

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Максимальний стік річок північно-західного схилу Кримських гір

Виконав магістр 2-го року навчання _____
групи МЗГ- 19 _____
спеціальності 103 «Науки про Землю» _____
освітньо-професійної програми _____
підготовки «Гідрологія» _____
Гурин Андрій Сергійович _____

Керівник канд. геогр. наук, ст. викладач _____
Тодорова Олена Іванівна _____

Консультант _____

Рецензент канд. геогр. наук, доцент _____
Прокоф'єв Олег Милославович _____

Одеса 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____ Гідрометеорологічний інститут _____
Кафедра _____ гідрології суші _____
Рівень вищої освіти _____ магістр _____
Спеціальність _____ 103 «Науки про Землю» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри гідрології суші
Д-р геогр. наук, проф. Шакірманова Ж.Р. *Шакірманова*
“ 26 ” жовтня 2020 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

_____ Гурину Андрію Сергійовичу _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Максимальний стік річок північно-західного схилу Кримських гір
керівник роботи Тодорова Олена Іванівна, канд. геогр. наук, ст. викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “16” жовтня 2020 року №194-с

2. Строк подання студентом роботи 07 грудня 2020 р.

3. Вихідні дані гідрографічні характеристики водозборів річки; дані гідрометеорологічних спостережень за витратами води весняного водопілля та шарами стоку.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Коротка фізико - географічна характеристика території північно-західного схилу Кримських гір 2) Аналітичний огляд методів розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків; 3) Оцінка точності вихідної інформації по максимальному стоку дощових паводків; 4) Визначення розрахункових параметрів формули максимального стоку.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Карто-схеми географічного положення річок північно-західного схилу Кримських гір, розташування гідрологічних постів, залежність коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку від площі водозборів для річок північно-західного схилу Кримських гір, залежність максимальних модулів схилового припливу від середньої висоти водозборів.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 26 жовтня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Коротка фізико - географічна характеристика території північно-західного схилу Кримських гір	26.10-29.10.2020	60	задовільно
1	Аналітичний огляд методів розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків	30.10-15.11.2020	70	задовільно
2	Оцінка точності вихідної інформації по максимальному стоку дощових паводків	16.11-18.11.2020	60	задовільно
	Рубіжна атестація	16.11-22.11.2020		
3	Визначення розрахункових параметрів формули максимального стоку	18.11-23.11.2020	70	задовільно
4	Оформлення дипломного проекту	24.11-03.12.2020		
5	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	04.12-09.12.2020		
6	Підготовка доповіді, презентації	09.12-13.12.2020		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		65	задовільно

Студент



(підпис)

Гурин А.С.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Тодорова О.І.

(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	7
1 Коротка фізико - географічна характеристика території північно-західного схилу Кримських гір.....	8
2 Аналітичний огляд методів розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків.....	10
2.1 Сучасні класифікації методів визначення розрахункових характеристик паводків.....	10
2.2 Формули редукційного та об'ємного типу.....	15
2.3 Раціональний метод або формули граничної інтенсивності.....	21
2.4 Формули, що засновані на теорії руслових ізохрони.....	26
2.5 Методика, що рекомендується для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків теплого періоду для річок Гірського Криму.....	34
3 Оцінка точності вихідної інформації по максимальному стоку дощових паводків.....	36
4 Визначення розрахункових параметрів формули максимального стоку річок північно-західного схилу Кримських гір.....	38
4.1 Обґрунтування регіональних параметрів формули швидкості руслового добігання для річок північно-західного схилу Кримських гір.....	38
4.2 Розрахунок характеристик графіків припливу води зі схилів в руслових мережу.....	44
4.2.1 Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу.....	44
4.2.2 Тривалість припливу води зі схилів в руслових мережу.....	48
4.3 Максимальний модуль схилового припливу.....	51
4.4 Перевірочні розрахунки.....	55
Висновки.....	56
Перелік джерел посилань.....	57

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Серед характеристик гідрологічного режиму річок максимальному стоку належить особливе місце внаслідок того виняткового значення, яке він має при проектуванні і експлуатації гідротехнічних споруд на річках.

Мета і завдання дослідження полягають в обґрунтуванні та реалізації розрахункової методики для визначення характеристик максимального стоку дощових паводків теплового періоду річок північно-західного схилу Кримських гір.

Об'єкт дослідження – максимальний стік дощових паводків теплового періоду річок північно-західного схилу Кримських гір.

Предмет дослідження – реалізація методики розрахунку максимальних витрат води дощових паводків різної ймовірності перевищення для річок північно-західного схилу Кримських гір.

Методи дослідження полягають у використанні математичної статистики, за допомогою якої здійснено обробку часових рядів гідрологічних та метеорологічних величин, географічного узагальнення розрахункових характеристик, які є визначальними у нормативно-розрахунковій методиці максимального стоку дощових паводків на річках північно-західного схилу Кримських гір.

Новизна досліджень полягає в обґрунтуванні методики для нормування розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків невивчених у гідрологічному відношенні річок на річках північно-західного схилу Кримських гір.

Практичне значення. Серед характеристик гідрологічного режиму річок максимальний стік посідає особливе місце в процесі спорудження гідротехнічних споруд.

Кількість сторінок – 61

Кількість рисунків – 12

Кількість таблиць – 5

Кількість використаної літератури – 50

Ключові слова: максимальний стік, дощові паводки, однорідність, циклічність.

SUMMARY

Actuality of theme. Among the characteristics of the hydrological regime of rivers, the maximum runoff has a special place due to the exceptional importance it has in the design and operation of hydraulic structures on rivers.

The purpose and tasks of the study consist in substantiation and implementation of the calculation method for determining the characteristics of the maximum runoff of rain floods of the warm period of the rivers of the north-western slope of the Crimean Mountains.

Object of research: - maximum runoff of rain floods of the warm period of rivers of the north-western slope of the Crimean Mountains.

Subject of research: - the implementation methodology of calculation of maximum water discharge rainwater floods of varying probability of exceeding rivers to the north-west side of the Crimean Mountains.

Research methods: consist in the use of mathematical statistics, which is used to process time series of hydrological and meteorological quantities, geographical generalization of design characteristics, which are decisive in the normative-calculation method of maximum runoff of rain floods on rivers of the north-western slope of the Crimean Mountains.

The novelty of research is to substantiate the method for normalization of the calculated characteristics of the maximum runoff of rain floods unexplored in hydrological terms of rivers on the rivers of the north-western slope of the Crimean Mountains.

The practical significance among the characteristics of the hydrological regime of rivers, the maximum runoff occupies a special place in the construction of hydraulic structures.

Number of pages is - 61

Number of drawings - 12

The number of tables is 5

Number of used literature -50

Key words: maximum runoff, rain floods, homogeneity, cycle.

Вступ

Недостатньо обґрунтовані рекомендації щодо розрахунку максимального стоку можуть не тільки завдати шкоди народному господарству в результаті руйнування будь-якого з споруд, зведених на річках, але і привести до непоправних катастрофічних наслідків для населених пунктів і споруд, що знаходяться нижче за течією. Все це ставить перед проектувальниками вимоги високої відповідальності при призначенні розрахункових максимумів стоку. Але, з іншого боку, створення не виправдано великого запасу призводить до завищення кошторисної вартості спорудження, що знизить його рентабельність. По суті, при розрахунку максимального стоку доводиться мати справу з необхідністю вирішення одночасно двох протилежних умов: безпеки споруди за період його служби і економічної ефективності.

Структура та обсяг магістерської роботи. Робота складається з анотації, вступу, чотирьох розділів, висновків та переліку джерел посилань.

Перший розділ розкриває загальні відомості досліджуваного водозбору. *Другий розділ* включає огляд методів розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків. *Третій розділ* присвячений оцінці точності вихідної інформації по максимальному стоку дощових паводків. А в *четвертому розділі* представлено визначення розрахункових параметрів формули максимального стоку річок північно-західного схилу Кримських гір.

Основні результати магістерського дослідження, які є складовою роботи, представлялись та обговорювались на науковій конференції молодих вчених ОДЕКУ та представлялись у 2-му турі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт з галузі знань «Цивільна безпека (безпека життєдіяльності)» і виконувалася за кафедральної НДР «Умови формування та аналіз часових рядів характеристик водного режиму річок України в різних фізико-географічних зонах та при коливаннях клімату» (2018-2022 рр., №ДР0118U001221).

1 КОРОТКА ФІЗИКО - ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТЕРИТОРІЇ ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ КРИМСЬКИХ ГІР

На півночі Кримського півострову розташована територія водозборів північно-західного схилу Кримських гір, яка включає в себе річки Альма, Кача, Бельбек, Чорна та їх притоки [1]. Ці річки та їх притоки беруть свій початок, майже в вершинах Кримських гір та впадають в Чорне море (рис.1.1).



Рисунок 1.1 - Карта-схема географічного положення Криму [2]

Ґрунти та рослинність. Північно-західний схил Кримських гір охоплює такі ґрунти, як перегородні та горні чорноземні, сірі чорноземновидні ґрунти між гірських долин. Саму західну частину північно-західного схилу кримських гір охоплюють коричневі ґрунти сухих лісів та

кущів луго-степів. Далі простягаються дерновокарбонатні та горні чорноземи [1].

Рослинність північно-західного схилу Кримських гір представлена кримськими гірськими лісами. В основному це сосна, дуб, граб ялівець, бук та чагарники.

Карст. У Гірському Криму, переважно в західній його половині, Яйлинські масиви, куди не заходять навіть верхів'я ерозійних систем, є безстічними областями. Плоский рельєф яйл, складений вапняками, і наявність замкнутих понижень сприяють інтенсивній фільтрації опадів в глибокі водоносні горизонти і подальшому їх накопиченню в товщі карстових порід. Території, де поверхневий стік поглинається карстовими порожнинами, утворюють області живлення карсту. Водоносні горизонти, що розвантажуються в русла річок, утворюють область розвантаження карсту. Дуже часто, вихід карстових вод на поверхню в долинах, балках, ярах дає початок річкам у вигляді джерел.

Гідрологічна вивченість. В західній частини північного схилу Кримських гір беруть свій початок найбільше значущі по своїй водоносності річки Криму - Альма, Кача, Бельбек, Чорна (рис. 1.2).

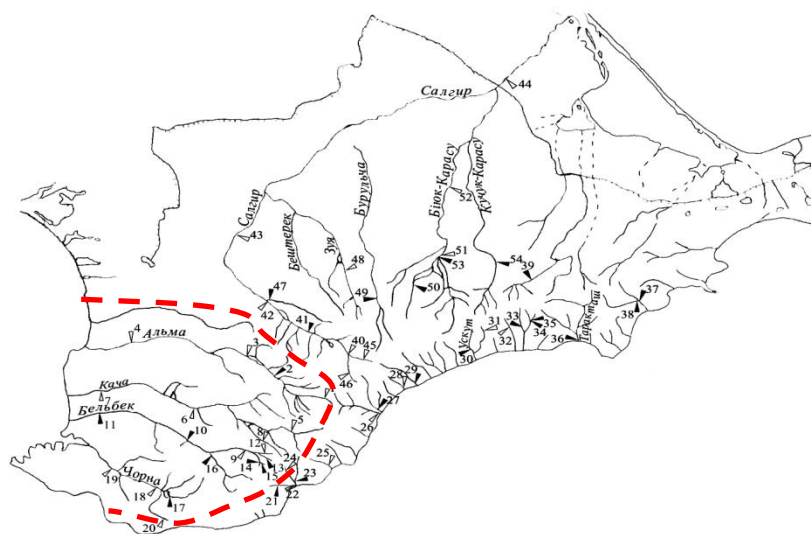


Рисунок 1.2 Карта-схема розміщення гідрологічних постів [3]

2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ

2.1 Сучасні класифікації методів визначення розрахункових характеристик паводків

Підвищений інтерес до проблеми визначення характеристик максимального стоку пов'язаний з тим, що при проходженні катастрофічних паводків має місце затоплення населених пунктів, руйнування доріг, паводкозахисних дамб, гребель та ін. Але даний інтерес лише підтверджує те, що проблема ще далека від свого вирішення. Для вивчення проблеми необхідно проаналізувати сучасний стан у галузі, з метою виявлення, як позитивних, так і негативних сторін діючих нормативів.

