

**Б Ъ Л Г А Р С К А   А К А Д Е М И Я   Н А   Н А У К И Т Е**  
**НАЦИОНАЛЕН ИНСТИТУТ ПО МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ**

**Бернардо Лизама Ривас**

**РЕГИОНАЛЕН ЧЕСТОТЕН АНАЛИЗ НА  
МАКСИМАЛНИЯ ОТТОК В ПОРЕЧИЯТА НА  
ЮЖНОТО ЧЕРНОМОРИЕ**

***АВТОРЕФЕРАТ***

*на дисертация*

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"  
в област на висше образование 5. Технически науки, по професионално  
направление 5.7. Архитектура, строителство и геодезия (Инженерна хидрология,  
хидравлика и водно стопанство)

**София – 2014 г.**

Дисертационният труд е в обем 135 страници. Изложението е структурирано в четири глави, които съдържат 25 таблици и 36 фигури. Библиографията включва 256 източника (66 на кирилица и 190 на латиница). Номерата на таблиците и фигурите в автореферата съответстват на номерацията в дисертационния труд.

Защитата на дисертационния труд ще се състои на 27 май 2014 г. от 14.00. часа в заседателната зала на Учебния център в Националния институт по Метеорология и Хидрология (съгласно заповед на Директора на НИМХ при БАН № 42 от 04.03.2014 г.).

**Състав на научно жури:**

проф. д-р Пламен Нинов – НИМХ  
проф. д-р Оханес Сантурджиян - НИМХ  
проф. д-р Евелин Монеv – НИМХ  
доц. д-р Кръстю Даскалов – УАСГ  
доц. д-р Николай Лисев – УАСГ

Материалите по защитата са на разположение на интересувашите се в канцеларията и на интернет страницата на Националния институт по Метеорология и Хидрология при БАН, гр. София: [www.meteo.bg](http://www.meteo.bg).

**Б Ъ Л Г А Р С К А   А К А Д Е М И Я   Н А   Н А У К И Т Е**  
**НАУЧЕН СЪВЕТ ПРИ НАЦИОНАЛНИЯ ИНСТИТУТ ПО**  
**МЕТЕОРОЛОГИЯ И ХИДРОЛОГИЯ**

**Бернардо Лизама Ривас**

**РЕГИОНАЛЕН ЧЕСТОТЕН АНАЛИЗ НА МАКСИМАЛНИЯ**  
**ОТТОК В ПОРЕЧИЯТА НА ЮЖНОТО ЧЕРНОМОРИЕ**

***А В Т О Р Е Ф Е Р А Т***

на дисертационен труд

за присъждане на образователна и научна степен "доктор"  
в област на висше образование 5. Технически науки, по професионално направление  
5.7. Архитектура, строителство и геодезия (Инженерна хидрология, хидравлика и водно  
стопанство)

Научен консултант:  
проф. д-р Добри Димитров

Рецензенти:  
проф. дн Евелин Монеv  
проф. дн Оханес Сантурджиян

**София - 2014**

Дисертационният труд е обсъден и насочен за защита на разширен научен семинар на департамент „Хидрология” при Национален Институт по Хидрология и Метеорология” при БАН – гр. София.

Дисертантът работи в Национален институт по метеорология и хидрология при БАН, департамент „Хидрология”, секция „Хидрология на повърхностни и подземни води”.

Изследванията по дисертационния труд са извършени в същия институт.

Автор: Бернардо Лизама Ривас

Заглавие: Регионален честотен анализ на максималния отток в поречията на Южното черноморие

Тираж: 25 броя

## **Обща характеристика на работата**

### **Актуалност на проблема**

Максималният отток е екстремно състояние на речните течения, което е резултат от протичащите процеси във водосборните басейни при проявата на съответни валежни обстановки или се генерира вследствие на антропогенни изменения на природните условия. Приижданията са характерни явления в режима на реките, които могат да предизвикват неблагоприятни последици за човека, околната среда и инфраструктурата, като причиняват разрушителни наводнения, ускоряват ерозионните и акумулативни процеси. За да бъдат взети мерки за предотвратяване или намаляване на щетите е необходимо познаване както на процесите на формиране на хидроложкия режим на реките, така и на размера и честотата на високите вълни. Определяне възникването и развитието на екстремните водни количества е една от най-значимите задачи в хидрологията и изисква задълбочено познаване на особеностите на отделните речни басейни, хидроложката изученост и наличието на дългогодишни измервания в изследваните територии. Поради естеството на формиране и развитие на максималния отток е затруднено тяхното предвиждане въз основа на детерминистични методи. В такива случаи се прилагат вероятностни подходи, които позволяват оценка на ефектите на явленията и вземане на решения. Един от тези подходи е регионалният честотен анализ, който в последните години се прилага интензивно в много страни по света. Предимството му се състои в това, че в повечето случаи решава проблема с оценката на честотата на редки явления при липсата на достатъчно дълга редица и позволява получаването на надеждни резултати, необходими при изграждането на хидротехнически съоръжения. Във връзка с това изследванията върху максималния речен отток и разработването на методи за оценки на вероятностите за възникването му имат голямото икономическо и екологично значение.

### **Цел на дисертационния труд:**

На базата на многогодишни данни да се проследи изменчивостта на хидроложкия режим в района на поречията от Южното Черноморие и разработи модел за регионален честотен анализ на максималния отток.

Основните задачи, които следва да се решат за постигане на поставената цел са:

- Проучване на съвременното състояние на проблема;

- Анализ на основните оттокообразуващи фактори и проучване на хидроложкия режим на реките в изследваните водосбори;
- Идентификация на хомогенни райони в изследваните водосбори;
- Подбор на честотно теоретично разпределение за района и оценка на регионални честотни квантили на максималния отток при различни периоди на повторяемост;
- Верификация на регионалната честотна зависимост на максималния отток и анализ на устойчивостта на избрания модел.

### **Научни приноси:**

Научните приноси в дисертационния труд могат да се обобщят както следва:

- От анализа на съвременното състояние на проблемите свързани с изследване на максималния отток е установено, че през последните години в световната практика, методът на регионалния честотен анализ на екстремни хидроложки явления заема водещо място и е подходящ за прилагане в райони с недостатъчна хидрометрична информация по отношение на гъстота и продължителност на наблюденията, какъвто е районът на поречието на Южното Черноморие.
- Определени са основните статистически характеристики на годишния, минимален и максимален отток, на базата на които е направена синтезирана оценка на териториалната изменчивост на оттока в разглеждания басейн.
- Определени са оценките на основните характеристики на речния отток - средномногогодишни стойности, минимални стойности при 95% обезпеченост и максимални стойности при 5% обезпеченост.
- Чрез критериите на Уалд –Уолфовиц, Манн–Уитни, Хелмерт, Крамер, t-Студент и Гръбс-Бек е доказана представителността на хидроложките редове на максималните водни количества в изследвания район. Установено е, че данните за максималните водни количества са хомогенни и независими и няма случаи с доказан тренд.
- С помощта на статистическите тестове за несъответствие и хетерогенност е доказано, че районът на Южното Черноморие е възможно хомогенен.
- Установено е, че подходящи за описване на максималните водни количества в изследвания район са обобщеното логистично разпределение, обобщеното разпределение на екстремните стойности и лог-нормалното разпределение. Съгласно стойностите на критерия на съгласие и от анализа на регионалните честотни криви като най-подходяща теоретична функция на разпределение на

максималните водни количества в района на поречията в Южното Черноморие е избрано Обобщеното логистично разпределение.

- За първи път за района на поречията от Южното Черноморие е разработен регионален честотен модел на максималния отток, чиито параметри са изчислени по метода на L-моментите.
- Направена е оценка на квантилите при различни периоди на повторяемост за всяка една от намиращите се в изследвания район хидрометрични станции.

### **Практическа ценност на работата**

Практическата ценност на проведените изследвания и получените резултати се определят от поставената цел. Те имат научно-приложен характер и могат да се използват при решаване на редица научни и практически задачи:

- Разработване на количествени оценки на водните ресурси на разглежданата територия и определяне на характеристиките на оттока към всеки пункт от речната мрежа;
- Разработване на количествени характеристиките на оттока в разглежданата територия, необходими при изготвянето на екологични и експертни оценки;
- Разработване на оценки на честотата на поява на екстремни водни количества, необходими при изграждането на хидротехнически съоръжения в района;
- Разработване на методични указания за оценка на риска от наводнение, с цел намаляване на неблагоприятните последици в разглежданите поречия;
- Разширяване и обогатяване на информационната и методична база, необходима за хидроложко обслужване на планиращи и ръководни органи с оглед оценка на ефектите на екстремните хидроложки явления и вземането на решения за избягване на неблагоприятните последици от възникването им.

Получените в дисертационния труд резултати могат да се използват при разработки свързани с оценки на риска от наводнение в изследвания район, които да се използват от застрахователни агенции при определяне на щетите. Получените оразмерителни водни количества могат да се прилагат при планиране и управление на водните ресурси, определяне на заливни площи и разработване на инфраструктурни проекти.

## **Апробация на дисертационния труд**

По-важните резултати от настоящия труд са изнесени на научни конференции и семинари: Семинар по екология –ИБЕИ – БАН, 25–26 април 2013 - София; Втора юбилейна научна конференция по Екология на Пловдивския университет „Паисий Хилендарски“, 01-02 ноември 2013. Някои резултати са публикувани или са под печат в български научни списания и сборници с научни трудове.

## **Структура и обем на работата**

Дисертацията съдържа 135 страници, 25 таблици и 36 фигури. Изложението е структурирано в четири глави, заключение и библиографска справка, състояща се от 256 заглавия от които 66 на кирилица и 190 на латиница. Номерата на главите, параграфите, формулите, таблиците и фигурите в автореферата съответстват на номерацията в дисертационния труд.

## **Съдържание на работата**

В **увода** са изложени актуалността на проблема, целите, задачите, научната и приложна ценност на дисертацията.

