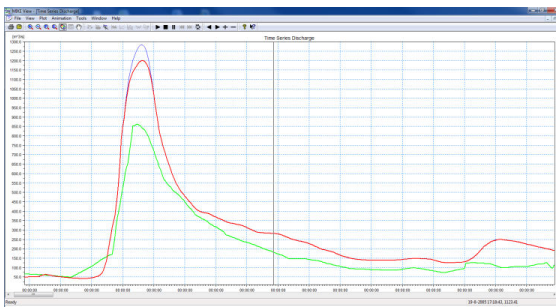
Фиг. IV.10 Процес на калибриране на модела за водно ниво за високата вълна март 2006 г. - избран е моделът, представен с червена линия (червената линия е моделирано водно ниво в затварящия створ, синята – регистрирано водно ниво)



Фиг. IV.11 Водни количества след калибриране на модела март 2006 г. (червената линия е моделирано водно количество в затварящия створ, синята – регистрирано водно количество)



Фиг. IV.12 Валидиране на модела за водно ниво за наводнението август 2005 г. (черната линия е моделирано водно ниво в затварящия створ, синята – регистрирано водно ниво)



Фиг. IV.13 Валидиране на модела за водно количество за наводнението август 2005 г. (червената линия е моделирано водно количество в затварящия створ, зелената – регистрирано водно количество)

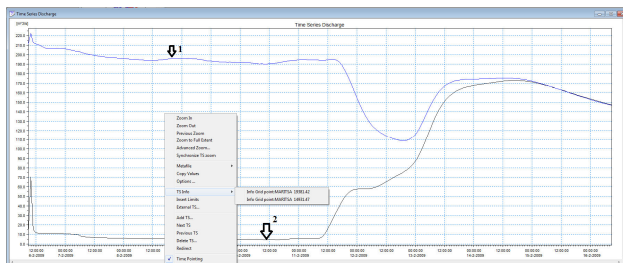
IV.6. Резултати

След като моделът е калибриран, той се стартира за водни количества с период на повторение 20, 100 и 1000 години. Тъй като имаме значително нарастване на водосборната площ между двете станции тук се използва възможността за задаване на допълнителна приточност, след вливането на всеки от по-големите притоци. Оразмерителните водни количества за всеки от сценариите са представени в таблица IV.1. (г. IV.3.2.2)

IV.7. Влияние на хидравличните характеристики и речните легла при хидравличното моделиране

По-надолу ще бъде показан пример за това как чрез прилагане на подходящи промени в хидравличния модел, могат да се получат по-добри симулации.

На фигура IV.14 е показана симулация на водното количество преди (синя линия) и след (черна линия) мястото на асимилация на водния стоеж от автоматичната станция на река Марица при град Свиленград в периода от 06.02 до 16.02.2009 г. От нея се вижда, че преди мястото (профила), на което се прави асимилацията (06.02 до 11.02.2009 г.) симулираното водно количество е между 190 и 210 m^3/s (линия 1 на фиг. IV.14), а след него - то става едва между 6 и 10 m^3/s (линия 2 на фиг. IV.14). Според оперативната база данни на филиал Пловдив на НИМХ-БАН, в този период протичащото водно количество по временна ключова крива при створа е между 75 и 107 m^3/s . Това идва да покаже, че през този период хидравличният модел не е добре калибриран.

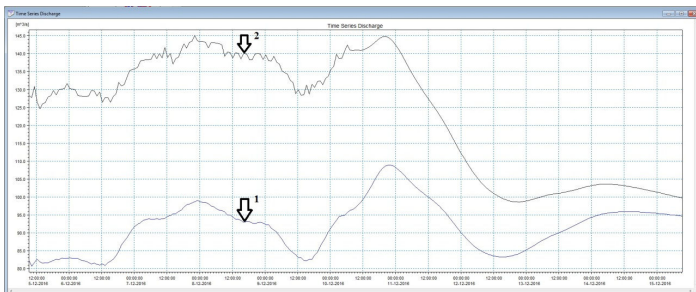


Фиг. IV.14 Симулирано водно количество преди (1) и след (2) мястото на асимилация в HD модела за река Марица при гр. Свиленград за периода 06-11.02.2009 г.