Більшість споруд, побудованих на річках або поблизу них, мають певну ймовірність руйнування від паводків. Оскільки абсолютний захист від паводків зазвичай неможливий або економічно не вигідний, то раціональне проектування таких споруд повинно допускати облік певного ризику їх руйнування від паводків. Для розрахунку необхідно визначити такий паводок, який відповідає максимальному допустимому ризику. Такий паводок, називається розрахунковим паводком, який прийнятий при проектуванні гідротехнічної споруди або регулювання стоку річки з урахуванням економічних і гідрологічних факторів [4].

Зазвичай основними параметрами розрахункових паводків є:

- а) максимальна витрата за період паводку при розрахунках переходів трубопроводів, мостових переходів, водозливів і отворів малих гребель і дамб;
- б) максимальний рівень води за період паводку при розрахунках висот берегоукріплювальних споруд, підмостових отворів, зон затоплення, при проектуванні шосейних доріг і залізниць в річкових долинах;
- в) об'єм стоку

за паводок при проектуванні протиповеневих водосховищ при розрахунках водопропускної здатності водозливів і відміток водоскидів на греблях; г) гідрограф стоку за паводок у випадках, коли необхідно враховувати накладення декількох паводків.

Вибір методу для визначення розрахункового паводка залежить від виду, кількості та якості наявних гідрологічних даних. У загальному випадку найкращим є той метод, який дозволяє використовувати найбільшу кількість необхідної інформації з наявних даних.

У зарубіжній літературі, а також у рекомендаціях ВМО методи розрахунку поділяються на такі групи:

Емпіричні методи. За допомогою емпіричних формул можна отримати прості залежності між характеристиками паводків (зазвичай, максимальними витратами) і факторами їх формування, представлених різними гідроморфологічними і метеорологічними змінними [5].

Застосування емпіричних формул зазвичай обмежується тим районом, для якого вони були розроблені, тому їх слід використовувати з великою обережністю і тільки тоді, коли не можна застосувати більш точні методи. Інший недолік емпіричних формул - труднощі оцінки періоду повторюваності, отриманого на їх основі.

Детерміновані моделі. Використовуються для генерування розрахункових паводків на основі імітації фізичних процесів, які формують паводки. В залежності від того, як моделюється розрахунковий паводок - на основі даних про опади і/або в умовах сніготанення, або на основі відомих гідрографів паводка, отриманих для вище розташованих створів. Детерміновані моделі поділяються на дві великі групи:

- а) моделі „опадів – стік”;
- б) моделі трансформації річкового стоку.

Ймовірнісні методи. Одним з головних питань при генеруванні розрахункових паводків є оцінка ризиків, які пов'язані з появою паводків більш високих, ніж розрахункові. Оцінка таких ризиків є важливою задачею,

зважаючи на їх соціальну, екологічну та економічну значущість. Оцінити їх можливо на ймовірнісній основі, тобто отримати оцінку ймовірності, що паводок даної величини буде перевищений протягом певного періоду часу.

Максимально можливі опади (ММОП). Поняття «максимально можливі опади» добре відоме і широко застосовується, коли мова йде про кількість опадів, близькій до верхньої фізичної межі для заданої їх тривалості в будь-якому окремому басейні. Поняття «максимально можливі опади» і «екстремальні опади» використовуються приблизно в однаковому значенні. Питання про те, наскільки ці опади «близькі» і «можливі» - чисто риторичне, оскільки визначення можливого максимуму є однозначне завдання, яке вирішується в залежності від даних, які використовуються [6,7].

Методи розрахунку при відсутності даних. При відсутності метеорологічних даних або даних про стік, узагальнені оцінки повинні бути отримані за методом аналогії, приймаючи за аналоги максимально можливі опади у східних за кліматичними умовами регіонах, по яких є дані спостережень [8,9].

Індекс попереднього зволоження. Цей метод був розроблений, головним чином, для цілей прогнозу річкового стоку і широко застосовується для різних водозборів [10,11]. Застосування його для конкретного басейну вимагає наявності даних спостережень за дощовими опадами і стоком.

Побудова одиничного гідрографа по гідрометричним даними. Щоб визначити об'єм стоку, сформованого окремою зливою, необхідно розчленувати гідрограф на окремі складові. Одна зі складових - це повний (або зливовий) стік, сформований зливою. Друга складова - стік, обумовлений попередніми надходженнями води на водозбір. Третя важлива складова - стік від безпосередньої зливи, яка, просочившись через ґрунт, поступила до замикаючого створу з запізненням. Цей стік часто розглядають як частину прямого стоку.

Побудова одиничного гідрографа за допомогою синтетичних методів. Процедура побудови одиничного гідрографа, розроблена Снайдером [12],

заснована на аналізі великого числа басейнів і одиничних гідрографів з метою отримання залежностей між формою одиничного гідрографа і об'єктивними фізичними характеристиками водозбору.

Перерахунок одиничного гідрографа для різної тривалості дощу. Нерівномірність опадів в часі і в просторі обумовлює різні гідрографи, навіть якщо сумарний об'єм і тривалість зливи абсолютно однакові. Таким чином, узагальнений одиничний гідрограф визначається шляхом осереднення декількох одиничних гідрографів.

Метод ізохрон. Метод ізохрон є відображенням однієї з перших концепцій про формування стоку з басейну. Площа басейну може бути розділена на зони, з яких відбувається послідовне надходження води до замикаючого створу. Даний метод дозволяє врахувати нерівномірний розподіл дощових опадів в тому випадку, коли число встановлених в басейні опадомірів є достатнім для надійного опису ходу дощу. Це є перевагою в порівнянні з методом одиничного гідрографа.

Моделі з розподіленими параметрами. Вони призначені для більш надійного опису природних гідрологічних процесів і тому можуть включати деякі метеорологічні змінні і параметри водозбору. Ці моделі дозволяють отримувати ряди даних про поверхневий стік і, іноді, - про витрати ґрунтових вод. Основними вхідними даними в таких моделях є ряди по дощових опадах, але можуть використовуватися дані про снігозапаси, температуру, радіацію, потенційне сумарне випаровування і т. д.

Максимальний стік. Аналіз даних спостережень. Два найбільш поширених методів використовують певні види історичної інформації при оцінці параметрів функції розподілу. Це - методи історично зважених моментів [13] і максимальної правдоподібності з теорією перевірки [14-21].

Узагальнення характеристик паводків по району. Для пункту, по якому немає великої кількості спостережень у вигляді рядів максимальних річних витрат, з метою оцінки квантилів характеристик паводків рекомендується використовувати регіональний аналіз їх повторюваності. Як правило, досить

широко використовуються два методи районування. Один з них - метод індексу паводків, інший - заснований на використанні регресійних підходів.

Метод індексу паводків. Метод індексу паводків, у редакції Далрімплі [19,20], передбачає два основних етапи. Перший етап - побудова безрозмірної кривої забезпеченості для однорідного району. На другому етапі будується залежність між індексом і фізичними та кліматичними характеристиками водозбору. Комбінація методу індексу з безрозмірної кривої дозволяє отримати криву забезпеченості для будь-якого водозбору в межах даного регіону. Метод індексу припускає, що всі паводки в межах даного району відповідають розподілу 1-го типу (Гумбеля), і що цей район географічно однорідний.

Методика, заснована на регресії. Для оцінки величини паводочної витрати, яка матиме місце в середньому один раз в T_r років і позначеної Q_{TR} , можна скористатися регресійними методами з використанням фізичних і кліматичних характеристик водозборів [19-22]. Параметри рівнянь, що зв'язують Q_{TR} з характеристиками водозбору, можна отримати за допомогою звичайного методу найменших квадратів [19-22], зважених найменших квадратів [23] або узагальнених найменших квадратів [24]. Останні два підходи використовуються з метою усунення недоліків, що мають місце при використанні звичайного методу найменших квадратів. Останній не враховує різних похибок визначення характеристик паводків, які обумовлені різною тривалістю рядів спостережень за окремими станціями.

Більш ґрунтовною є класифікацію, яка запропонована Є.Д. Гопченком [25,26], формули максимального стоку можна поділити на дві групи:

1) Формули, засновані на схематизації схилового і руслового (або лише руслового) гідрографів. До них відносяться: редуційні (в тому числі й емпіричні та об'ємні формули).

2) Формули, засновані на теорії руслових ізохрони (так звані «генетичні» та формули граничної інтенсивності).

2.2 Формули редукційного та об'ємного типу

Редукційні формули є найбільш розповсюдженими на практиці, завдяки простоті структури і малому числу невідомих параметрів. Запропонував їх Д.І. Кочерін [27] і перший варіант мав вигляд:

$$q_m = \frac{A_m}{F^{n_1}} - B, \quad (2.1)$$

де A_m - максимальна інтенсивність водовіддачі при $F=1 \text{ км}^2$.

Надалі Д.Л.Соколовським [28] запропоновано дещо удосконалений варіант (2.1), а саме:

$$q_m = \frac{A_m}{(F + 1)^{n_1}} \delta, \quad (2.2)$$

де A_m - максимальний модуль стоку при $F=0 \text{ км}^2$;

δ - узагальнений коефіцієнт, який враховує вплив на максимальний стік озер, боліт, лісу, карсту, водопроникних ґрунтів.

Пізніше Д.Л.Соколовський [28], прийнявши за вихідну модель одновершинні гідрографи схилового припливу і руслового, отримав рівняння вигляду:

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}}, \quad (2.3)$$

де t_p - час руслового добігання.

Порівнюючи вирази (2.2) і (2.3) Д.І. Соколовським зроблений висновок щодо теоретичної бази редукційної формули, тобто

$$\frac{1}{(F+1)^{n_1}} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0}}. \quad (2.4)$$

Таке спрощене уявлення природи редукції максимального модуля з ростом розмірів річок було отримано наслідком двох обставин Гопченком Є.Д. [25-27]:

1. Прийняття тривалості паводків T_n як суми T_0 та t_p , тобто без врахування русло-заплавного регулювання.

2. Припущення щодо рівності коефіцієнтів часової нерівномірності схилового і руслового стоку.

В роботах Є.Д. Гопченка [25,26] достатньо повно розкриті методи розрахунку максимального стоку, які засновані на геометричній схематизації гідрографів схилового та руслового стоку. У порівнянні з (2.3) більш загальним є вираз:

$$q_m = \frac{k_0 y_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_m k_n, \quad (2.5)$$

де k_0 - коефіцієнт схилової трансформації, рівний :

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0}; \quad (2.6)$$

k_m і k_n - коефіцієнти, зв'язані з русло-заплавним регулюванням паводків, причому

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}, \quad (2.7)$$

а

$$k_n = \frac{T_0}{T_n} = \frac{1}{1 + \frac{t_p + \Delta t}{T_0}}, \quad (2.8)$$

Розглянуті також окремі випадки (2.4). Так, при можливості осереднення по території T_0 структура (2.4) спрощується до рівня

$$q_m = \frac{k_0 y_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (2.9)$$

Якщо є підстави для осереднення по території T_0 , то редукційні коефіцієнти, що входять до (2.4), можуть бути і описані за допомогою F , тобто

$$\frac{k_n k_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (2.10)$$

Якщо осереднити по території не лише T_0 , але й Y_m , то редукційна структура (2.4) набуде вигляду:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (2.11)$$

Параметри, що входять до (2.11), визначаються досить просто. У [29]:

$$k_0 Y_m = q'_m. \quad (2.12)$$

де k_0 - коефіцієнт «дружності» весняного водопілля.