### **Глава 1. Анализ на съвременното състояние на проблема и избор на метод за изследване**

Максималните водни количества са екстремно явление с пространствено-времево изменение, които причиняват щети в отделни части на речните басейни. За да бъдат взети мерки за предотвратяване или намаляване на евентуални щети и загуби е необходимо познаване на размера и честотата на високите вълни. Тъй като проблемът за определяне на произхода и развитието им е един от най-значимите в хидрологията, то изследователи по целия свят отделят голямо внимание на неговото изследване.

Върху проблемите, свързани с изследване на максималния отток у нас се работи от много години, като основно се прилагат емпирични формули от редукиционен тип по площта на водосбора за отделни поречия и райони. Отделни изследователи сред които Крафти, Герасимов, Папазов, Монеv, Зяпков, Димитров, Модев, Божков са разработили формули и методики за оценка на високите води в отделни части от страната. Значителен принос за изследването на максималните водни количества у нас има С. Герасимов, който е публикувал редица регионални разработки и анализи на максималния



отток и предлага цялостна регионална методика за изчисление на максималния отток в басейна на р. Марица. Най-подробно описание на прилаганите методи за изследване и определяне на максималния отток е дадено в “Методично ръководство за определяне на максималния отток на реките в България» (Герасимов, 1980). През последните години у нас усилено се работи в посока на установяване на регионални характеристики за максималния отток в отделни водосбори (Модев, 2011; Димитров, 2011; Божков, 2010, 2012; Печинова, 2012).

През седемдесетте и осемдесетте години на миналия век в световен мащаб е отделено голямо внимание на разработването на ефективни методи за локални оценки на честотата на максималния отток. Публикувани са нови функции на разпределение и методи за оценка, специално разработени за честотния анализ на максималния отток. През деветдесетте години усилията са насочени към сравняване на съществуващите методи и търсене на нови източници на информация. В този смисъл честотният регионален анализ в повечето случаи решава проблема с оценката на честотата на редки явления при липсата на достатъчно дълга редица. От средата на деветдесетте години регионалният анализ се утвърждава като основна насока в областта на научните изследвания на честотния анализ на максималните водни количества.

Тъй като редиците с годишни стойности на максимални водни количества в отделните станции са сравнително къси, то за получаването на задоволителни оценки на екстремните събития Хоскинг и Уолис (Hosking и Wallis, 1997) предлагат да се използват данни от различни станции в даден регион. Предполага се, че функциите на разпределение на различните станции от региона са подобни и че тези станции формират хомогенна група. Дори и при наличие на умерена хетерогенност в рамките на региона, регионалният честотен анализ на максималния отток дава по-надеждни оценки на квантилите, отколкото получените само от локалния анализ. При регионалният честотен анализ на максималния отток не е задължително районите да са географски обособени. Влизащите станции в състава на региона имат подобна функция на разпределение. Основните трудности при използването на посочения метод са свързани с правилния избор на функцията на разпределение, която адекватно да описва поведението на данните от извадките и с определяне на параметрите на избраното разпределение. Целесъобразно е да се използват такива функции на разпределение, които имат достатъчно параметри, които да могат да имитират или възпроизвеждат широка гама на вероятни функции на разпределения. Традиционно използваните функции, включват различен брой параметри. Най-използваните за оценката на

параметрите с локалните данни са обикновеният метод на моментите, методът на максималното правдоподобие, методът на вероятностно претеглените моменти, методът на най-малките квадрати и графо-аналитичния метод на Алексеев. В последните години широко приложение намира методът на *L*-моментите. Съгласно Хоскинг (Hosking, 1990), *L*-моментите не са само просто аналози на конвенционалните моменти, но са по-добри що се отнася до свойствата на извадките и статистическите заключения в сравнение с посочените по-горе методи.

Методът на честотен регионален анализ, разработен въз основа на *L*-моментите включва четири етапа: проверка на наличните данни, идентификация на хомогенни райони, подбор на регионална честотна функция на разпределение и оценка на квантилите на регионалната честотна функция на разпределение. В последните години методът на *L*-моментите е залегнал в основата на изчисляването на статистическите параметри на регионалния честотен анализ и широко се използва от различни световни организации и агенции за околната среда при оценка на екстремни събития. Във връзка с това в настоящия дисертационен труд е проучена възможността за прилагане на този метод за регионалния честотен анализ на максималния отток в условията на Южното Черноморие на България.

## **Глава 2. Характеристика на основните оттокообразуващи фактори в района на поречията от Южното Черноморие**

При определяне на максималния отток на поречията от Южното Черноморие се изисква задълбочено познаване на физикогеографските условия на постилащата повърхност, които са основните оттокообразуващи фактори. Разглежданият район включва водосборните басейни на Югоизточна България, които обхващат земите оградени на изток от Черно море, на север от вододела на р. Камчия и р. Двойница, на запад от вододелната линия на водосборния басейн на р. Тунджа, на юг от турската граница.

### ***2.1. Речна мрежа, релеф и общ геоложки строеж***

В този раздел са описани хидрографски, геоморфологични, почвени, растителни и климатични особености на изследваната територия.

В района протичат множество самостоятелни реки с малки водосборни области, които вливат водите си направо в Черно море. От тях с най-големи водосборни области са реките Средецка с 985 km<sup>2</sup> площ и р. Велека с 995 km<sup>2</sup>. Колкото повече се отива на

юг, толкова повече се увеличава гъстотата на речната мрежа. Главните реки и техните притоци водят началото си от крайните ниски разклонения на Източна Стара планина и нейните предпланини, както и от ниската Странджа планина, като котите на изворите в повечето случаи са между 200 и 400 m. Площта на общата водосборна област на реките е 5457 km<sup>2</sup>, като релефът се мени от нископланински до хълмист. По-голямата част от речния отток се формира в стопански слабо усвоените южни райони на страната, далеч от центровете на интензивно водопотребление. Водосборите на изследваните реки са с малка надморска височина, с дълбоко врязани долини, от които използването на водите е затруднено.

## ***2.2. Климатична характеристика на района***

Разработена е обстойна климатична характеристика на изследвания район. От нея може да се направи извода, че изложеността на разглежданата водосборна област на пътя на значителна част от средиземноморските циклони през студената част на годината в съчетание с планинския масив на Странджа и равнинния терен на Бургаската низина създават условия за есенно-зимното подхранване на почвените хоризонти и речния отток. За отбелязване е и фактът, че студената част на годината е не само периодът с най-големи месечни и сезонни валежи, но и период, в който падат най-обилните единични валежи, които в някои пунктове могат да надминават 50 mm за денонощие. Понякога тези валежи падат във вид на дъжд или дъжд и сняг, който се стопява бързо и се създават условия за бързо повишаване на речния отток и предпоставки за наводнения. Установяването на периода на засушаване, който започва от края на юни и продължава до средата на септември създава условия за повишаване на изпарението и формиране на маловодие в поречията на Южното Черноморие.

## **Глава 3 Използвани данни и изследване на хидроложкия режим в поречията от Южното Черноморие**

При изучаването на максималния отток от съществена важност е доброто познаване на състоянието на съществуващата хидрометрична мрежа, хидроложката изученост и осветеност на отделните поречия с дългогодишни измервания. Във връзка с това в настоящата глава е отделено съществено място на използваните данни, които са набирани в системата на НИМХ в поречията на изследвания район и е направен анализ и оценка на хидроложкия режим в основните поречия на югоизточна България.

### 3.1. Анализ на използваните данни

За реализиране на настоящия раздел са използвани месечни и годишни данни за основните елементи на оттока (средни, минимални и максимални водни количества) в поречията на реките, протичащи в района на югоизточното Черноморско крайбрежие на страната.

Основният период на изследване на елементите на оттока е 1961 – 2002 г. Данните, необходими за изследване на речният отток и неговите характеристики са взети от разположените по поречията на реките хидрометрични станции. Опорната хидрометрична мрежа в изследвания район в настоящия момент се състои от 7 хидрометрични станции (ХМС), но за отделни времеви периоди са налични данните от 9 станции. От анализа на антропогенното влияние върху речния отток в изследвания район е установено, че данните от регистрирания отток могат да се приемат като данни за естествен отток.

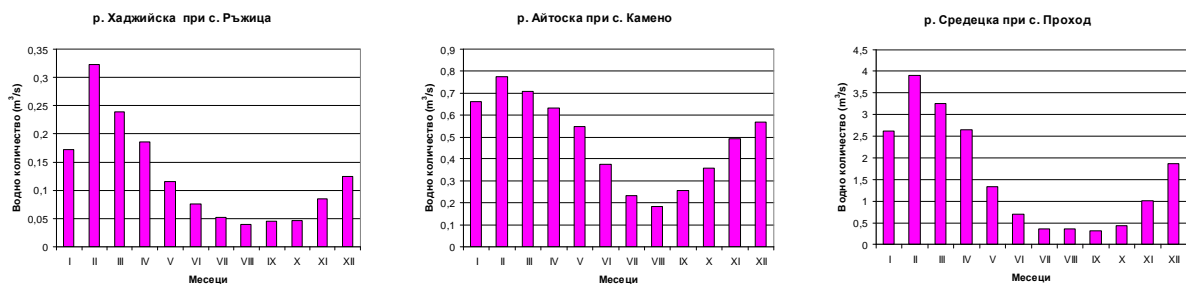
Проверката на качеството на данните е проведена под формата на три нива качествен контрол. При първият, всички данни са били визуално проверени за пълнота и отскачащи стойности, при малки пропуски по отношение на няколко дни са били запълнени чрез линейна интерполация. При вторият, е проведено изчисление на тренда на средногодишни стойности за всяка станция. Третият включва изследване на хомогенността на редиците, което е извършено с корелационен анализ и графично с двойно сумарни криви. Поради различния период на наблюдение в някои от станциите е направено възстановяване на липсващи данни и удължаване на редиците. Възстановяването на отделни липсващи стойности на средномесечния отток е извършено с еднофакторна регресия, като най-добрия аналог е търсен в рамките на съответното поречие. При удължаване на редиците с месечни стойности на оттока при хидрометричните станции са определени аналози и с помощта на изчислени преводни коефициенти тези стойности са възстановени. Липсващите стойности на годишния максимален отток не са били възстановявани.