В периода ноември 2008 г. до средата на 2009 г., системата за ранно предупреждение от наводнения бе поставена в режим на тестване и бе извършено наблюдение на поведението ѝ в различни ситуации. След това започнаха да се правят промени: актуализиране на напречните профили, промяна на някои коефициенти на грапавина и др.

Всички тези промени целяха по-добро описание на симулираните от модела водни количества и водни стоежи и доближаването им до измерените.

На фигура IV.16 е показано колко добре се описва към момента симулираното от модела водно количество на хидрометрична станция 73850 (река Марица при град Свиленград). За периода 05-10.12.2016 г. то е между 123 и 146 m³/s, линия 2 на фигура IV.16. Според оперативната база данни на филиал Пловдив на НИМХ-БАН в този период протичащото водно количество по временна ключова крива през створа е между 119 и 152 m³/s.



Фиг. IV.16 Симулирано водно количество преди (1) и след (2) мястото на асимилация в HD модела за р. Марица при гр. Свиленград за периода 05-10.12.2016 г.

IV.8. Изводи

За хидравличното моделиране могат да бъдат направени следните изводи:

- прецизното калибриране на хидравличните модели е изключително важно за получаването на котите на свободната водна повърхност, особено в областта на максимални водни количества и критични прагове, което допринася за коректното издаване на предупреждения при предстоящи неблагоприятни хидрометеорологични явления;

- при създаване и калибриране на хидравличния модел е важен анализът на високите вълни, максималните водни количества, наличие на ретензираны обеми вода в крайречните тераси;

- промените в морфологичните и хидравличните характеристики на речните легла са важни фактори в хидравличното моделиране. В един оперативен модел е необходимо те да бъдат променени и актуализирани (особено след преминаване на висока вълна), за да се постигне най-малки разлики между симулирани и измерени водни количества;

- изборът на хидравличен модел трябва да е съобразен с поставените задачи.

Приноси в дисертацията

1. Изследвани са промените на характеристиките на интензивните валежи за различни периоди. Направени са изводи за тенденциите на изменението на интензивните валежи за водосбора на р. Струма и две станции в северна

България. Направените изводи и заключения ще допринесат за по-доброто описание на процесите валеж-отток при съвременния климат.

2. За целите на хидроложкото моделиране са направени анализи и оценки на валежите от сателитна информация, като за целта е ползвана методика, разработена и утвърдена в проекта HSAF. Посредством хидроложки модел валеж-отток е направена оценка на използването на тази информация за целите на хидроложкото моделиране.
3. Разработени са хидроложки модели валеж-отток за всички притоци на р. Тунджа и част от притоците на р. Марица, които са част от система за ранно предупреждение по р. Марица и р. Тунджа. Като моделираща платформа е използвана утвърдената в международната практика DHI MIKE 11. Създадените модели са с доказана полезност и са част от моделиращата система на "Система за ранно предупреждение за водосбора на р. Марица и р. Тунджа". Приносът е научно приложен.
4. След обстоен анализ на резултатите от хидроложките модели, на входните данни и методите за времето разпределение на температурата на въздуха, са извършени промени на задаване на времеви интервал и метода на изчисляване на среднотегестната стойност на температурата от наличните в даден водосбор метеорологични станции. С това се постига коректно моделиране на снеготопенето, генерирането на отток и оценката на високите води. Приносът е научно приложен.
5. Направена е нова калибровка на хидравличните модели на р. Марица и р. Тунджа, с което е подобрена надеждността и точността на прогностичните резултати от моделите. Приносът е научно приложен.
6. Създадени са редица алгоритми, които да спомагат динамиката, организацията и структурата на процесите и диалога между първична информация, входни данни и представяне на резултати от моделирането. Използвани са съвременни програмни езици. Приносът е оперативно-приложен.