Підставимо (2.12) в (2.11), тоді отримуємо:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2, \quad (2.13)$$

де δ - коефіцієнт впливу регулюючої місткості озер, водосховищ, ставків проточного типу на регулювання максимальних модулів стоку; δ_1, δ_2 - редуційні коефіцієнти впливу залісеності і заболоченості на характеристики максимального стоку річок.

Редуційна формула вигляду (2.13) до цього часу використовується для нормування характеристик максимального стоку річок як в Україні, так і в інших країнах. З рівняння (2.4) можна отримати й іншу структуру розрахункової формули.

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_n} \quad (2.14)$$

Формула (2.14) відноситься до формул об'ємного типу, яку запропонував Д.Л. Соколовський [28].

Більш широку популярність набула формула, обґрунтована Д.Л.Соколовським [28]. Вона заснована на моделі одномодальних паводків.

Рівняння гідрографу записується таким чином:

- для гілки підйому:

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t}{t_n} \right)^{m'}; \quad (2.15)$$

- для гілки спаду:

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^{n'}, \quad (2.16)$$

де Q_t – витрати води через t одиниць часу від початку підйому й через t одиниць від максимуму – на спаді; t_n – тривалість підйому паводків; t_{cn} – тривалість спаду паводків; m' і n' – показники степені гілки підйому й

спаду.

При інтегруванні (2.15) і (2.16) по t_n і t_{cn} базові рівняння набувають вигляду:

$$q_m = \frac{y_m}{t_n} f \quad (2.17)$$

та

$$q_m = \frac{y_m}{T_n} f(1 + \gamma), \quad (2.18)$$

де f – коефіцієнт форми руслових гідрографів.

А.В.Огієвський [30] для реалізації на практиці рівняння (2.43) приймає $k=2$, а $T_n = T_0 + t_p$. Для цієї структури притаманні недоліки, які полягають у тому, що форма руслових гідрографів, виражена через k_ϕ , не є величиною постійною, а тим більше, рівною двом. Не відповідає дійсності і прийняття $T_n = T_0 + t_p$, так як у цьому випадку не враховуються ефекти русло-заплавного регулювання на трансформацію гідрографів.

В.І.Мокляком [31,32] запропонована формула для розрахунку максимальних модулів стоку:

$$q_m = k_\phi \frac{Y_m}{m_c T_0 + t_p}, \quad (2.19)$$

де k_ϕ - коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

m_c - емпіричний коефіцієнт, рівний:

$$m_c = 1 + \alpha_L \frac{f_L}{F} + \frac{f_\sigma}{F} \quad (2.20)$$

В.І. Мокляком [33] встановлена залежність між коефіцієнтом часової нерівномірності та площею водозборів:

а) при $(t_p + t_{cx}) < 1$ доби

$$k_\phi = \frac{2,8}{\sqrt{t_p + t_{cx}}}; \quad (2.21)$$

б) при $(t_p + t_{cx}) > 11$ діб

$$k_\phi = 2,8 + 0,05(t_p + t_{cx} - 11); \quad (2.22)$$

в) в діапазоні 1 доби $< (t_p + t_{cx}) < 11$ діб

$$k_\phi = 2,8 \quad (2.23)$$

У роботах Є.Д. Гопченка та його учнів [25,26] пропонується більш проста розрахункова схема, яка заснована на геометричній моделі одномодальних паводків та водопіль. Вихідним є рівняння вигляду:

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right]. \quad (2.24)$$

Інтегрування рівняння (2.51) по T_n , а також нескладні перетворення дають змогу отримати рівняння об'ємного типу, а саме:

$$q_m = \frac{m + 1}{m} \frac{Y_m}{T_n}. \quad (2.25)$$

Для даної структури безрозмірний комплекс буде мати такий вигляд:

$$q_m/q'_m = \left(\frac{m+1}{m} / \frac{n+1}{n} \right) \frac{T_0}{T_{\Pi}} \quad (2.26)$$

Коефіцієнт загальної редукції q_m/q'_m обмежений одиницею при $t_p = 0$, а при $t_p \rightarrow \infty$ - нулем, що повною мірою узгоджується з природою явища.

2.3 Раціональний метод або формули граничної інтенсивності

При складанні нормативних документів СН 435-72, а потім СНіП 2.01.14-83 для розрахунків максимальних модулів стоку на невеликих річках ($F < 200 \text{ км}^2$) використовуються формули граничної інтенсивності

$$q_m = 16.67 \bar{\psi}(\tau) \eta H_{\partial} , \quad (2.27)$$

де $16.67 \bar{\psi}(\tau) = A_1$ - ординати редукційних кривих найбільшої середньої інтенсивності опадів у часі, тобто

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{\bar{a}\tau}{H_{\partial}} ; \quad (2.28)$$

H_{∂} - добовий максимум опадів; τ - розрахункова тривалість опадів.

У [25,26] автори привертали увагу читачів, що у формулі (2.58) розглядається оператор «опад-русовий стік» замість «опад - схиловий приплив - русловий стік». При аналізі структурного виразу (2.28) розглянемо як невеликі водозбори, так і розгалужені річкові системи.

Для невеликих річок, максимальний модуль стоку дорівнює [29]:

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi, \quad (2.29)$$

де φ - коефіцієнт повноти припливу схилового стоку, який формує максимальну витрату води.

Якщо у формуванні максимального стоку приймають участь опади H_m , які співпадають з їх добовими значеннями, то

$$H_o \eta = Y_m, \quad (2.30)$$

а (2.58) запишеться в редакції

$$q_m = 16,67 \bar{\psi}(\tau) Y_m. \quad (2.31)$$

Порівняння (2.60) з (2.62) набуде вигляду

$$16,67 \bar{\psi}(\tau) = \frac{\varphi}{t_p} = \tilde{\varphi}(t_p). \quad (2.32)$$

Отже, функція $16,67 \bar{\psi}(\tau)$ розраховується в залежності від співвідношення між t_p і T_0 . Зокрема,

- при $0 < t_p < 1,0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \left[1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right]; \quad (2.33)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = \frac{1}{t_p}; \quad (2.34)$$

- при $t_p / T_0 = 0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}; \quad (2.35)$$

- при $t_p \gg T_0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = 0; \quad (2.36)$$

З рівнянь (2.34)-(2.36) видно, що трансформаційна функція $\tilde{\varphi}(t_p) = 16,67 \bar{\psi}(\tau)$ безпосередньо не пов'язана з характеристиками опадів, а цілком залежить від співвідношення t_p і T_0 , а при $t_p < T_0$ й від динаміки припливу води зі схилів до руслової мережі. В тій редакції, що наводиться вище, $\tilde{\varphi}(t_p)$ майже не піддається узагальненню, внаслідок її розмірності. Усунути цю незручність можна шляхом нормування $\tilde{\varphi}(t_p)$ по T_0 , тоді [26]:

- при $t_p / T_0 < 1,0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = \frac{n+1}{n} \left[1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right]; \quad (2.37)$$

- при $t_p / T_0 > 1,0$

$$\tilde{\varphi}(t_p) = \frac{T_0}{t_p}. \quad (2.38)$$

За умови $t_p / T_0 = 1,0$ по обох рівняннях маємо одиницю.

Формулу граничної інтенсивності на основі вищенаведеного аналізу і при використанні опадів можна записати у вигляді:

$$q_m = \tilde{\varphi}(t_p) H_\delta \eta. \quad (2.39)$$

При використанні шарів стоку

$$q_m = \tilde{\varphi}(t_p) Y_m. \quad (2.40)$$

Для розгалужених річкових систем скористаємось базовою структурою руслових ізохрон

$$q_m = q'_m \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \varepsilon_F, \quad (2.41)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу, який дорівнює [29]:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (2.42)$$

ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ – функція розпластування паводкових і повеневих хвиль під

впливом тривалості руслового добігання.

Підставимо (2.41) з урахуванням (2.42) і отримаємо

$$q_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \varepsilon_F. \quad (2.43)$$

Функцію $\tilde{\varphi}(t_p)$ можна розглядати в залежності від співвідношення між t_p і T_0 і окремо – з урахуванням русло-заплавного регулювання. Перша складова надається таким чином:

- при $0 < t_p < T_0$

$$\tilde{\varphi}'(t_p) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \left[1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \frac{t_p}{T_0} \right]; \quad (2.44)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\tilde{\varphi}'(t_p) = \frac{1}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]; \quad (2.45)$$

- при $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\tilde{\varphi}'(t_p) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}; \quad (2.46)$$

- при $t_p \gg T_0$

$$\tilde{\varphi}'(t_p) = 0, \quad (2.47)$$

На великих водозборах структури формули граничної інтенсивності будуть мати вигляд [29]:

- при використанні опадів

$$q_m = \tilde{\varphi}'(t_p) H_{\partial} \eta \varepsilon_F; \quad (2.48)$$

- при використанні снігозапасів

$$q_m = \tilde{\varphi}'(t_p) S_m \eta \varepsilon_F; \quad (2.49)$$

- при використанні шарів стоку

$$q_m = \tilde{\varphi}'(t_p) Y_m \varepsilon_F. \quad (2.50)$$

2.4 Формули, що засновані на теорії руслових ізохрон

Аналіз науково-методичної бази свідчить про те, що вона є недостатньо обґрунтованою і потребує удосконалення. Тому необхідно звернути увагу на нормування характеристик дощових паводків і весняних водопіль на більш сучасній теоретичній основі. Особливо на моделі геометричного плану, в основу яких покладені гідрографи схилового та руслового стоку (або тільки руслового), а також моделі ізохрон.

Вперше модель формування паводкового стоку була запропонована М.А. Велікановим [34], яка отримала широкий розвиток у застосуванні її до руслового стоку.

$$Q_t = \int_0^{\tau} (h - p) \frac{\partial \omega}{\partial \tau} d\tau, \quad (2.51)$$

де h – інтенсивність опадів; p – інтенсивність вбирання води в ґрунт; ω – площа між суміжними ізохронами добігання; τ – тривалість схилового добігання.

Г.А. Алексєєв [35,36] склав, а потім і вирішив диференціальне рівняння руслового стоку вигляду:

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + V_D \frac{\partial \omega}{\partial x} = P(t), \quad (2.52)$$

де V_D - швидкість руху хвилі потоку;

$P(t)$ - боковий приплив на одиницю довжини будь-якого русла.

Рівняння (2.85) покладено в основну схему стаціонарних руслових ізохрон.

Модель формування максимального стоку А.М. Бефані (без урахування русло-заплавного регулювання). Руслові системи, окрім безпосереднього схилового припливу головної річки, отримують живлення і від різного порядку бічних приток. Тому диференціальне рівняння стоку по русловій системі записується таким чином [25,26]:

$$V_o \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = n_x Q'_t, \quad (2.53)$$

де ω - площа поперечного перерізу русел у плоскості ізохрони, віддаленої на відстань x від вододілу;

Q'_t - ординати гідрографа припливу води зі схилів до руслової мережі;

n_x - число русел, що пересікаються ізохроною в створі x , причому:

$$n_x = \frac{B_x}{2l} = \alpha B_x, \quad (2.54)$$

де B_x - ширина басейну по ізохроні руслового добігання; l - довжина схилу; α - коефіцієнт щільності гідрографічної мережі.