Оценката на качеството на данните от редиците с максимални водни количества е направена както с помощта на параметрични и непараметрични техники за анализ на хомогенност и случайност на извадките, така и с прилагането на двойно сумарните криви. Проведен е анализ на последователността и валидността на информацията с цел откриване на систематични или случайни грешки. Представителността на хидроложките редове на максималните водни количества в изследвания район е изследвана с помощта на критерии за независимост (Уалд – Уолфовиц и Андерсън) при

оценка на ниво на значимост 5%; критерии за хомогенност – (Манн–Уитни, Хелмерт, Крамер и t-Стюдент) при оценка на ниво на значимост 5% и критерия на Гръбс-Бек за членове, които не принадлежат на извадката, при оценка на ниво на значимост 10%. В резултатите от проведените проучвания, съгласно посочените по-горе критерии за независимост, хомогенност и наличие на аномални стойности е установено, че в по-голямата част от случаите за изследваните редове критериалните условия са изпълнени от което следва, че информационните масиви за максималните водни количества в изследвания район са хомогенни и независими и няма случаи с доказан тренд. Независимо от факта, че с критерия на Гръбс-Бек са установени отскачащи стойности, то те не са отделени от извадките, поради факта, че това са екстремни стойности, характеризиращи изключително високи водните количества, които са се случили вследствие на локални поройни валежи.

### 3.2. Изследване на хидроложкия режим в поречията на Южното Черноморие

Вътрешно-годишното разпределение на речния отток в поречията от Южното Черноморие е обусловено от сезонните изменения на оттокообразуващите фактори на водосборните басейни. Максимумът на пълноводието е характерен за периода февруари-март, а летните месеци са изключително маловодни с добре изразен минимум през август-септември (фиг. 3.4 -3.6).



Фиг. 3.4. Вътрешно-годишно разпределение на речния отток в хидрометрични станции Ръжица, Камено и Проход



Фиг. 3.5. Вътрешно-годишно разпределение на речния отток в хидрометрични станции Светлина, Факия и Зидарово



Фиг. 3.6. Вътрешно-годишно разпределение на речния отток в хидрометрични станции Веселие, Звездец и Граматиково

Най-интензивното пълноводие на изследваните поречия достига до 22.09% през м. февруари за р. Велека при с. Звездец, а най-интензивно засушаване се наблюдава през м. август на р. Факийска при с. Зидарево - 0.65% (табл. 3.2).

Таблица 3.2. Процентно разпределение на оттока по месеци за хидрометрични станции по главните поречия

ХМС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Ръжица	11,5	21,5	15,9	12,4	7,7	5,0	3,4	2,6	23,0	3,1	5,6	8,3
Камено	11,5	13,5	11,2	11,1	9,5	6,6	4,1	3,2	4,5	6,3	8,6	9,9
Проход	13,9	20,8	17,3	14,1	7,1	3,7	1,9	1,9	1,7	2,3	5,4	9,9
Светлина	10,0	15,7	14,3	12,3	8,7	6,3	3,6	2,8	4,9	5,7	7,1	8,6
Факия	14,1	19,2	16,4	12,5	7,6	4,1	2,4	2,1	2,5	3,7	6,6	8,9
Зидарево	13,8	19,1	17,8	14,7	7,5	2,9	1,2	0,6	2,9	2,6	6,5	10,4
Веселие	15,2	18,3	18,0	12,5	6,6	2,7	2,0	1,7	1,6	3,7	7,3	10,2
Звездец	13,9	22,1	17,7	12,5	7,8	3,4	2,1	2,6	1,3	2,3	4,1	10,1
Граматиково	12,4	18,9	18,1	14,5	8,3	3,9	2,1	2,3	1,6	2,9	4,6	10,4

Отточният режим на поречиата в Южното Черноморие се характеризират със сравнително голяма годишна променливост, като се наблюдават следните периоди:

- Период на пълноводие с ясно изразен максимум през м. Февруари. Времетраенето му е от началото на януари до края на април.
- Период на пролетно понижаване на стойностите на оттока, който обхваща месеците май и юни.
- Период на маловодие с почти постоянни и при това ниски оттоци от началото на юли до края на октомври.
- Период на есенно повишаване на оттока от началото на ноември до края на годината.

Разпределението на оттока по месеци отнесено към площите на водосборите като отточен слой е показано в табл. 3.3. Налице е общо намаляване на отточния слой по месеци в посока юг-север.

Средногодишният отток на реките от Южното Черноморие по данните от хидроложките станции се изменя в границите от  $0.125 \text{ m}^3 / \text{s}$  ( $3.94 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) на р. Хаджийска при с. Ръжица до  $7.694 \text{ m}^3 / \text{s}$  ( $242.64 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ ) на р. Велека при с. Граматиково. Колебанията му в разглеждания период са в границите  $0.008\text{-}0.470 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Хаджийска при с. Ръжица) и  $1.657\text{-}20.776 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Велека при с. Граматиково). Отточните модули, даващи представа за интензивността на оттокообразуването средно върху водосборните площи се изменят в диапазона  $9.992 \text{ l} / \text{s} / \text{km}^2$  за р. Велека при с. Граматиково до  $1.954 \text{ l} / \text{s} / \text{km}^2$  за р. Айтоска при Камено. Най-високи отточни модули имат поречията с най-високи средни надморски височини на басейните. С увеличаването на водосборни площи колебанията на оттока намалява, за което свидетелстват по-ниските коефициенти на вариация.

Таблица 3.3. Разпределение на оттока по месеци изразено в отточен слой  $h$ , mm

ХМС	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Сума
Ръжица	9,2	15,6	12,8	9,6	6,1	3,9	2,8	2,1	2,3	2,4	4,4	6,6	78,0
Камено	7,3	7,7	7,0	6,8	6,0	4,0	2,6	2,0	2,7	3,9	5,3	6,2	61,6
Проход	20,9	28,2	26,0	20,4	10,6	5,3	2,9	2,9	2,4	3,4	7,9	14,8	145,9
Светлина	9,7	13,7	13,8	11,5	8,4	5,9	3,5	2,7	4,5	5,5	6,6	8,3	94,1
Факия	25,5	31,5	29,8	21,9	13,7	7,2	4,3	3,7	4,4	6,7	11,5	16,1	176,4
Зидарово	27,1	34,0	35,1	27,9	14,8	5,5	2,4	1,3	5,5	5,0	12,4	20,4	191,5
Веселие	29,1	31,8	34,5	23,2	12,7	5,1	3,8	3,3	3,0	7,2	13,6	19,6	186,9
Звездец	43,7	62,7	55,7	37,9	24,5	10,3	6,6	8,2	4,1	7,2	12,5	31,9	305,4
Граматиково	40,2	55,1	58,6	45,3	26,9	12,2	6,7	7,3	5,1	9,6	14,4	33,6	315,2

Статистическите характеристики на речния отток като средна стойност  $\bar{Q}$ , средноквадратично  $\sigma$ , коефициент на вариация  $C_v$ , коефициент на асиметрия  $C_s$ , отточни модули, максимални и минимални стойности на водните количества за разглеждания период са представени в таблица 3.4.

Таблица 3.4. Основни статистически характеристики на речния отток в поречията от Южното Черноморие

Пункт, река	Площ (А) $\text{km}^2$	Годишни стойности						
		$\bar{Q}_{1961-98}$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$\bar{M} = \frac{\bar{Q}}{A}$ $\text{l} / \text{s} / \text{km}^2$	$\bar{Q}_{\min}^{\text{annual}}$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$\bar{Q}_{\max}^{\text{annual}}$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$\sigma$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$C_v$	$C_s$
Ръжица (р. Хаджийска)	50,1	0,125	2,495	0,008	0,470	0,105	0,843	1,279
Камено (р. Айтоска)	243,2	0,475	1,954	0,045	1,263	0,326	0,685	1,016
Проход (р. Средецка)	335,8	1,558	4,638	0,115	3,760	0,962	0,617	0,771
Светлина (р. Господаревска)	387	1,158	2,993	0,221	2,260	0,621	0,536	0,234
Факия (р. Факийска)	100,5	0,562	5,596	0,134	1,456	0,310	0,552	0,940
Зидарево (р. Факийска)	628,6	3,816	6,071	1,120	13,380	2,218	0,581	2,261
Веселие (р. Ропотамо)	190	1,128	5,935	0,330	3,899	0,744	0,660	1,867
Звездец (р. Велека)	331,1	3,210	9,696	0,964	7,075	1,482	0,461	0,880
Граматиково (р. Велека)	770	7,694	9,992	1,657	20,776	4,124	0,536	1,226

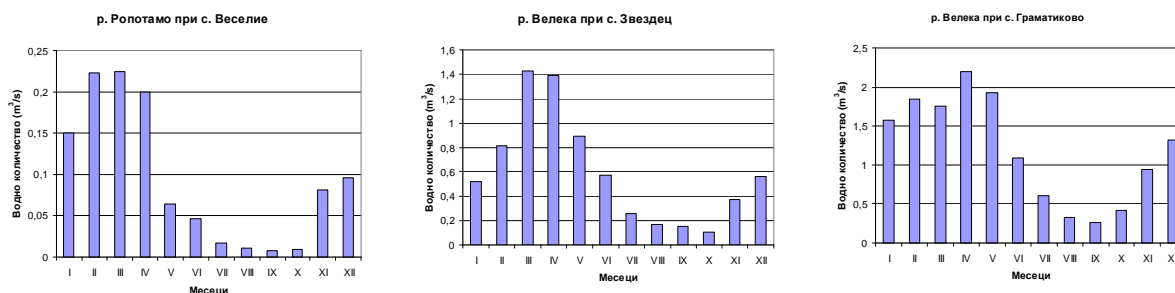
Минималният средномесечен отток се появява като правило през лятно-есенно маловодие и най-често през месеците август и септември. Той има много широк диапазон: от  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  (за реките Хаджийска, Айтоска, Средецка, Факийска) до  $0.260 \text{ m}^3/\text{s}$  за р. Велека при с. Граматиково. С най-голям период на задържане на ниски стойности на минималните водни количества се характеризират река Айтоска при хидрометрична станция Камено и река Средецка при хидрометрична станция Проход (фиг. 3.7-3.9)