Списък на публикации свързани с дисертационния труд:

I. S. Puca, P. Baguis, E. Campione, A. Ertürk, S. Gabellani, R. Iwański, M. Jurašek, J. Kaňák, J. Kerényi, G. Koshinchanov, G. Kozinarova, P. Krahe, B. Łapeta, E. Lábó, L. Milani, E. Okon, A. Öztopal, P. Pagliara, F. Pignone, F. Porcù, C. Rachimow, N. Rebora, A. Rinollo, E. Roulin, İ. Sönmez, A. Toniazzo, G. Vulpiani, D. Biron, D. Casella, E. Cattani, S. Dietrich, S. Laviola, V. Levizzani, D. Melfi, A. Mugnai, G. Panegrossi, M. Petracca, P. Sanò, F. Zauli, P. Rosci, L. De Leonibus "The validation service of the hydrological SAF geostationary and polar satellite precipitation products.", *Natural Hazards and Earth System Sciences* 14.4 (2014): 871-889.

2. **Георги Кошинчанов**, Снежанка Балабанова, Михал Веверка "Хидравлично моделиране на висока вълна с различна обезпеченост по р. Марица в участъка между Пловдив и Първомай с MIKE11", списание БУЛАКВА, бр. 3/2015, стр. 82-89, ISSN 1312-3912

3. *Artinyan, E., Vincendon, B., Kroumova, K., Nedkov, N., Tsarev, P., Balabanova, S., & Koshinchanov, G.* (2016). Flood forecasting and alert system for Arda River basin. *Journal of Hydrology*.

БЛАГОДАРНОСТИ

Благодаря на научния ръководител проф. д-р инж. Николай Лисев за подкрепата, напътствията и съветите, които получавах в процеса на работата. Благодаря му и за търпението, което проявяваше по време консултациите.

Специални благодарности към прекия ми ръководител доц. д-р инж. Снежанка Балабанова за цялостната подкрепа и ценните съвети в последния етап от работата по дисертационния труд, както и към колегите от секция "Хидрологични прогнози" за проявеното разбиране.

Изказвам благодарности и на колегите от НИМХ-БАН: проф. д-р инж. Пламен Нинов, проф. д-р Добри Димитров, проф. д-р Валери Спиридонов, проф. д-р инж. Цвятка Карагьозова, проф. д-р Христо Георгиев, проф. д-р Валентин Казанджиев, доц. д-р инж. Ерам Артинян, доц. д-р Веска Георгиева, доц. д-р Нейко Нейков за оказаните консултации, подкрепа и съвети, които получавах, а също и за увереността, която получавах да продължавам смело в приключението "докторантура".

Искам да изкажа благодарности и на Job Udo и Arne Roelevink от НКV, които в качеството си на консултанти и основни изпълнители на предупредителната система по проекта "Capacity improvement for flood forecasting in the BG-TR CBC Region - Technical Assistance for flood forecasting and Early Warning System for Maritsa and Tundzha Rivers" се отзоваваха с охота на всички въпроси, възникващи по време на изграждането и експлоатацията на създадената система.

Искам да благодаря и на Michal Veverka (DHI, Чехия), от който съм получавал ценни съвети относно хидравличния и хидроложки модул на MIKE11 в контекста на изградената система за ранно предупреждение за наводнение за водосборите на р. Марица и р. Тунджа и при работата ни по "Методика за оценка на заплахата и риска от наводнения, съгласно изискванията на Директива 2007/60 ЕС" по договор с МОСВ.

Искам да изкажа благодарности и на Jan Spatka (DHI, Чехия), с който работих по проект по програма TAEX, в който НИМХ-БАН беше бенефициент и чиито съвети относно цялостната структура на хидравличния и хидроложките модели на вече изградената система за ранно предупреждение по река Марица и река Тунджа се оказаха ценни за бъдещето стабилно функциониране на системата.

Бих искал да благодаря и на майка ми, за непрекъснатата обич, с която ме дарява, както и стимула и куража, които получавах от нея по време на цялата работа.