Враховуючи (2.54), диференційне рівняння (2.86) набуває виду

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + V_o \frac{\partial \omega}{\partial x} = \alpha Q'_t B_x. \quad (2.55)$$

Залежно від співвідношення між часом руслового добігання t_p і тривалістю припливу води зі схилів в руслову мережу T_0 при інтегруванні (2.55) отримуємо вирази при двох основних типах формування максимального стоку [25]

- при $t_p < T_0$

$$\omega_m = \int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} Q'_t B_x dt = B_{cp} Y_{tp} k_1, \quad (2.56)$$

де B_{cp} - середня ширина водозбору за ізохронами руслового добігання;
 Y_{tp} - «діючий» шар схилового припливу; k_1 - перший гідрографічний коефіцієнт

$$k_1 = \frac{\int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} Q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} Q'_t dt}. \quad (2.57)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\omega_m = \int_0^{T_0} Q'_t B_x dt = B_{cp} Y_m k_2, \quad (2.58)$$

де k_2 - гідрографічний коефіцієнт, аналогічний k_1

$$k_2 = \frac{\int_0^{T_0} Q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_0^{T_0} Q'_t dt}. \quad (2.59)$$

Враховуючи рівняння (2.56) і (2.58), можливо записати розрахункове рівняння для q_m :

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_z, \quad (2.60)$$

де k_z - гідрографічний коефіцієнт

$\varphi = \frac{Y_{tp}}{Y_m}$ - коефіцієнт діючого шару стоку, що формує максимальну

витрату води паводка або водопілля:

- при $t_p < T_0$

$$\varphi = \frac{\int_0^{t_p} Q'_t dt}{\int_0^{T_0} Q'_t dt}; \quad (2.61)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\varphi = 1.0. \quad (2.62)$$

Модель формування максимального стоку А.М. Бефані (з врахуванням русло-заплавного регулювання). Вихідне рівняння (2.60) було вдосконалено А.М. Бефані [37] шляхом введення до нього параметрів русло-заплавного регулювання, тоді розрахункова структура набуде вигляд

$$V_{\partial} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} (\omega + \omega_3 + \omega_a) = \alpha Q'_t B_x, \quad (2.63)$$

де w - площа поперечного перерізу потоку; w_3 - площа поперечного перерізу заплави; w_a - площа поперечного перерізу алювію; δ - пористість алювію.

Спрощене розв'язання (2.63) є обґрунтуванням розрахункової формули

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_z \varepsilon_F, \quad (2.64)$$

де ε_F – коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

Реалізація (2.64) ускладнюється відсутністю даних спостережень за характеристиками схилового припливу, зокрема, за тривалістю T_0 , необхідною для визначення функції φ і гідрографічних коефіцієнтів k_z , а також за русло-заплавним регулюванням паводків і водопіль ε_F [40].

Більш загальною при розгляді процесів формування максимального стоку є розгорнута модель руслових ізохрони [25,26]. Вона зводиться до розв'язання рівнянь:

-при $t_p < T_0$

$$Q_m = V_\delta \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt; \quad (2.65)$$

-при $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V_\delta \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt \quad (2.66)$$

При інтегруванні (2.65) і (2.66) функції q'_t і B_t беруться у редукційному вигляді, тобто [25,26]

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (2.67)$$

а

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right], \quad (2.68)$$

де B_m - максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання.

Гопченком Є.Д. [25,26] при розв'язання рівнянь (2.65) і (2.66) з урахуванням (2.67) і (2.68) обґрунтована структура так званого операторного типу «схилний приплив – русловий стік»

$$q_m = q'_m \psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right) \varepsilon_F, \quad (2.69)$$

де $\psi \left(\frac{t_p}{T_0} \right)$ – коефіцієнт розпластування паводкових і повеневих хвиль під впливом руслового добігання.

Моделі А.В. Огієвського і Й.А.Железняка. В 1945 році Огієвський А.В. [38] запропонував формули на основі методу ізохрон руслового добігання вигляду:

- при $t_p > T_c$

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} F_{\text{д}} = \rho Y_m b_{\text{д}} V_{\text{д}}, \quad (2.70)$$

де $F_{\text{д}}$ - діюча площа водозбору; ρ - коефіцієнт обліку нерівномірності розвитку басейну; T_c - тривалість водовіддачі; $b_{\text{д}}$ - середня ширина басейну у межах діючої площі водозбору;

- при 1 доби $(t_p < T_c)$

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} k' F, \quad (2.71)$$

де k' - коефіцієнт нерівномірності щодобової водовіддачі;

- при $t_p < 1$ доби

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} k' k'' F, \quad (2.72)$$

де k'' - коефіцієнт урахування нерівномірності внутрішньодобової водовіддачі.

На модель руслових ізохрон спирається також формула Й.А.Железняка [39,40], в якій він вводить поняття функції впливу, яка є, по суті, комбінацією двох функцій трансформації – ізохрон і руслового регулювання, і тоді

$$Q_i = q'_i P_1 + q'_{i-1} P_2 + \dots + q'_{i-t_p+1} P_{t_p}. \quad (2.73)$$

Максимальна середньодобова витрата води при цьому дорівнює

$$\tilde{Q}_m = 0,0116 k_{\text{м.г.м.}} Y_m F, \quad (2.74)$$

де $k_{\text{м.г.м.}}$ - так званий метеоролого-гідравліко-морфометричний параметр, який визначається за Й.А.Железняком відношенням

$$k_{\text{м.г.м.}} = \frac{\left(\sum_{i=1}^{t_p} q'_i P_i \right)_m}{\sum_{i=1}^{t_p} q'_i} \cdot T_0. \quad (2.75)$$

В.І. Мокляком [41] і П.Ф. Вишневським [42] також реалізована модель ізохрон, а її редакція приймається у вигляді

$$q_m = h_m \varphi', \quad (2.76)$$

де h_m - середня максимальна інтенсивність водовіддачі за 10-хвилинний (у П.Ф. Вишневського) або годинний (у В.І. Мокляка) інтервали часу; φ' - редуційний коефіцієнт.

За П.Ф. Вишневським [42]:

-при $(t_p / T_0) < 1.0$

$$\varphi' = \frac{2,26}{1 + 6,3 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.77)$$

-при $(t_p / T_0) \geq 1.0$

$$\varphi' = \frac{0,626}{1 + 1,02 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.78)$$

За В.І. Мокляком [41]

-при $(t_p / T_0) > 1.0$

$$\varphi' = \frac{0,28 + 0,07 \frac{t_p}{T_0}}{1 + 2 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.79)$$

-при $(t_p / T_0) < 1.0$, але $t_p > 1$ доби

$$\varphi' = \frac{0,35}{1 + 2 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.80)$$

-при $(t_p / T_0) < 1.0$, і $t_p < 1$ доби

$$\varphi' = \frac{T_0}{0,92T_0 - 0,24 + (1,94T_0 + 5,95)t_p}; \quad (2.81)$$

- для досить малих водотоків ($t_p \leq 0,04$ доби)

$$\varphi' = 1,0. \quad (2.82)$$

2.5 Методика, що рекомендується для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків теплої періоду для річок Гірського Криму

В роботі віддана перевага редукційній формулі, яка була отримана безпосередньо з моделі руслових ізохрон. При цих умовах q'_m є максимальний модуль схилового припливу дорівнює:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y_m = k_o Y_m, \quad (2.83)$$

де k_o – коефіцієнт трансформації схилового стоку; Y_m – шар стоку за повінь або паводок; $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

За моделлю руслових ізохрон

$$q_m = q'_m \psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F. \quad (2.84)$$

Витікає

$$\psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}, \quad (2.85)$$

тобто при осередненні по території T_0 рівняння (2.109) зводиться до відомої структури редукційної емпіричної формули.

Як видно з (2.85), ця умова не є обов'язковою, але тоді T_0 не підлягає осередненню, а узагальнюється по території іншими прийомами. Зокрема, одним з варіантів узагальнення є картування величин, і, якщо спостерігається

зміна по території в одному напрямку T_0 і Y_m , то тоді редукційна формула набуває виду:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (2.86)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу, рівний

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}, \quad (2.87)$$

де $Y_{1\%}$ -шар стоку за паводок забезпеченістю $P=1\%$; T_0 - тривалість схилового припливу; $(n+1)/n$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

3 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИХІДНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ПО МАКСИМАЛЬНОМУ СТОКУ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ

Для об'єктивної оцінки точності обчислення максимальних витрат води різної ймовірності перевищення ($Q_{P,\%}$) необхідно визначити їх середню квадратичну похибку.

При визначенні розрахункових витрат води за допомогою кривої Пірсона III типу, виходячи з двох перших вибірових статистичних моментів і заданого співвідношення між коефіцієнтами варіації й асиметрії, за методикою Г.А.Алексєєва [43] середньоквадратична похибка $\delta Q_{P\%}$ дорівнює:

$$\sigma_{Q_{P\%}} = \frac{100}{Q_{P1\%}} \sqrt{\left(1 + C_v \Phi_p\right)^2 \frac{C_v^2 \bar{Q}_m^2}{n} + \left(\Phi + C_s \frac{d\Phi_p}{dC_s}\right)^2 \times \bar{Q}_m^2 C_v^2 \left(\frac{C_v^2}{n} + \frac{1 + 0,75C_s^2}{2n} - \frac{C_s C_v}{n}\right)} \quad (3.1)$$

де n – кількість років спостережень,

$d\Phi_p/dC_s$ – часткова похідна при забезпеченості $P\%$, яка приблизно може бути обчислена за формулою:

$$\frac{d\Phi_p}{dC_s} \cong \frac{\Phi(P, C_s + \Delta C_s) - \Phi(P, C_s)}{\Delta C_s} \quad (3.2)$$

C_v – коефіцієнт варіації; C_s – коефіцієнт асиметрії; Φ_P – нормовані ординати біноміальної кривої розподілу забезпеченістю $P\%$.

За допомогою сусідніх значень $\Phi(P, C_v)$ і $\Phi(P, C_s + \Delta C_v)$ у таблиці нормованих квантилів кривої Пірсона III типу.

Крім того, С.М.Крицький та М.Ф.Менкель [44] розробили номограми для визначення відносної стандартної похибки квантилів трьохпараметричного

гама-розподілу $E_{\sigma} = \frac{\sigma_{Q_p} \sqrt{n}}{Q_p}$ із закріпленими відношеннями $C_s=2C_v; 3C_v; 4$

Таким чином, визначивши величину E_{σ} за допомогою номограми, можна знайти середню квадратичну похибку квантилів Q_p за формулою:

$$\sigma_{Q_p} = \frac{E_{\sigma}}{\sqrt{n}} 100. \quad (3.3)$$

За формулою (3.3) розраховуються середньоквадратичні похибки 1% - ного квантиля $Q_{1\%}$ вихідних рядів максимальних витрат результати наведені в таблиці 3.1. Середня квадратична похибка становить $\pm 21,55\%$.