Фиг. 3.7. Вътрешно-годишно разпределение на минималните водни количества в хидрометрични станции Ръжица, Камено и Проход



Фиг. 3.8. Вътрешно-годишно разпределение на минималните водни количества в хидрометрични станции Светлина, Факия и Зидарово



Фиг. 3.9. Вътрешно-годишно разпределение на минималните водни количества в хидрометрични станции Веселие, Звездец и Граматиково

В резултат от анализа на минималните водни количества през годината, може да се направи извода, че във водосборните басейни на изследваните реки, началото на понижаване на оттока е през април-май, а преминаването му в маловодие е от юли до



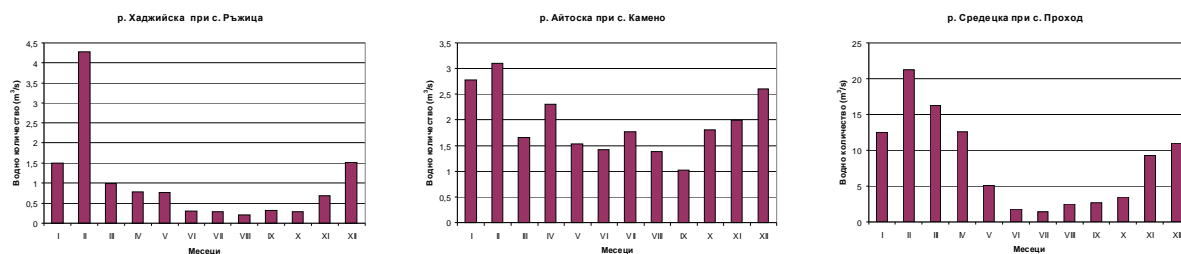
октомври, този период съвпада с периода на активна вегетация на основните растителни видове. Засушаването на района създава неблагоприятни условия за развитие на растенията и за регулирането на оттока за напоителни цели.

При анализа на годишните и месечни характеристики на минималния отток в изследваните поречия (табл. 3.5) се установи, че годишна стойност на минималния речен отток в поречията се изменя от  $0.008 \text{ m}^3 / \text{s}$  на р. Хаджийска при с. Ръжица до  $1.657 \text{ m}^3 / \text{s}$  на р. Велека при с. Граматиково (табл. 3.5). В относителни единици спрямо средногодишното  $\bar{Q}$  годишният минимален отток ( $k_{\min} = \frac{\bar{Q}_{\min}}{\bar{Q}}$  годишно) се изменя от 0.065 за р. Хаджийска при с. Ръжица до 0.300 за р. Велека при с. Звездец. Минималният средномесечен отток се появява като правило през лятно-есенно маловодие и най-често през месеците август и септември. Той има много широк диапазон: от  $0 \text{ m}^3/\text{s}$  (за реките Хаджийска, Айтоска, Средецка, Факийска) до  $0.260 \text{ m}^3/\text{s}$  за р. Велека при с. Граматиково. Относителните изражения на минималния месечен отток спрямо средногодишния ( $k_{\min} = \frac{\bar{Q}_{\min}}{\bar{Q}}$  месечно) достигат най-висока стойност 0.034 за р. Велека. Това е свидетелство, че в тази река има най-голям дял на подземното подхранване през маловодието.

Таблица 3.5. Минимален отток за поречията от Южното Черноморие

Река, пункт	Годишни стойности			Месечни стойности		
	$\bar{Q}_{\min}$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$k = \frac{\bar{Q}_{\min}}{\bar{Q}}$	$\bar{M} = \frac{\bar{Q}_{\min}}{A}$ $\text{l} / \text{s} / \text{km}^2$	$\bar{Q}_{\min}$ $\text{m}^3 / \text{s}$	$k = \frac{\bar{Q}_{\min}}{\bar{Q}}$	$\bar{M} = \frac{\bar{Q}_{\min}}{A}$ $\text{l} / \text{s} / \text{km}^2$
р. Хаджийска при с. Ръжица	0,008	0,065	0,161	0,000	0,000	0,000
р. Айтоска при с. Камено	0,045	0,095	0,185	0,000	0,000	0,000
р. Средецка при с. Проход	0,115	0,074	0,342	0,000	0,000	0,000
р. Господаревска при с. Светлина	0,221	0,191	0,571	0,001	0,001	0,003
р. Факийска при с. Факия	0,134	0,238	1,333	0,010	0,018	0,100
р. Факийска при с. Зидарево	1,120	0,293	1,782	0,000	0,000	0,000
р. Ропотамо при с. Веселие	0,330	0,293	1,737	0,007	0,006	0,037
р. Велека при с. Звездец	0,964	0,300	2,912	0,104	0,032	0,314
р. Велека при с. Граматиково	1,657	0,215	2,152	0,260	0,034	0,338

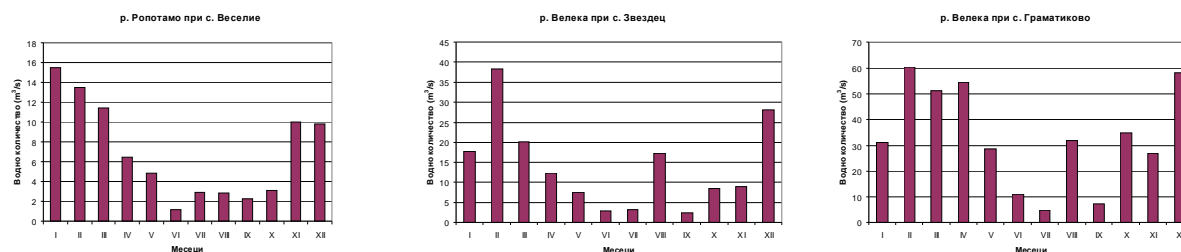
Динамиката на месечните максимални водни количества са представени на фиг. 3.10-3.12.



Фиг. 3.10. Вътрешно-годишно разпределение на максималните водни количества в хидрометрични станции Ръжица, Камено и Проход



Фиг. 3.11. Вътрешно-годишно разпределение на максималните водни количества в хидрометрични станции Светлина, Факия и Зидарово

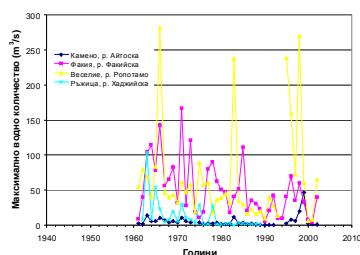


Фиг. 3.12. Вътрешно-годишно разпределение на максималните водни количества в хидрометрични станции Веселие, Звездец и Граматиково

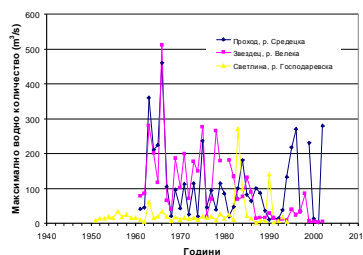
От тях може да се види, че максималните стойности обикновено се случват през февруари-март, но в отделни станции като Камено, Зидарово и Граматиково високи водни количества се регистрират и през ноември и декември, когато са максимумите на валежите. Вътрешно-годишното разпределение на максималните водни количества показва, че във водосборните басейни на изследваните реки, началото на повишаване на оттока започва през октомври и продължава до март-април. Най-ниски максимални водни количества се наблюдават през периода от юли до септември, с изключение на реките Факийска при ХМС Зидарово и Велека, където през септември се наблюдава значително повишение на максималния отток.

Освен в отделните месеци, стойностите на максималните водни количества силно се колебаят през отделните години. Редиците от годишни максимални водни количества са съставени от моментни абсолютни стойности на максималния отток, регистриран в отделните хидрометрични станции през различни моменти от годината.

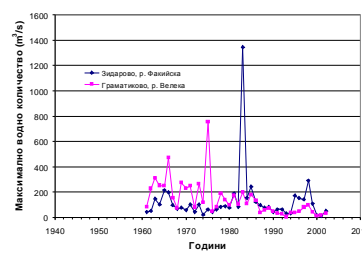
Екстремните максимални водни количества могат да имат различен произход, като най-често това са продължителните интензивни валежи. Много често екстремни стойности на протичащите водни количества могат да бъдат наблюдавани само в част от даден водосбор поради локалния характер на валежите, породили високите вълни. Във връзка с това на фигури 3.13-3.15 са дадени хронологичните графики на максималния отток за поречията южно от р. Камчия, откъдето може да се добие представа за режима на максималния отток в многогодишен аспект, а така също да се види сходството и различието в колебанията в изследвания район.



Фиг. 3.13. Годишни максимални водни количества на реките Айтоска, Факийска, Ропотамо и Хаджийска



Фиг. 3.14. Годишни максимални водни количества на реките Средецка, Велека и Господаревска



Фиг. 3.15. Годишни максимални водни количества на р. Велека и р. Факийска

Основните статистически характеристики на максималния отток са представени в таблица 3.7. Максималният речен отток в поречията се изменя от  $5.147 \text{ m}^3 / \text{s}$  на р. Айтоска при с. Камено до  $141.231 \text{ m}^3 / \text{s}$  на р. Велека при с. Граматиково. Колебанията му са в границите  $0.129\text{-}46.5 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Айтоска при с. Камено) и  $5.0\text{-}758 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Велека при с. Граматиково). Средноквадратичното отклонение на максималния отток варира между  $7.943 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Айтоска при с. Камено) и  $202.355 \text{ m}^3 / \text{s}$  за р. Факийска при Зидарево, коефициентът на вариация ( $C_v$ ) е в границите  $0.782$  (р. Факийска при Факия) и  $1.680$  (р. Хаджийска при Ръжица), а оценките за коефициента на асиметрия ( $C_s$ )  $5.561$  (р. Факийска при с. Зидарево) и  $1.135$  (р. Факийска при Факия).