Таблиця-3.1 - Розрахунок середньої квадратичною похибки максимальних витрат води 1% ймовірності перевищення

№ з/п	Річка-пост	$Q_{1\%},$ m^3/c	$n,$ роки	C_v	E_{σ}	$\sigma Q_{1\%}$
1	р.Альма – Кримдержзаповідник	42,5	44	0,93	1,18	17,79
2	р.Альма- више вдсх.Партизанське	105	32	1,41	1,23	21,74
3	р.Альма- с.Поштове	135	9	0,77	1,02	34,00
4	р.Альма-с.Красноармійське	170	25	1,11	1,23	24,60
5	р.Кача- с.Загірське	74,8	14	0,85	1,15	30,74
6	р.Кача- с.Баштанівка	122	42	0,97	1,2	18,52
7	р.Кача-с.Комсомольське	152	58	1,08	1,23	16,15
8	р.Марта-с. Верхоріччя	57,8	10	0,49	0,8	25,30
9	р.Бельбек- с.Щасливе	46,2	22	0,54	0,85	18,12
10	р.Бельбек- смт.Куйбишеве	113	37	0,99	1,23	20,22
11	р.Бельбек- с.Фруктове	148	37	1,04	1,23	20,22
12	р.Манаготра-с.Щасливе	14,6	23	0,93	1,17	24,40
13	р.Біюк-Узеньбаш-с.Щасливе	16,4	34	0,51	0,8	13,72
14	р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя	29	35	0,97	1,2	20,28
16	р.Кокозка-с.Аромат	60,2	35	0,86	1,1	18,59
17	р.Чорна-с.Родниківське	45,2	66	1	1,23	15,14
18	р.Чорна-біля гори Кизил-Кая	94,6	39	1,21	1,23	19,70
19	р.Чорна- с.Чорноріченське	123	24	1,08	1,23	25,11
20	р.Узунжа-с. Колхозне	33,1	9	0,85	1,15	38,33
21	р.Байдарка-с.Орлине	13	39	1,9	1,23	19,70

4 ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ПАРАМЕТРІВ ФОРМУЛИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК ПІВНІЧНО-ЗАХІДНОГО СХИЛУ КРИМСЬКИХ ГІР

4.1 Обґрунтування регіональних параметрів формули швидкості руслового добігання для річок північно-західного схилу Кримських гір

Розробкою формул швидкостей добігання займалися багато відомих учених-гідрологів: Г.А.Алексеев, А.Н.Бефані, Р.А.Нежиховский, М.Ф.Срібний, Д.Л.Соколовський, Н.В.Лаликін, О.Г.Іваненко, Є.Д.Гопченко, Б.В.Кіндюк та ін.

В основу більшості з них покладені дані про швидкості течії. Є підходи, коли швидкість добігання визначається безпосередньо в самій структурі формули максимального стоку, наприклад, Г.А.Алексеева [43].

На нашу думку, найбільш перспективним є підхід, який пов'язаний з геометричною схематизацією поперечних перерізів русел. Найбільше розповсюдження знайшли два варіанти такої схематизації:

а) за Р.А. Нежіховським [45]

$$B = bh^m; \quad (4.1)$$

та

б) за А.М. Бефані [46]

$$h = A\omega^{r_0}, \quad (4.2)$$

де B – ширина річки; h – максимальна глибина потоку; ω – площа поперечного перерізу; m і r_0 – параметри, чисельні значення які залежать від форми поперечних перерізів русел.

В якості методичної основи для розрахунку швидкості добігання пропонується використовувати відому в гідравліці формулу Шезі:

$$V = \frac{1}{n_p} I^x h^z, \quad (4.3)$$

де V - швидкість течії; I - ухил русла; h - середня глибина потоку; n_p - коефіцієнт шорсткості; x і z - деякі гідравлічні показники.

Тоді, з урахуванням (4.3), швидкість руслового добігання описується рівнянням вигляду [46]:

$$V = a Q^\alpha I^\beta, \quad (4.4)$$

де a - коефіцієнт, що враховує форму перетину і шорсткість русла;

α і β - гідравлічні показники.

За Р.А. Нежиховським [45], с урахуванням (4.1) і (4.4), α і β дорівнюють:

$$\alpha = \frac{1}{1,5m + 2,5}; \quad (4.5)$$

$$\beta = \frac{0,75(m+1)}{1,5m + 2,5}, \quad (4.6)$$

де m – параметр, що враховує форму русла і представляє собою тангенс кута нахилу лінії зв'язку $B = f(\omega)$ до вісі абцис.

За А.М. Бефані [46], спираючись на (4.2) і (4.4), α і β дорівнюють:

$$\alpha = \frac{r}{r+1}; \quad (4.7)$$

$$\beta = \frac{1}{2(r+1)}, \quad (4.8)$$

де $r = r_0 z$, r_0 - також як і m , що враховує форму русла і являє собою тангенс кута нахилу лінії зв'язку $h = f(\omega)$, а z - залежить від типу русел.

Свого часу, у роботі [46] її авторами для річок України обґрунтовані параметри формули швидкості руслового добігання з використанням схематизації А.М.Бєфані.

В магістерській роботі пропонується варіант розрахунку, який враховує дві схематизації - А.М.Бєфані (за глибиною потоку) та Р.А. Нежиховського (за шириною потоку).

Для обґрунтування регіональних параметрів розрахункової формули руслового добігання для річок Гірського Криму першим етапом є побудова залежностей вигляду $B = f(h)$ і $h = f(\omega)$ для всіх досліджуваних водозборів (рис.4.1 – 4.4). Для річок Криму ці залежності виражені досить добре, з високими коефіцієнтами кореляції.

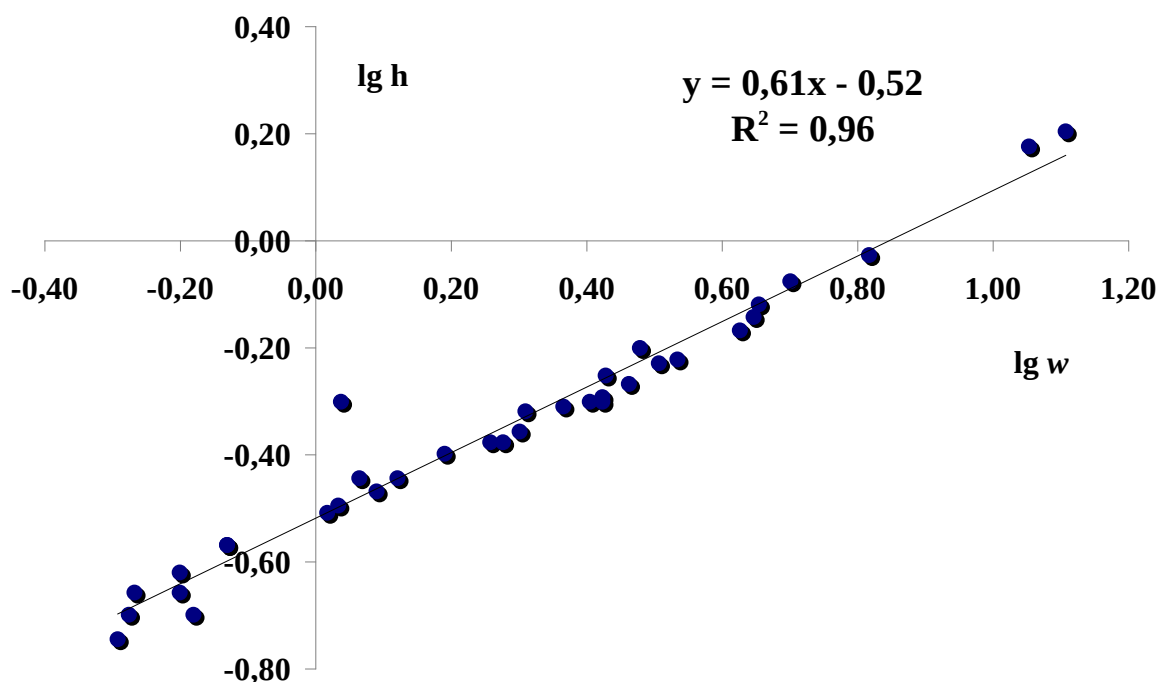


Рисунок 4.1 - Залежність між максимальною глибиною і площею поперечного перерізу р.Кокозка-с.Аромат

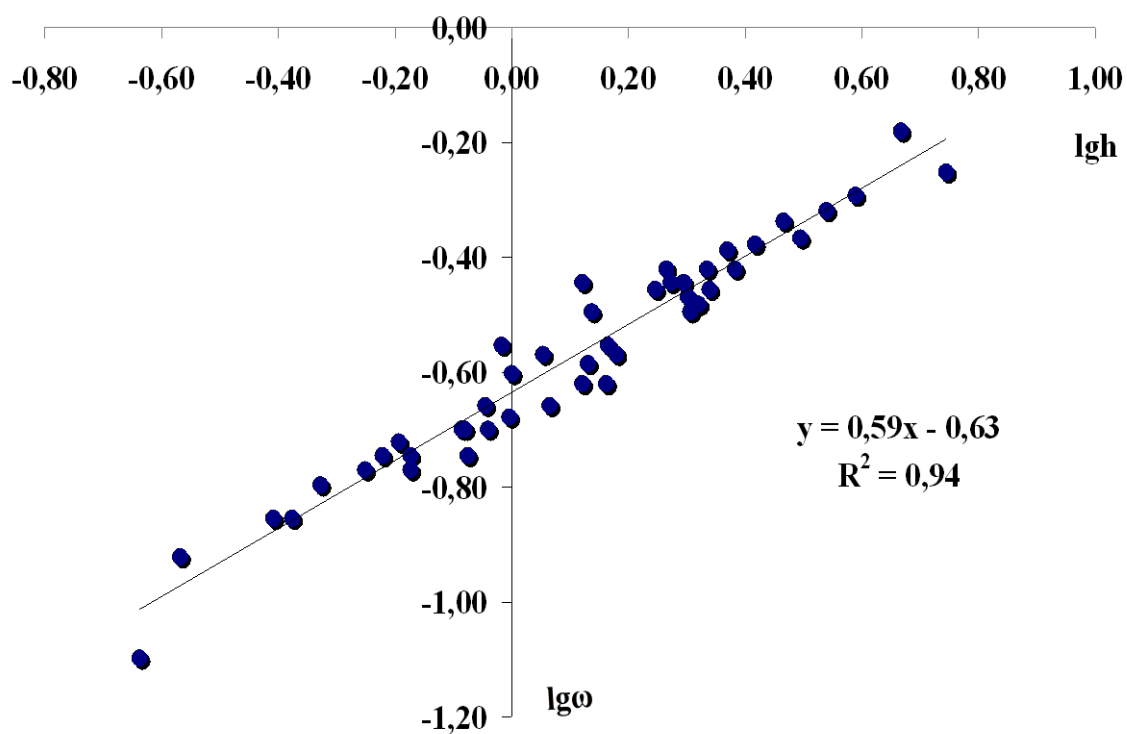


Рисунок 4.2 - Залежність між максимальною глибиною і площею поперечного перерізу р.Кача - с.Загірське