Таблица 3.7. Основни статистически характеристики на максималния отток

Пункт, река	$\bar{Q}_{\max}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{\max}^{\min}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$Q_{\max}^{\max}$ $\text{m}^3/\text{s}$	$\sigma$ $\text{m}^3/\text{s}$	$C_v$	$C_s$
Камено (р. Айтоска)	5,147	0,129	46,5	7,943	1,543	4,066
Проход (р. Средецка)	109,163	3,040	460	104,629	0,958	1,509
Факия (р. Факийска)	50,285	3,750	166	39,338	0,782	1,135
Зидарево (р. Факийска)	137,805	12,900	1343	202,355	1,607	5,561
Веселие (р. Ропотамо)	65,113	5,530	281	69,816	1,072	2,169
Звездец (р. Велека)	99,585	3,630	512	104,421	1,049	1,858
Граматиково (р. Велека)	141,231	5,000	758	139,653	0,989	2,492
Светлина (р. Господаревска)	26,738	1,550	270	44,750	1,674	4,390
Ръжица (р. Хаджийска)	12,908	0,370	103	21,691	1,680	3,102

От екологична гледна точка е изключително важно да се разполага с информация за оценките на основните характеристики на речния отток - средномногогодишни стойности, минимални стойности при 95% обезпеченост и максимални стойности при 5% обезпеченост (табл. 3.8). Пресмятането на 95% квантили на месечния минимален отток и на 5% квантили на максималния отток са изчислявани чрез аналитична апроксимация на кумулативното вероятностно разпределение на оттока, прилагайки полиномиални, степенни и логнормални модели. Критерия за избор на модел е свързан с минимизация на грешката спрямо емпиричните квантили и степента на описание на асимптотите на разпределението.

Таблица 3.8. Водни количества с дадена обезпеченост и средномногогодишни стойности на речния отток за поречията южно от р. Камчия

Станции	$\bar{Q}$ [m <sup>3</sup> /s]	5% обезпеченост на Q <sub>max</sub> [m <sup>3</sup> /s]	95% обезпеченост на Q <sub>min</sub> [m <sup>3</sup> /s]
Хадийска река – с. Ръжица	0,138	66,709	0,002
Айтоска река - Камено	0,500	23,194	0,001
Средецка река – с. Проход	1,529	345,444	0,002
Господаревска – с. Светлина	1,144	79,878	0,008
Факийска река – с. Факия	0,548	136,000	0,011
Факийска река – с. Зидарево	3,693	408,968	0,003
Ропотамо – с. Веселие	1,114	206,082	0,012
Велека – с. Звездец	3,001	357,575	0,120
Велека – с. Граматиково	7,422	429,572	0,273

В заключение може да се каже, че реките от Южното Черноморие в по-голямата си част се характеризират със зимното пълноводие, най-ярко изразено в южната част с рязко покачване на оттока още през декември, достигане на максимума през февруари-март, а след април-май започва маловодният период. Минимумите на маловодието за всички реки са обикновено през август-септември, което в значителна степен се обуславя от периода на засушаване, който започва от края на юни и продължава до средата на септември.

#### **Глава 4 Регионален честотен анализ на максималните водни количества в района на поречията от Южното Черноморие**

Регионален честотен анализ на максималните водни количества в поречията на реките от Югоизточна България е извършен с помощта на метода на L-моментите. Съгласно този метод се приема, че функцията на разпределението е една и същата за

всички станции в района, като разликата между тях е свързана с мащабния фактор, който може да варира от място на място. Същността на регионалния честотен анализ е свързана с възможността данните от разположени в рамките на даден хомогенен район станции да се обединяват. По този начин се компенсира липсата на информация при къси редици с наблюдения в отделните станции (Loucks and Van Beek, 2005).

#### **4.1.Описание на метода за регионален честотен анализ на максималните водни количества**

$L$ -моментите са линейни комбинации на вероятностно претеглени моменти и представляват алтернативна система на традиционния метод на моментите за описването на функциите на разпределение. Вероятностно претеглените моменти ( $\beta_r$ ) на дадена случайна величина  $X$  с функция на разпределение  $F(X)$  се определят от израза:

$$\beta_r = E\left[x\left\{F(x)\right\}^r\right] \text{ или } \beta_r = \int_0^1 x(F)F^r dF \quad (4.1)$$

където:  $F=F(x)$  - кумулативна функция на разпределение на  $x$ ;  $x(F)$  - обратна кумулативната функция на разпределение на  $x$ ;  $r=0, 1, 2, \dots, S$  - положително цяло число.

В случаите, при които  $r=0$ , то  $\beta_0$  е равно на средната стойност на разпределението.  $L$ -моментите представляват обобщение на обикновените моменти, в които тежестта на всяко наблюдение зависи от теоретичната вероятност за възникване.

Първите четири  $L$ -моменти могат да бъдат представени по следния начин:

$$\lambda_1 = \beta_0 \quad (4.2)$$

$$\lambda_2 = 2\beta_1 - \beta_0 \quad (4.3)$$

$$\lambda_3 = 6\beta_2 - 6\beta_1 + \beta_0 \quad (4.4)$$

$$\lambda_4 = 20\beta_3 - 30\beta_2 + 12\beta_1 - \beta_0 \quad (4.5)$$

Първият  $L$ -момент ( $\lambda_1$ ) характеризира параметъра за централната тенденция или средната стойност на разпределението и се определя по аналогичен на традиционните моменти начин. Вторият момент ( $\lambda_2$ ) определя разсейването на разпределение и съответства на дисперсията на данните, третият момент ( $\lambda_3$ ) се отнася до асиметрията, а четвъртия момент ( $\lambda_4$ ) показва ексцеса на разпределението.

За да се сравняват различните станции е важно да се определят безразмерни стойности на  $L$ -моментите. Това може да се постигне чрез деление на  $L$ -моментите,

които са с по-висок порядък от параметъра за разсейването или стандартното отклонение ( $\lambda_2$ ) (Hosking и Wallis, 1997):

$$\tau_r = \frac{\lambda_r}{\lambda_2} \text{ при } r = 3, 4, \dots \quad (4.6)$$

По този начин се добива представа за формата на разпределението независимо от размера на разсейването.  $L$ -моментите могат да характеризират широка гама от вероятностни функции на разпределение, дори и когато не са налице някои от конвенционалните моменти (Hosking, 1990). Освен това, при аномално големи стойности  $L$ -моментите са по-стабилни отколкото обикновените моменти, което позволява висока степен на надеждност при изводи за основната функция на разпределение от малки извадки (Fogel and Fennessey, 1993).

Регионалният честотен анализ, който използва  $L$ -моменти включва няколко етапа: проверка на качеството на данните; определяне на хомогенни зони; подбор и оценка на функция на вероятностното разпределение.

За определяне на принадлежността на всяка хидрометрична станция към даден район се използва *тестът на несъответствие*  $D_i$ :

$$D_i = \frac{N}{3(N-1)} (u_i - \bar{u})^T S^{-1} (u_i - \bar{u}) \quad (4.16)$$

където  $N$  - брой станции,  $S$  - ковариационна матрица,  $u_i$  - вектор, формиращ се от  $L$ -моментите ( $LC_v$ ,  $LC_s$  и  $LC_k$ ) за станция  $i$  и  $\bar{u}$  - среден вектор за  $N$  станции.

За определяне на хомогенността на даден район се използва *теста за хетерогенност* ( $H$ )::

$$H = \frac{(V - \mu_v)}{\sigma_v} \quad (4.18)$$

където:  $V$  - претеглена дисперсия на  $LC_v$ ,  $\mu_v$  - средна стойност,  $\sigma_v$  - стандартно отклонение на всички стойности на  $V$ .

Прието е, че един район е „хомогенен“ при  $H < 1$ , „възможно хомогенен“ при  $1 < H < 2$  и „определено хетерогенен“, ако  $H > 2$ .

При регионалният честотен анализ се препоръчва да се използват следните функции на разпределение: Обобщено разпределение на екстремните стойности ( $GEV$ ); Разпределение на Гумбел тип I ( $EVI$ ); Обобщено разпределение на Парето ( $GPA$ ); Разпределение на Пирсън от III тип ( $PE3$ ); Лог-нормално разпределение ( $LN3$ ); Обобщено логистично разпределение ( $GLO$ ).

Подборът на функцията на разпределението се осъществява с помощта на диаграмите на  $L$ -моментите и критерия на съгласие, който се изразява по следния начин:

$$Z^{DIST} = \frac{(\tau_4^{DIST} - \bar{t}_4 + \beta_4)}{\sigma_4} \quad (4.19)$$

където  $\tau_4^{DIST}$  - теоретичната стойност на  $LCK$  на избраното разпределение ( $DIST$ ), която се получава директно от диаграмите  $LCK - LCs$ ;  $DIST$  може да бъде разпределението GEV, GLO, PE3 и др.;  $\bar{t}_4$  - средната регионална стойност на  $LCK$ , определена от данните на станциите, които съставят района;  $\beta_4$  - асиметрия на регионалната средна на  $\bar{t}_4$ ,  $\sigma_4$  - стандартно отклонение на  $\bar{t}_4$

Апроксимацията на разпределението е подходяща тогава, когато  $Z^{DIST}$  е достатъчно близо до нулата, а критичната стойност на критерия на съгласие е по-нисък от 1.64 ( $|\tau^{DIST}| \leq 1.64$ ), което съответства на доверителен интервал от 90%. След идентифицирането на функцията на разпределение се пристъпва към оценката на регионалната честотна крива и нейните параметри.