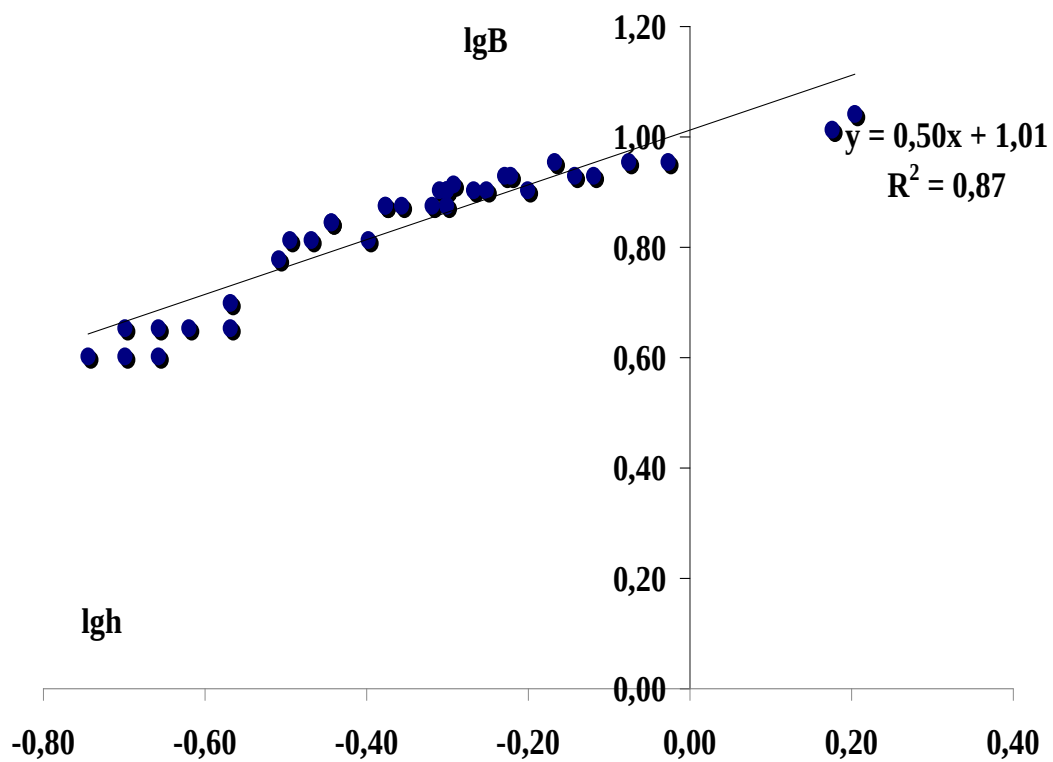


Рисунок 4.3 - Залежність між шириною і глибиною р.Кокозка-с.Аромат

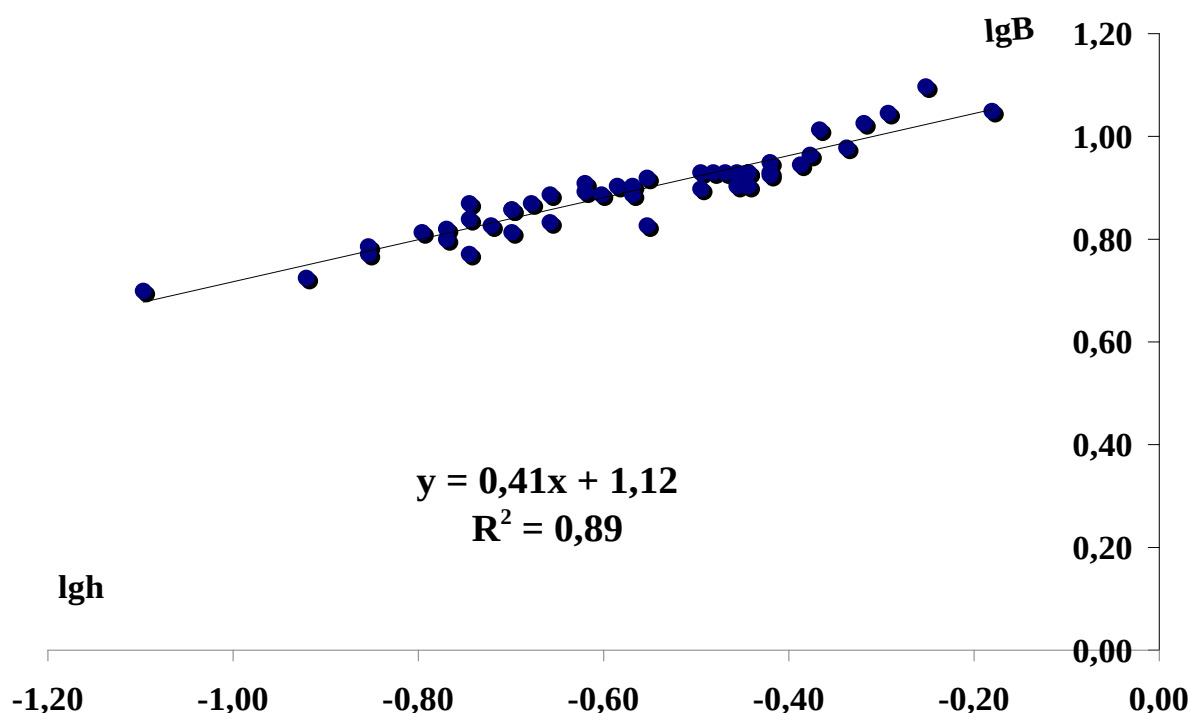


Рисунок 4.4 - Залежність між шириною і глибиною р.Кача - с.Загірське

По залежностям $h = f(\omega)$ отримані значення r_0 , а по $B = f(h)$ - m , які входять до формул (4.1) і (4.2). Перевірка цих параметрів на нормальність за критерієм Гауса [94] показала можливість їх осереднення по всій території на рівні $\bar{r}_0 = 0,65$ і $\bar{m} = 0,40$.

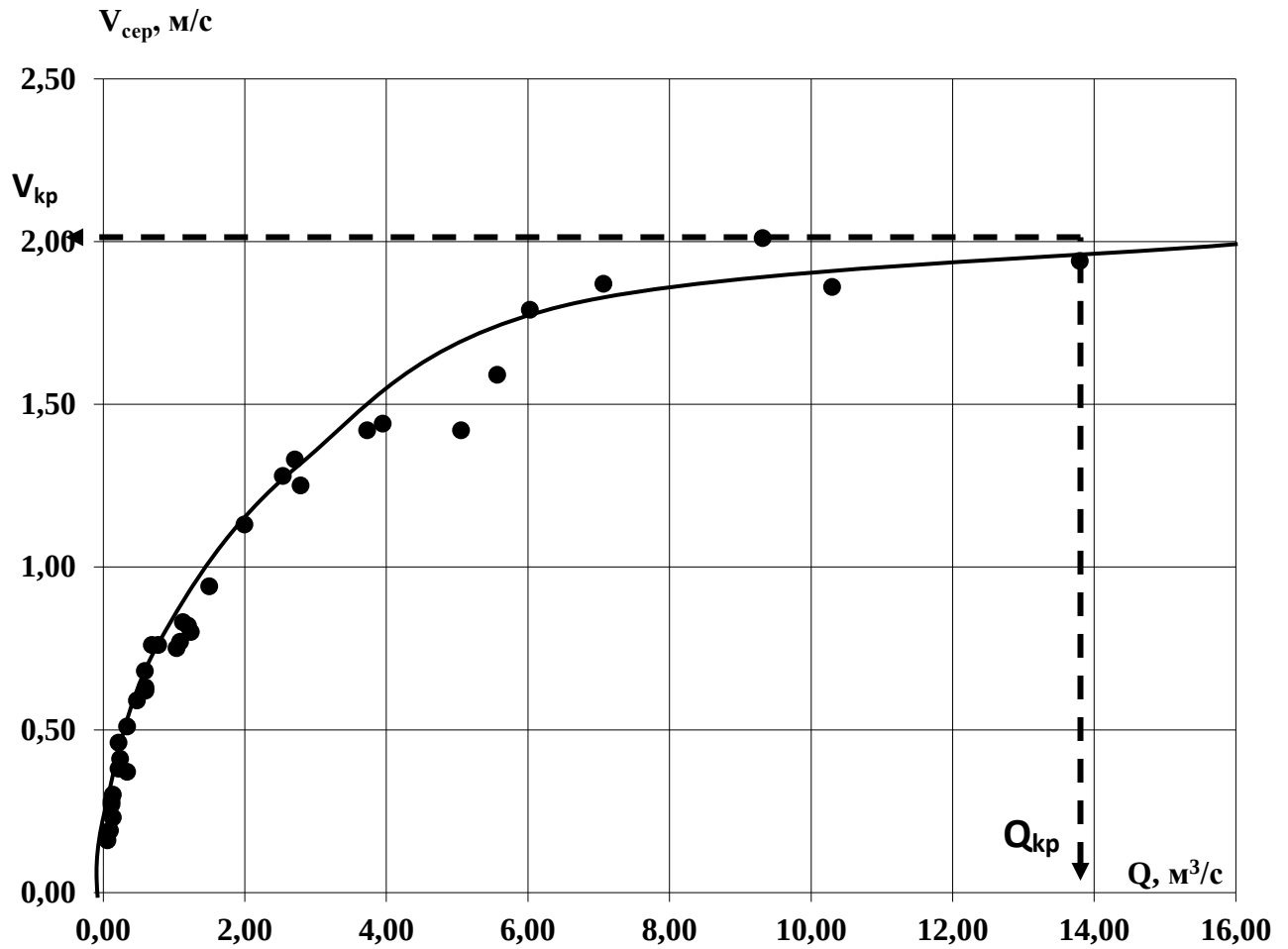
З урахуванням отриманих параметрів гідравлічні показники α і β по обох схематизаціях русел виявилися рівними 0,32 і 0,34, відповідно.

Далі, з метою обґрунтування коефіцієнту a у формулі (4.4), використані залежності $V_{сер} = f(Q)$, по яких були визначені критичні витрати води ($Q_{кр}$) і швидкість течії ($V_{кр}$). Приклад такої залежності показаний на рис.4.5.

Знаючи $V_{кр}$, а також α і β із формули (4.4) для кожного поста встановлені величини швидкісних коефіцієнтів a , які також як і гідравлічні показники, вдалося осереднити для всій території на рівні 0,25.

Тоді розрахункова формула V_0 набуває вигляду:

$$V_{\partial} = 0,25 F^{0,32} I_{\text{сер.36}}^{0,34} . \quad (4.9)$$



Залежність середньої швидкості течії $V_{\text{сер}}$ від витрати води для р. Альма –
Кримдержзаповідник

Величина $Q_{\text{кр}}$, що входить в рівняння (4.9), визначається формою і розмірами поперечного перерізу русел, які в свою чергу залежать від розмірів водозборів.

Тому з метою перетворення початкової формули для річок досліджуваної території отримана залежність $Q_{\text{кр}} = f(F)$, яка представлена на рис.4.6.

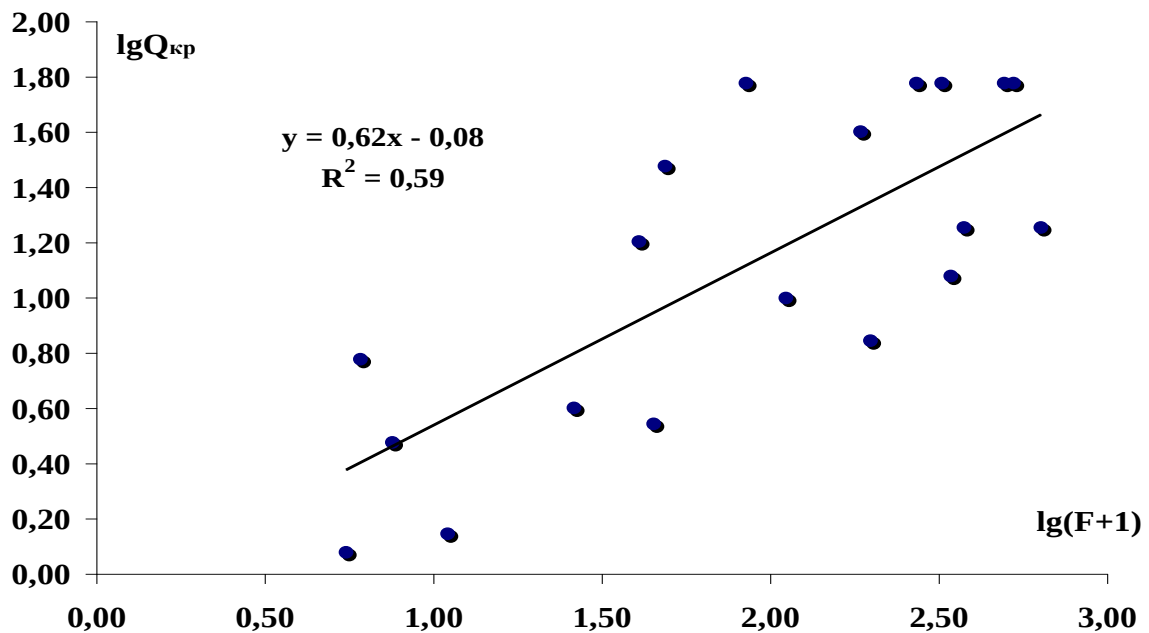


Рисунок 4.6 - Залежність критичних витрат води паводків від площі водозборів для річок Гірського Криму

У результаті розрахункова формула швидкості руслового добігання для річок північно-західного схилу річок Криму набуває вигляду:

$$V_{\partial} = 0,23F^{0,20}I_{\text{сер.зв.}}^{0,34}, \text{ м/с.} \quad (4.10)$$

4.2 Розрахунок характеристик графіків припливу води зі схилів в руслових мережу

4.2.1 Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу

В сучасній практиці найбільш ефективним методом визначення коефіцієнтів нерівномірності $(n+1)/n$, за відсутності воднобалансових станцій, запропоновано в [47-49]. Він полягає в визначенні n через елементи

руслових гідрографів, зокрема, через коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку $(m+1)/m$, що дорівнюють

$$\frac{m+1}{m} = \frac{Q_m}{\bar{Q}_{T_n}} = \frac{q_m T_n}{Y_m}, \quad (4.15)$$

де q_m – максимальний модуль руслового стоку;

T_n – тривалість руслового стоку;

$\bar{Q}_{T_n}$ – середня за паводок витрата води.