Основните стъпки и процедури, които трябва да се направят при реализирането на регионалния честотен анализ, са показани схематично на фиг. 4.1



Фигура 4.1. Схема на основните процедури на регионалния честотен анализ

## 4.2. Пресяване (скрининг) на данните за максимални водни количества

След първичната статистическа проверка, основна стъпка при всеки честотен анализ е да се провери дали използваните данни са подходящи. Отскачащите стойности, промените в тенденциите и други грешки в една извадка се отразяват в техните L-моменти. Във връзка с това, за станциите в района на Южното Черноморие бяха изчислени стойностите на L-моментите, които са представени в табл. 4.2.

Таблица 4.2. Стойности на съотношенията на L-моментите по станции

Река и ХМС	Дължина	Средно	$L-Cv$	$L-Cs$	$LCk$
	$n$	$l_1$	$t$	$t_3$	$t_4$
Айтоска река при Камено	39	5,15	0,5958	0,5423	0,4096
Река Средецка при Проход	41	109,16	0,4996	0,341	0,1476
Факийска река при Факия	42	50,29	0,4272	0,2588	0,1295
Факийска река при Зидарово	42	137,8	0,5395	0,6361	0,5837
Река Ропотамо при Веселие	41	65,11	0,4886	0,4654	0,3258
Река Велека при Звездец	41	99,59	0,5365	0,3323	0,1383
Река Велека при Граматиково	42	141,23	0,4765	0,3591	0,2076
Господаревска река при Светлина	44	26,74	0,5467	0,652	0,5848
Хаджийска река при Ръжица	28	12,91	0,6955	0,6096	0,3727

За определяне на принадлежността на всяка една от станциите към даден район е използван *тестът на несъответствие  $D_i$* , чиито стойности са представени в табл. 4.3. Резултатите показват, че за всички пунктове  $D_i$  не превишава критичния праг (2.329)

Таблица 4.3. Стойности на критерия за несъответствие ( $D_i$ )

Река и ХМС	$D_i$
Айтоска река при Камено	0,97
Река Средецка при Проход	0,61
Факийска река при Факия	1,12
Факийска река при Зидарово	1,05
Река Ропотамо при Веселие	1,23
Река Велека при Звездец	0,8
Река Велека при Граматиково	0,28
Господаревска река при Светлина	0,92

При идентифицирането на хомогенни райони първоначално басейнът на Южното Черноморие се приема като единен хомогенен район. Това предположение е изследвано чрез *теста за хетерогенност,  $H$* . За тестването на променливостта на L-моментите са използвани три статистики за разнородност:  $H_1$ ;  $H_2$  и  $H_3$ . За изчисляването им са проведени 500 симулации с помощта на четири параметричното разпределение на Каппа и получените резултати са представени в таблица 4.4.



Таблица 4.4. Стойности на теста за хетерогенност, получени в резултат от проведени 500 симулации

Тест за хетерогенност	Стойности
Наблюдавано стандартно отклонение на група L-Cv	0.0672
Симулирана средна стойност на стандартното отклонение на група L-Cv	0.0630
Симулирано стандартно отклонение на стандартното отклонение на група L-Cv	0.0195
Стойност на стандартизирания тест $H_1$	0.21
Наблюдавана средна стойност на разстояние L-Cv/L-асиметрия	0.1457
Симулирана средна стойност на средното разстояние L-Cv/L-асиметрия	0.1063
Симулирано стандартно отклонение на средното разстояние L-Cv/L-асиметрия	0.0279
Стойност на стандартизирания тест $H_2$	1.41
Наблюдавана средна стойност на разстояние L-асиметрия /L-ексцес	0.2023
Симулирана средна стойност на средното разстояние L-асиметрия/L-ексцес	0.1341
Симулирано стандартно отклонение на средното разстояние L-асиметрия /L-ексцес	0.0368
Стойност на стандартизирания тест $H_3$	1.85

Съгласно получените стойности на разглеждания тест, изследваният район може да се определи като *възможно хомогенен район*.

#### 4.3. Определяне на функция на разпределение на максималните водни количества в района на поречията в Южното Черноморие.

За определяне на функцията на разпределение на максималните водни количества в района на поречията в Южното Черноморие са изпитани следните три-параметрични функции: обобщеното логистично разпределение, обобщеното разпределение на екстремните стойности, обобщеното разпределение на Парето, три-параметричното лог-нормално разпределение и разпределението на Пирсон III тип. За всяко разпределение е изчислен критерият на съгласие  $Z^{Dist}$ , като се използват резултатите от 500-те симулации на разпределението на Каппа. В Таблица 4.5 са дадени получените стойности на  $Z^{Dist}$ .

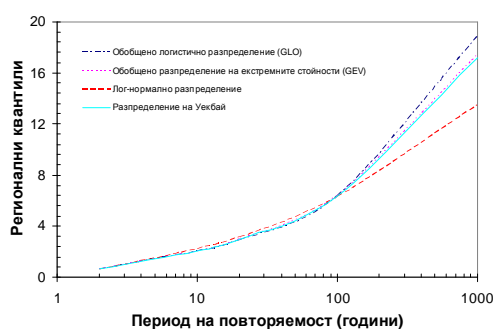
Таблица 4.5. Стойности на критерия на съгласие ( $Z^{Dist}$ ) за различни разпределения за района на поречията от Южното Черноморие.

Разпределение	L-Ексцес	$Z^{Dist}$
Обобщено логистично разпределение	0.344	-0.29
Обобщено разпределение на екстремните стойности	0.332	-0.57
Лог-нормално разпределение	0.293	-1.48
Разпределение на Пирсон III тип	0.225	-3.02
Обобщено разпределение на Парето	0.280	-1.77

От посочената таблица се вижда, че в изследвания район критериалното изискване  $|Z^{Dist}| \leq 1,64$  се изпълнява при три разпределения: Обобщено логистично

разпределение, Обобщено разпределение на екстремните стойности и Лог-нормално разпределение. Отхвърлят се Обобщено разпределение на Парето и разпределение на Пирсон III тип.

За сравнение на фигура 4.3. са представени регионалните честотни криви на конкурентните разпределения. На нея е показано изменението на получени от всички наблюдения в района безразмерни регионални квантили в зависимост от периодите на повторяемост. Както може да се види, кривите на разпределенията са почти сходни до период на повторяемост 100 години, след което възникват разлики, които са характерни и логични за екстремни квантили в опашката на разпределенията.



Фигура 4.3. Регионални честотни криви на конкурентните разпределения на максималния отток в изследвания район.

От анализа на регионалните честотни криви и получените стойности за критерия на съгласие, като най-подходящо за описване на максималния отток разпределение за целия Южно-черноморски басейн е избрано Обобщеното логистично разпределение. Параметрите на регионалната честотна крива на посоченото разпределение са дадени в таблица 4.6.

Таблица 4.6. Параметри на регионалната честотна крива на обобщеното логистично разпределение на максималния отток в изследвания район.

Регионални параметри		
Параметър на местоположение, $\zeta$	Параметър на разсейване, $\alpha$	Параметър на формата, $\kappa$
0.639	0.361	-0.462

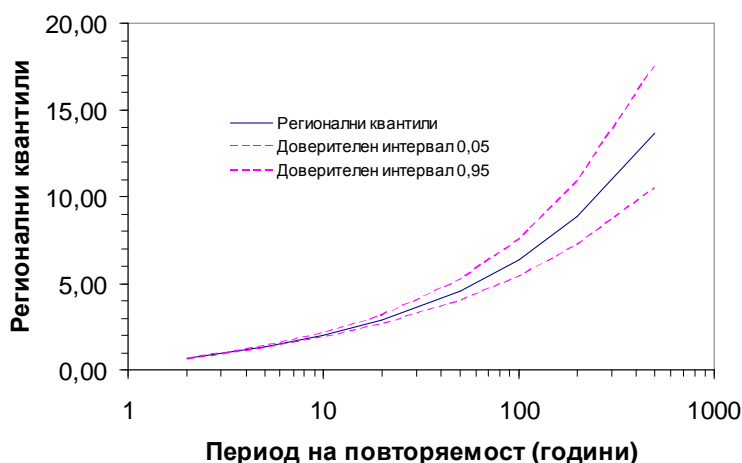
С помощта на посочените параметри на Обобщеното логистично разпределение са изчислени квантилите за различни периоди на повторяемост - от 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500 и 1000 години (табл. 4.7).

Таблица 4.7. Регионални оценки на обобщеното логистично разпределение на максималните водни количества в изследвания район.

T (години)	Регионални квантили	Средната квадратна грешка	Доверителен интервал 0,05	Доверителен интервал 0,95
2	0,639	0,010	0,620	0,660
5	1,340	0,023	1,293	1,384
10	2,014	0,056	1,908	2,124
20	2,902	0,116	2,672	3,161
50	4,574	0,273	4,021	5,202
100	6,383	0,493	5,418	7,529
200	8,866	0,860	7,229	10,849
500	13,631	1,714	10,461	17,508
1000	18,836	2,812	13,762	25,423

Направена е преценка на неопределеността на квантилните оценки чрез средната квадратна грешка и техните абсолютни отклонения на базата на получените резултати от 1000 симулации с Обобщеното логистично разпределение, които съдържат еднакъв брой станции и извадкови дължини както в наблюдавания район.

На фиг. 4.4. са представени регионалните оценки на Обобщеното логистично разпределение на максималния отток на поречията от Южното Черноморие, а с пунктири са дадени доверителните интервали.



Фигура 4.4. Регионални оценки на обобщеното логистично разпределение на максималния отток на поречията от Южното Черноморие.

Както може да се види, доверителните интервали са тесни в началото на кривата, където отклоненията и средната квадратна грешка имат най-малките си стойности и се увеличават към края, особено в частта, съответстваща на екстремните честоти ( $T > 50$  години). Следователно, от табл. 4.7 и фиг. 4.4 може да се види, как неопределеността се увеличава значително щом квантилите започват да стават по-екстремни.