Узагальнення $(m+1)/m$ по території може бути відображено за допомогою площ водозборів F . Причому, верхнє граничне значення $(m+1)/m$ при $F \rightarrow 0$ являє собою шуканий параметр нерівномірності схилових гідрографів $(n+1)/n$ [48].

Але існують деякі труднощі у визначенні параметра $(n+1)/n$. Вони пов'язані з недосконалістю засобів розчленування гідрографів, унаслідок чого тривалість паводків T_n може бути як завищеною, так і заниженою. Це відбивається на числових значеннях $(m+1)/m$ і тісноті регіональних залежностей $(m+1)/m = f(F)$.

Тому у роботах [48.49] рекомендується обчислювати шуканий параметр з використанням середніх величин $\bar{Y}_m, \bar{T}_n, \bar{Q}_m$, тобто

$$\frac{m+1}{m} = \frac{\bar{T}_n \bar{Q}_m}{\bar{Y}_m F} 86,4. \quad (4.16)$$

Для річок північно-західного схилу Кримських гір коефіцієнти часової нерівномірності $(m+1)/m$ встановлювались за даними по 21 посту (табл.4.1), а потім узагальнювались в залежності від їх площ водозборів (рис. 4.7). Залежність виражена достатньо добре і може бути проекstrapольована на

вісь ординат з метою визначення $(n+1)/n$. Отже, для річок Гірського Криму рекомендується використовувати $(n+1)/n$ на рівні 4, звідки $n=0,03$.

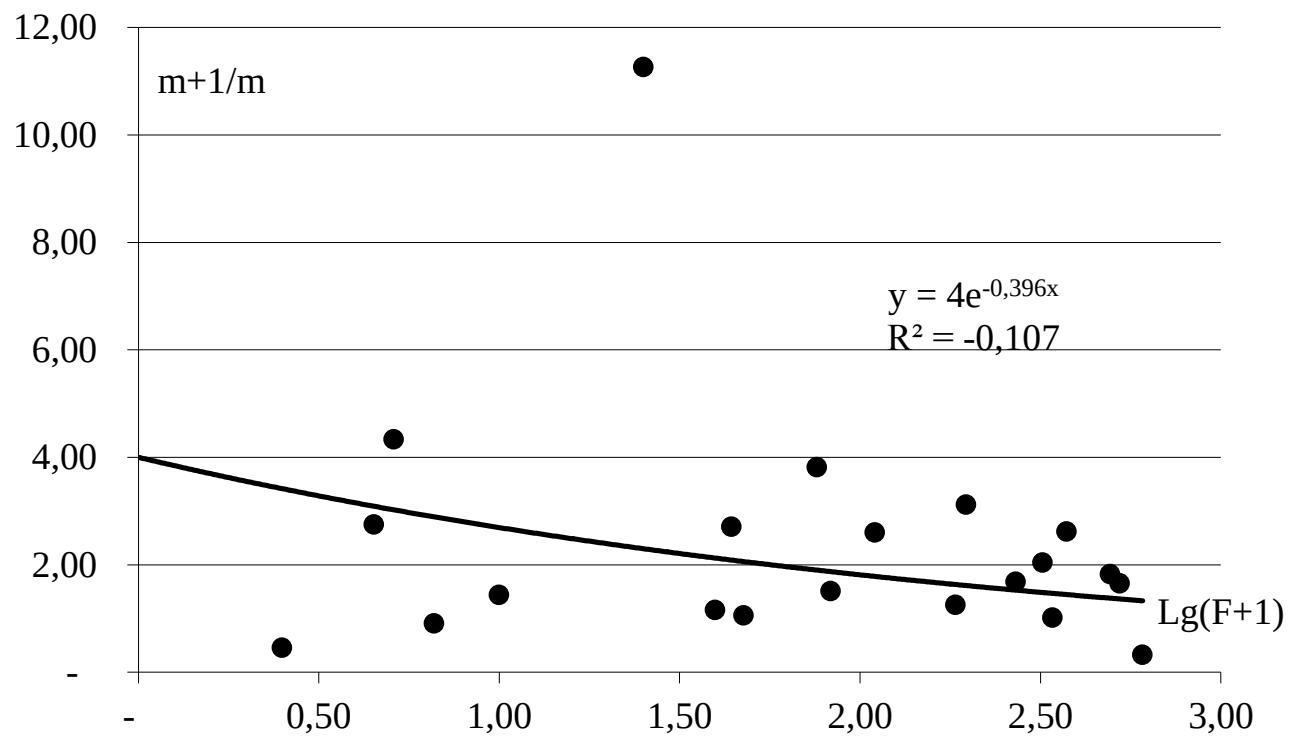


Рисунок 4.7 Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку від площі водозборів для річок північно-західного схилу Кримських гір

Таблиця 4.1- Визначення коефіцієнтів часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі дощових паводків для річок північно-західного схилу Кримських гір

$N_{\text{з/п}}$	Річка-пост	$\bar{Q}_m$, м³/с	$\bar{Y}$, мм	$\bar{T}_n$, дів	F , км²	$Lg(F+1)$	$\frac{m_1 + 1}{m_1}$
1	р.Альма – Кримдержзаповідник	8,37	47	3	39,7	1,60	1,16
2	р.Альма- вище вдсх.Партизанське	25	28	3	184	2,26	1,26
3	р.Альма- с.Поштове	12,3	13	12	374	2,57	2,62
4	р.Альма-с.Красноармійське	7,55	43	13	607	2,78	0,32
5	р.Кача- с.Загірське	6,21	30	16	110	2,04	2,60
6	р.Кача- с.Баштанівка	37,9	15	3	321	2,51	2,04
7	р.Кача-с.Комсомольське	26,8	8	3	525	2,72	1,65
8	р.Марта-с. Верхоріччя	3,36	13	13	76	1,88	3,82
9	р.Бельбек- с.Щасливе	4,14	33	11	44	1,64	2,71
10	р.Бельбек- смт.Куйбишеве	58	22	2	270	2,43	1,69
11	р.Бельбек- с.Фруктове	48,7	14	3	493	2,69	1,83
12	р.Манаготра-с.Щасливе	3,71	29	2	5,1	0,71	4,33
13	р.Бінок-Узеньбаш-с.Щасливе	2,67	115	3	6,6	0,82	0,91
14	р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя	2,5	45	3	10	1,00	1,44
16	р.Кокозка-с.Аромат	1,22	278	3	2,5	0,40	0,45
17	р.Чорна-с.Родниківське	20,8	43	3	83	1,92	1,51
18	р.Чорна-біля гори Кизил-Кая	20,8	107	3	47,6	1,68	1,06
19	р.Чорна- с.Чорноріченське	25,2	46	13	197	2,29	3,12
20	р.Узунжа-с. Колхозне	28,6	31,2	4,4	342	2,53	1,02
21	р.Байдарка-с.Орлине	1,8	11	20	25,1	1,40	11,27

4.2.2 Тривалість припливу води зі схилів в руслових мережу

Найбільші труднощі при побудові формул максимального стоку зазвичай пов'язані з визначенням тривалості схилового припливу. Його фізичний зміст визначений досить чітко, оскільки тривалість схилового припливу є основою схилових гідрографів.

Проте, через рідку мережу воднобалансових станцій і високу мінливість T_0 по території скористатися досить простим прийомом не вдається.

Отримати цю величину можна зворотнім шляхом з базової формули максимального стоку. Базуючись на генетичній формулі А.М. Бефані [46], та враховуючи операторну модель Гопченка Є.Д. розрахункові рівняння для визначення T_0 можна записати у такому вигляді [50]:

- при $t_p < T_0$

$$\frac{nq_m}{Y_m \varepsilon_F} T_0^{n+1} - (n+1)T_0^n + \frac{m_1+1}{n+m_1} t_p^n = 0; \quad (4.17)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\frac{1}{m_1+1} T_0^{m_1} + \frac{m_1(n+m_1+1)}{(n+1)(m_1+1)} \left[\frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} t_p - \frac{n+m_1+1}{n+1} \right] t_p^{m_1} = 0, \quad (4.18)$$

де m_1 – показник степені в рівнянні кривих ізохрон.

Враховуючи те що у формулах (4.17-4.18), крім T_0 , невідомими є ще й коефіцієнти русло-заплавного регулювання ε_F , наведені рівняння мають дві невідомі величини (T_0, ε_F).

Для басейну розглянутих річок значення T_0 розраховані з використанням програми «Сагуа», розробленої на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ.

Таблиця 4.2- Розрахунок тривалості припливу води зі схилів
в руслових мережу

№з/п	Річка-пост	$Y, \text{мм}$	$q, \frac{\text{м}^3}{\text{скм}^2}$	$t_p, \text{год}$	$T_0, \text{год}$
1	р.Альма – Кримдержзаповідник	115,10	1,07	1,48	101,41
2	р.Альма- вище вдсх.Партизанське	92,30	0,57	5,76	126,53
3	р.Альма- с.Поштове	45,50	0,36	10,36	99,30
4	р.Альма-с.Красноармійське	28,00	0,28	2,96	92,42
5	р.Кача- с.Загірське	131,90	0,68	1,77	156,61
6	р.Кача- с.Баштанівка	66,80	0,38	3,64	139,34
7	р.Кача-с.Комсомольське	40,40	0,29	7,41	110,51
8	р.Марта-с. Верхоріччя	24,00	0,76	3,07	38,76
9	р.Бельбек- с.Щасливе	169,60	1,05	0,07	150,12
10	р.Бельбек- смт.Куйбишеве	91,10	0,42	2,95	204,12
11	р.Бельбек- с.Фруктове	67,50	0,30	7,37	158,55
12	р.Манотра-с.Щасливе	109,00	2,86	6,54	42,18
13	р.Біюк-Узеньбаш-с.Щасливе	494,2	2,48	0,07	210,68
14	р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя	198,17	2,90	0,25	76,68
16	р.Кокозка-с.Аромат	183,10	0,73	1,85	232,35
17	р.Чорна-с.Родниківське	446,90	0,95	0,32	500,55
18	р.Чорна-біля гори Кизил-Кая	97,50	0,48	2,5	159,10
19	р.Чорна- с.Чорноріченське	59,70	0,36	3,28	131,25
20	р.Узунжа-с. Колхозне	86,00	1,32	0,89	71,09
21	р.Байдарка-с.Орлине	65,30	2,89	0,28	33,27

Для виявлення просторових особливостей зміни тривалості схилового припливу T_0 спочатку була досліджена закономірність, яка пов'язана з можливим впливом висотного положення водозборів. Для цього побудована залежність тривалості схилового припливу від середньої висоти водозборів для річок північно-західного схилу Кримських гір (рис.4.8).