#### 4.3.1. Проверка на устойчивостта на L-моментите спрямо броя на наблюдения

Устойчивостта на оценките на L-моментите е пряко свързана с броя на наблюдения на всяка от избраните станции в региона. Направен е анализ на устойчивостта на оценките на L-моментите в зависимост от броя на наблюдения на всяка от избраните станции в региона. Оценката е извършена последователно през 5 години (15, 20, 25, 30, 35 и 40 години). Установено е, че при редици с 15 годишни наблюдения разсейването е по-голямо в сравнение с по-дългите периоди. Изменчивостта на регионалните L-моменти намалява при увеличаване на броя на годините.

Изследвано е влиянието на дължината на редиците върху стойностите на критерия на съгласие ( $Z^{Dist}$ ) при различни функции на разпределение. Установено е, че независимо от броя на годините с наблюдения, основните функции на разпределение за изследвания район са обобщеното логистично разпределение (GLO) и обобщено разпределение на екстремните стойности (GEV).

В резултат от проведени проучвания може да се каже, че с увеличаване на годините устойчивостта на L-моментите нараства, а стойностите на критерия на съгласие ( $Z^{Dist}$ ) намаляват, което дава основание да подчертаем, че избраното разпределение е подходящо за изследване на максимални водни количества в района на поречията от южното Черноморие.

#### 4.3.2. Разработване на регионална честотна зависимост за водосборите с хидрометрични наблюдения

На базата на избраното Обобщено логистично разпределение за изследвания район е разработена регионалната честотна зависимост, която има следния вид:

$$Q_T / \bar{Q} = \xi + \alpha \cdot y_T \quad (4.54)$$

където  $y_T = [1 - \{(1 - F) / F\}^\kappa] / \kappa \quad (4.55)$

Тук  $Q_T$  е оценката на максималния отток при T-годишен период на повторемост,  $\bar{Q}$  е средната стойност на максималния отток,  $\xi$ ,  $\alpha$  и  $\kappa$  са параметрите на разпределението на GLO и  $y_T$  е случайната променлива на GLO, съответстваща на T-годишния период на повторемост,  $F$  е годишната вероятност на непревишение (или  $F = 1 - [1/T]$ ).

Поставяйки в посоченото по-горе уравнение получените стойности на регионалните параметри на избраното разпределение за басейна на Южното Черноморие ( $\kappa = -0,462$ ,  $\xi = 0,639$  и  $\alpha = 0,361$ ) се получава регионалната честотна

зависимост за оценката на максималния отток при различни периоди на повторяемост за водосборите с измервания:

$$Q_T = \left[ -0.142 + 0.781 \left\{ \frac{1-F}{F} \right\}^{-0.462} \right] * \bar{Q} \quad (4.56)$$

Горепосочената регионална честотна зависимост за оценката на максималния отток може да се използва за оценка на риска от наводнения с желания период на повторяемост за водосбори от Южното Черноморие, които имат малък до среден размер.

Като алтернатива максималните стойности на оттока за различни периоди на повторяемост могат да бъдат получени чрез умножаване на средната годишна стойност на максималния отток за водосбора ( $\bar{Q}$ ) по съответната стойност на регионалните квантили, дадени в Таблица 4.8.

Таблица 4.8. Изменение на регионалните квантили ( $Q_T / \bar{Q}$ ) за различни периоди на повторяемост в района на поречията от Южното Черноморие

Разпределение	Обобщено логистично разпределение (GLO)								
	2	5	10	20	50	100	200	500	1000
Период на повторяемост									
Регионални квантили	0,639	1,340	2,014	2,902	4,574	6,383	8,866	13,631	18,836

#### 4.4. Верификация на регионалната честотна зависимост на максималния отток и анализ на устойчивостта на избрания модел за поречията от Южното Черноморие

##### 4.4.1. Верификация на регионалната честотна зависимост

С цел верификация на оценките на регионалната честотна зависимост на максималния отток за водосборите с хидрометрични измервания, регионалният честотен анализ е проведен при обработката на информацията от 8 хидрометрични станции при 3 варианта. Във всеки един от вариантите се изключват данните на една станция. При вариант I, са изключени годишните стойности на максималния отток в ХМС Зидарово (втора по големина водосборна площ), при вариант II се изключат данните на ХМС Звездец, която има среден размер на водосборната площ и при вариант III е изключена информацията за ХМС – Факия, чиято водосборна площ е предпоследна по големина. Изчислените от трите варианта регионални квантили са сравнени с получените квантили от данните за деветте станции за Южното Черноморие и е определен процентът на отклонение. Получените проценти на отклонения за често използваните периоди на повторяемост от 25, 50 и 100 години варират от 0,21 до 4,96% и за трите случая .

#### 4.4.2. Анализ на устойчивостта на избрания модел

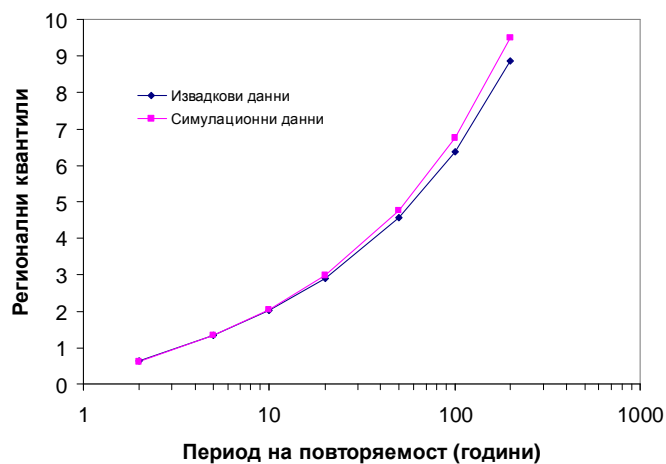
Оценката на устойчивостта на избрания за района на поречията от Южното Черноморие модел за регионалния анализ е проведен с помощта на симулации по метода на Монте Карло. Възпроизведени са общо 10000 райони, всеки един от които има същия брой станции и години, както в оригиналния район.

В резултат на това за всеки от квантилите ( $X_T$ ), съответстващи на различни периоди на повтораемост, са определени средната стойност от симулациите ( $\hat{X}_T$ ), отклоненията и средната квадратична грешка, а така също и доверителните интервали при 95% вероятност (табл. 4.12).

Таблица 4.12. Резултати от симулациите на регионалната честотна крива на максималния отток с функцията на обобщеното логистично разпределение

T	$X_T$	$\hat{X}_T$	Отклонение	Доверителен интервал 0,05	Доверителен интервал 0,95	Средна квадратична грешка
2	0,639	0,628	-0,011	0,631	0,671	0,0037
5	1,340	1,340	0,000	1,293	1,384	0,0001
10	2,014	2,039	0,025	1,933	2,149	0,0084
20	2,903	2,977	0,074	2,768	3,257	0,0246
50	4,575	4,773	0,197	4,219	5,399	0,0658
100	6,387	6,751	0,365	5,782	7,894	0,1216
200	8,872	9,506	0,634	7,864	11,483	0,2114

От сравнението на регионалната крива, получена от извадкови данни за изследвания район и кривата от симулирани данни (фиг. 4.9) се вижда, че до период на повтораемост от 50 години, отклоненията в стойностите на регионалните квантили са незначителни, след което нарастват и достигат най-голяма стойност при период на повтораемост от 200 години.



Фигура 4.9. Регионални честотни криви получени от извадковите и симулационни данни

Построеният въз основа на функцията на обобщеното логистично разпределение модел на регионалния анализ, с параметри определени по метода на L-моментите, позволява да се оценят съответстващите на различните периоди на повторемост квантили ( $Q_T$ ) във всяка една от намиращите се в изследвания район девет станции. За целта регионалните безразмерни квантили  $X_T$  на получената регионална честотна крива са комбинирани с локална информация за всеки един от пунктовете.

Локалният принос се изразява чрез мащабния фактор или „индекса на прииждане”, който представлява средната стойност на годишните максимуми ( $\bar{Q}$ ) за станциите в района (табл. 4.13).

Таблица 4.13. Средни стойности на годишните максимални водни количества ( $\bar{Q}$ ) за станциите в поречията на Южното Черноморие

Река и ХМС	$\bar{Q}$ (m <sup>3</sup> /s)
Айтоска река при Камено	5,147
Река Средецка при Проход	109,163
Факийска река при Факия	50,285
Факийска река при Зидарово	137,805
Река Ропотамо при Веселие	65,113
Река Велека при Звездец	99,585
Река Велека при Граматиково	141,231
Господаревска река при Светлина	26,738
Хаджийска река при Ръжица	12,908

Оценките на квантилите на максималния отток за даден период на повторемост ( $Q_T$ ) се изчислява по израза  $Q_T = X_T \bar{Q}$  и получените стойности са дадени в табл. 4.14. Както може да се види, високите стойности съответстват на станциите с по-голям индекс на прииждане, тъй като той представлява мащабния фактор.

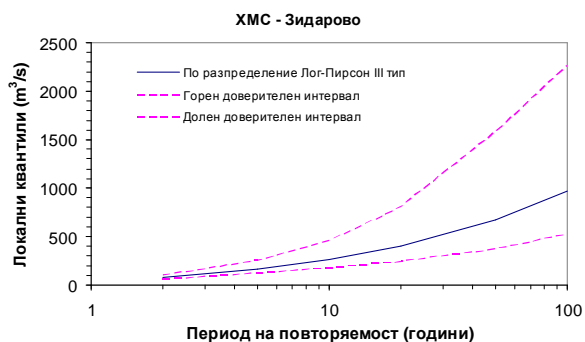
Таблица 4.14. Оценки на квантилите на максималния отток (m<sup>3</sup>/s) в района на поречията на Южното Черноморие

ХМС	Период на повторемост					
	2	5	10	20	50	100
Камено	3,291	6,899	10,365	14,938	23,539	32,853
Проход	69,799	146,323	219,845	316,841	499,266	696,820
Факия	32,153	67,403	101,271	145,952	229,985	320,987
Зидарево	88,113	184,715	277,527	399,973	630,262	879,649
Веселие	41,633	87,278	131,132	188,987	297,799	415,635
Звездец	63,675	133,485	200,556	289,043	455,462	635,683
Граматиково	90,303	189,307	284,427	409,918	645,932	901,520
Светлина	17,096	35,840	53,848	77,605	122,287	170,675
Ръжица	8,253	17,302	25,995	37,465	59,035	82,395

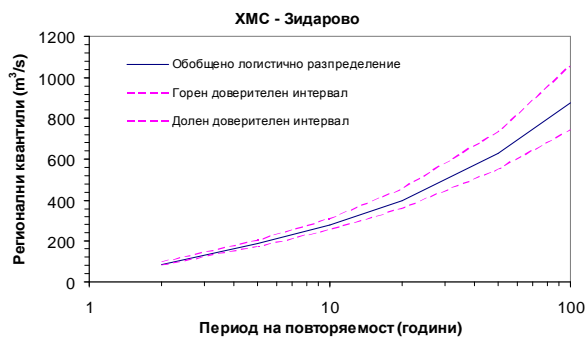
Хидрометричните станции с най-голямо средно максимално водно количество в изследвания район са ХМС Граматиково и ХМС Зидарово. От друга страна, значително по-ниски стойности на средното максимално водно количество се наблюдава при ХМС Камено и ХМС Ръжица.

В работата е направено сравнение с традиционните методи за локалния анализ. Използвани са Гамма разпределение, разпределение Пирсон III тип, разпределение на Гумбел, лог-нормално разпределение. Освен тези разпределения са приложени също и използваните в САЩ и Австралия Лог-Пирсон III тип и във Великобритания обобщеното разпределение на екстремните стойности. Подборът на теоретичното разпределение е извършен с помощта на програми за анализ и обработка на хидроложки данни (R-Language). Оценката на използваните за регионалния анализ квантили на хидрометричните станции и определянето на 90% доверителни интервали е направена чрез симулационния метод на Монте Карло.

Резултатите за квантилите на максималните водни количества, получени в резултат от локалния и регионалния анализ, за ХМС Зидарово са дадени на фиг. 4.10 и 4.11. От фигурите се вижда, че стойностите на локалните и регионални квантили при периоди на повторяемост от 2, 5, 10 и 50 години дават близки резултати, като отклоненията са в границите на 6-7%. При период на повторение 100 години локалните квантили превишават изчислените по регионалната зависимост квантили с 10%. Получените по метода на локалния анализ 95% доверителни интервали са значително по високи от доверителните интервали, изчислени по метода на регионалния анализ, особено в по-големите периоди на повторяемост (50-100 години). Неопределеността при локалния анализ е по-голяма в сравнение с регионалния, тъй като доверителен интервал е много по-широк и се засилва значително в екстремните квантили. При останалите станции от района се наблюдават сходни картини.



Фиг. 4.10. Квантили на максималния отток при ХМС Зидарово, определени по метода на локалния анализ.



Фиг. 4.11. Квантили на максималния отток при ХМС Зидарово, определени по метода на регионалния анализ.



В резултат от проведеня анализ може да се обобщи, че квантилите за период на повторяемост до 50 години, изчислени по функцията на разпределение по метода на локалния анализ са сравнително близки до получените от Обобщено логистично разпределение на регионалния анализ. При периоди на повторяемост от 100 години разликата при отделните станции достига до 12-19%.

## Изводи

Получените резултати в настоящата работа най-общо могат да се обобщят както следва:

1. На базата на проведен обстоен анализ на съвременното състояние на проблемите свързани с изследване на максималния отток е установено, че методът на регионалния честотен анализ е подходящ за прилагане в райони с недостатъчна хидрометрична информация по отношение на гъстота и продължителност на наблюденията, какъвто е районът на поречията на Южното Черноморие.
2. Проучени са основните фактори, които формират речния отток в разглежданите водосборни площи. Подчертано е, че географското местоположение в съчетание с близостта на Черно море, планинския масив на Странджа и равнинния терен на Бургаската низина, с преминаването на значителна част от средиземноморските циклони над изследваната територия и континентално-средиземноморския климат определят есенно-зимното подхранване на почвените хоризонти и речния отток. Високият отток през есента и зимата е свързан с разпределението на валежите в района и по-рядко, подхранването на високите води става от снеготопенето.
3. Проведен е анализ на хидроложкия режим в района на поречията от Южното Черноморие. Чрез критериите на Уалд –Уолфовиц, Манн–Уитни, Хелмерт, Крамер, t-Студент и Гръбс-Бек е доказана представителността на използваните хидроложки масиви. Реките от Южното Черноморие в по-голямата си част се характеризират със зимното пълноводие, най-ярко изразено в южната част, с рязко покачване на оттока още през декември, достигане на максимума през февруари-март, а след април-май започва маловодният период. Минимумите на маловодието за всички реки са обикновено през август-септември, което в значителна степен се обуславя от периода на засушаване, който започва от края на юни и продължава до средата на

септември. Най-интензивното пълноводие на изследваните поречия достига до 22.09% през м. февруари за р. Велека при с. Звездец, а най-интензивно засушаване се наблюдава през м. август на р. Факийска при с. Зидарево - 0.65%.

4. Отточният режим на поречията в Южното Черноморие се характеризират със сравнително голяма годишна променливост. Средногодишният отток на реките от Южното Черноморие се изменя в границите от  $0.125 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Хаджийска при с. Ръжица) до  $7.694 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Велека при с. Граматиково). Отточните модули се изменят в диапазона от  $9.992 \text{ l} / \text{s} / \text{km}^2$  (р. Велека, с. Граматиково) до  $1.954 \text{ l} / \text{s} / \text{km}^2$  (р. Айтоска, с. Камено). Най-високи отточни модули имат поречията с най-големи средни надморски височини на басейните. Годишният минимален речен отток в изследваните поречия варира от  $0.008 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Хаджийска, с. Ръжица) до  $1.657 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Велека, с. Граматиково), а стойностите на годишния максимален отток се изменя от  $5.147 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Айтоска, с. Камено) до  $141.231 \text{ m}^3 / \text{s}$  (р. Велека, с. Граматиково). С увеличаването на водосборни площи колебанията на оттока намалява, за което свидетелстват по-ниските коефициенти на вариация.
5. С помощта на тестовете за нееднородност и несъответствие е доказано, че регионът на разглежданите речни басейни е възможно хомогенен и събраните в тях данни за максималните водни количества са подходящи за разработването на регионалните честотни зависимости. Установено е, че за района на поречията от Южното Черноморие са подходящи обобщеното логистично разпределение, обобщеното разпределение на екстремните стойности и лог-нормално разпределение. В резултат от анализа на регионалните честотни криви и получените стойности за критерия на съгласие като най-подходящо за описване на максималния отток разпределение за целия Южно-черноморски басейн е избрано Обобщеното логистично разпределение.
6. Построеният въз основа на функцията на обобщеното логистично разпределение модел на регионален анализ, с параметри определени по метода на L-моментите, позволява да се оценят съответстващите на различните периоди на повторемост квантили за всяка една от хидрометричните станции в изследвания район. За целта регионалните безразмерни квантили на получената регионална честотна крива са комбинирани с локална информация за всеки един от пунктовете. Локалният принос се изразява чрез „фактора на мащаба“ или средната стойност на годишните максимуми в района.

7. При верификацията на оценките на регионалната честотна зависимост на максималния отток за поречията с хидрометрични измервания са проведени изчисления при различни тестови водосборни площи. При сравнението на получените безразмерните регионални квантили за тестовите водосбори с регионалните квантили за водосборите от Южното Черноморие, процентът на отклоненията варира от 0,21 до 11,29% при периоди на повторяемост от 2 до 1000 години, а за често използвани периоди на повторяемост от 25, 50 и 100 години варира от 0,21 до 4,96% .
8. Устойчивостта на модела на регионалния честотен анализ на максималните водни количества в изследвания район е изследвана с помощта на симулационния метод на Монте Карло. Възпроизведени са общо 10000 райони, всеки един от които има същия брой станции и години, както в оригиналния район. При сравнението на регионалната крива за изследвания район и получената при симулации крива е установено сходство при периоди на повторяемост до 50 години, след което отклоненията нарастват. За стойностите при периоди на повторяемост равни или по-големи от 50 години, определените чрез модела квантили са по-ниски от получените при симулация, като отклоненията са положителни и стойностите им нарастват до 0,634.

В заключение трябва да се отбележи, че получените в настоящата работа резултати могат да намерят практическо приложение при оценка на водните ресурси и планиране на хидротехнически дейности в изследвания район, при разработване на методи за разчети на възможния риск от наводнения, при съставяне на оценки и препоръки, които да се ползват от планиращи и ръководни органи при провеждане на мероприятия за защита и предотвратяване на неблагоприятни последици от възможни наводнения и разработване на мерки за превенция.

### **Публикации по темата**

1. Колева-Лизама И., Б. Лизама Ривас.(2009). Основни насоки за изграждане на информационна база за управление на високи води. Сп. Лесовъдска мисъл, кн. 2, том 38, стр. 114-121.
2. Lizama Rivas B (2011). Study on probability distributions for annual peak flows. Bulgarian Journal of Meteorology and Hydrology, No 3-4, vol. 16. (под печат)

3. Lizama Rivas B (2013). Statistical estimation methods for extreme hydrological events. Сборник с доклади от „Семинар по екология – София 2013”, стр. 214-220.
4. Lizama Rivas B, I. Koleva-Lizama (2013). Analysis and assessment of natural hazards events in Bulgaria. Сборник с доклади от „Семинар по екология – София 2013”, стр. 221-228.
5. Lizama Rivas B (2013). Probability Distribution of Flood Flows in the Rivers of the South Eastern Part of Bulgaria. International scientific journal “Ecologia Balkanica”, vol, 5, Special Edition. (под печат)