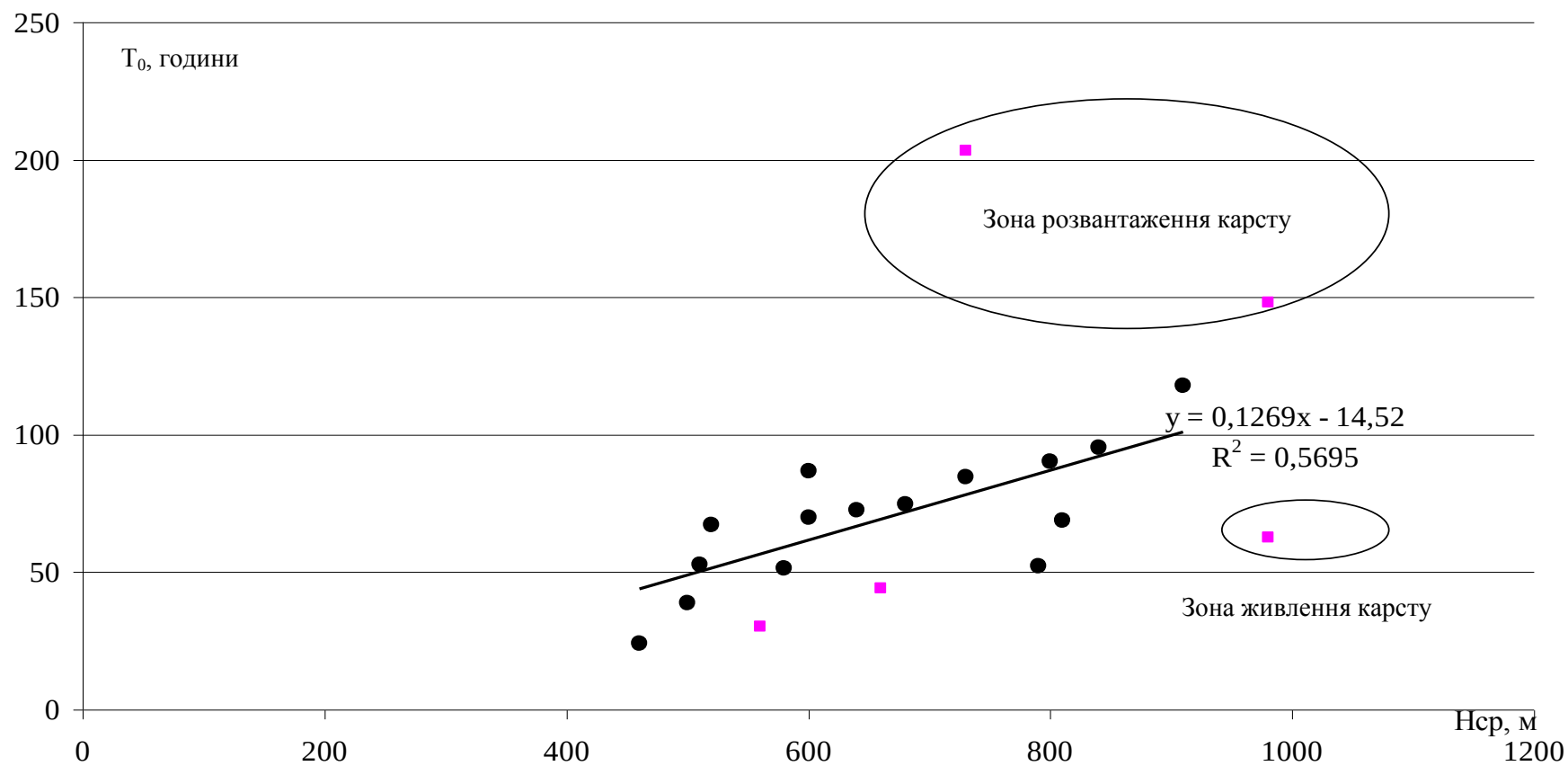


Рисунок 4.8- Залежність тривалості схилового припливу від середньої висоти водозборів
для річок північно-західного схилу Кримських гір

4.3 Максимальний модуль схилового припливу

Редукція максимального модулю q_m / q'_m може бути описана рівнянням:

$$q_m / q'_m = \frac{1}{(F + 1)^{n1}}. \quad (4.19)$$

Для визначення цього коефіцієнта вихідними даними є величини модуля схилового припливу q'_m .

Отримані для всіх постів значення $q_{1\%} / q'_m$ в логарифмічних координатах наносяться на графік $(q_{1\%} / q'_m) = f(F)$. Залежність добре виражена, а проведення лінії зв'язку спрощується тим, що залежність повинна виходити з $lg (q_{1\%} / q'_m) = 0$ при $lg (F + 1) = 0$ (рис.4.9).

Формула максимального модуля схилового припливу для розглядуваної території приймає вигляд:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{0,17}} \quad (4.20)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу, який дорівнює

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}. \quad (4.21)$$

На рисунку 4.10 показана залежність максимальних модулів схилового припливу від середньої висоти водозборів для річок північно-західного схилу Кримських гір. Проаналізувавши залежність автором виділені два райони, один з яких карстовий (район II).

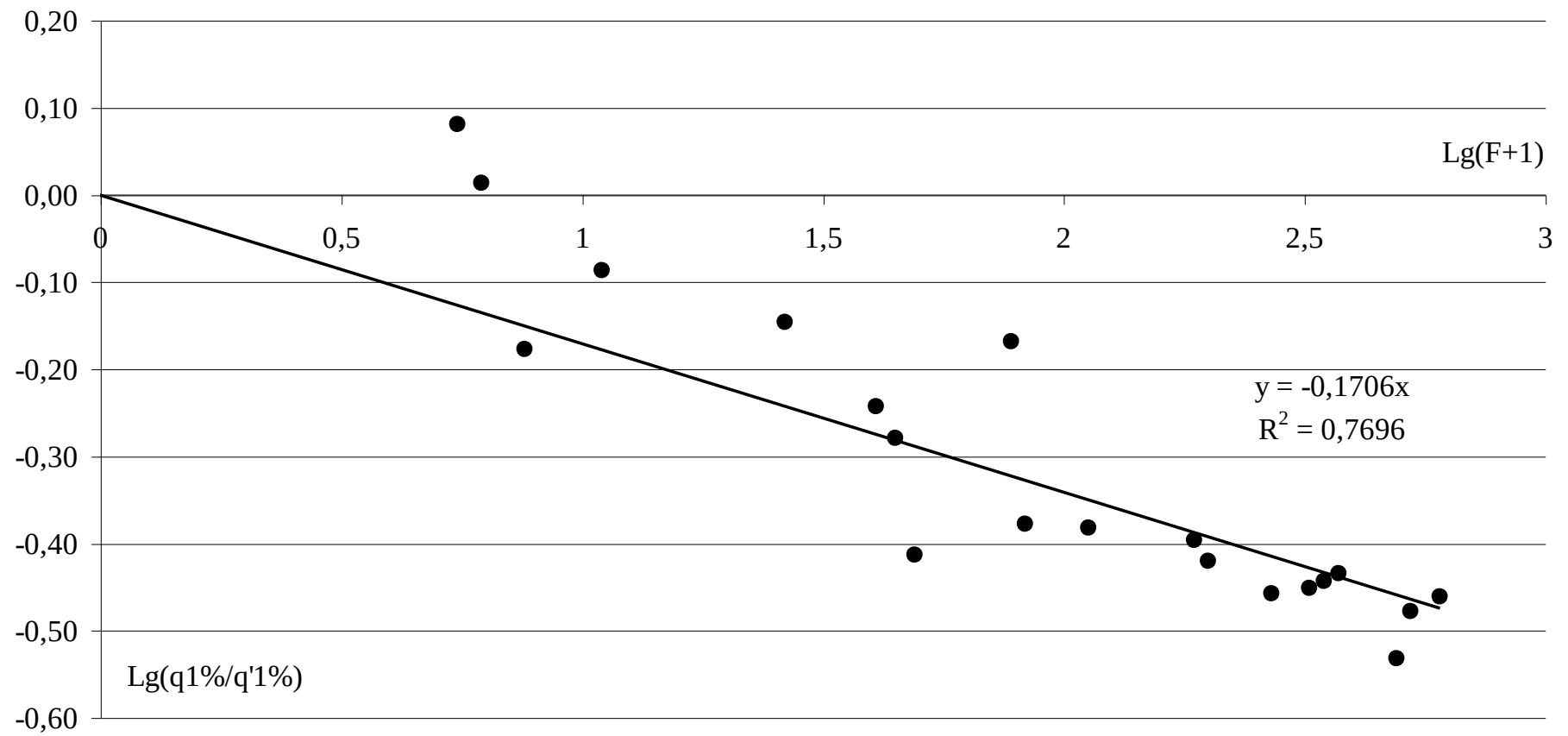


Рисунок 4.9 – Залежність модуля схилового припливу від площі водозбору
для річок північно-західного схилу Кримських гір

Таблиця 4.3- Вихідні дані для розрахунку коефіцієнта загальної редукції максимального стоку дощових паводків для водозборів північно-західного схилу Кримських гір

№ з/п	Річка-пост	T_0 , год.	$Y_{1\%}$, мм	q'_m , $\text{м}^3/\text{скм}^2$	$q_{1\%}$, $\text{м}^3/\text{скм}^2$	$q_{1\%}q'_m$	$\lg(F+1)$	$Lg(q_{1\%}/q'_m)$
1	р.Альма – Кримдержзаповідник	101,41	115,1	1,87	1,07	0,57	1,60	-0,24
2	р.Альма- више вдсх.Партизанське	126,53	92,3	1,42	0,57	0,40	2,26	-0,40
3	р.Альма- с.Поштове	99,3	45,5	0,98	0,36	0,37	2,57	-0,43
4	р.Альма-с.Красноармійське	92,42	28	0,81	0,28	0,35	2,78	-0,46
5	р.Кача- с.Загірське	156,61	131,9	1,64	0,68	0,42	2,04	-0,38
6	р.Кача- с.Баштанівка	139,34	66,8	1,07	0,38	0,35	2,51	-0,45
7	р.Кача-с.Комсомольське	110,51	40,4	0,87	0,29	0,33	2,72	-0,48
8	р.Марта-с. Верхоріччя	38,76	24	1,12	0,76	0,68	1,88	-0,17
9	р.Бельбек- с.Щасливе	150,12	169,6	1,99	1,05	0,53	1,64	-0,28
10	р.Бельбек- смт.Куйбишеве	204,12	91,1	1,20	0,42	0,35	2,43	-0,46
11	р.Бельбек- с.Фруктове	158,55	67,5	1,02	0,30	0,29	2,69	-0,53
12	р.Манатра-с.Щасливе	42,18	109	2,77	2,86	1,03	0,71	0,01
13	р.Біюк-Узеньбаш-с.Щасливе	210,68	494,2	3,73	2,48	0,66	0,82	-0,18
14	р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя	76,68	198,17	3,54	2,90	0,82	1,00	-0,09
16	р.Кокозка-с.Аромат	232,35	183,1	1,74	0,73	0,42	1,92	-0,38
17	р.Чорна-с.Родниківське	500,55	446,9	2,46	0,95	0,39	1,68	-0,41
18	р.Чорна-біля гори Кизил-Кая	159,1	97,5	1,26	0,48	0,38	2,29	-0,42
19	р.Чорна- с.Чорноріченське	131,25	59,7	1,00	0,36	0,36	2,53	-0,44
20	р.Узунжа-с. Колхозне	71,09	86	1,85	1,32	0,72	1,40	-0,15
21	р.Байдарка-с.Орлине	33,27	65,3	2,40	2,89	1,21	0,65	0,08

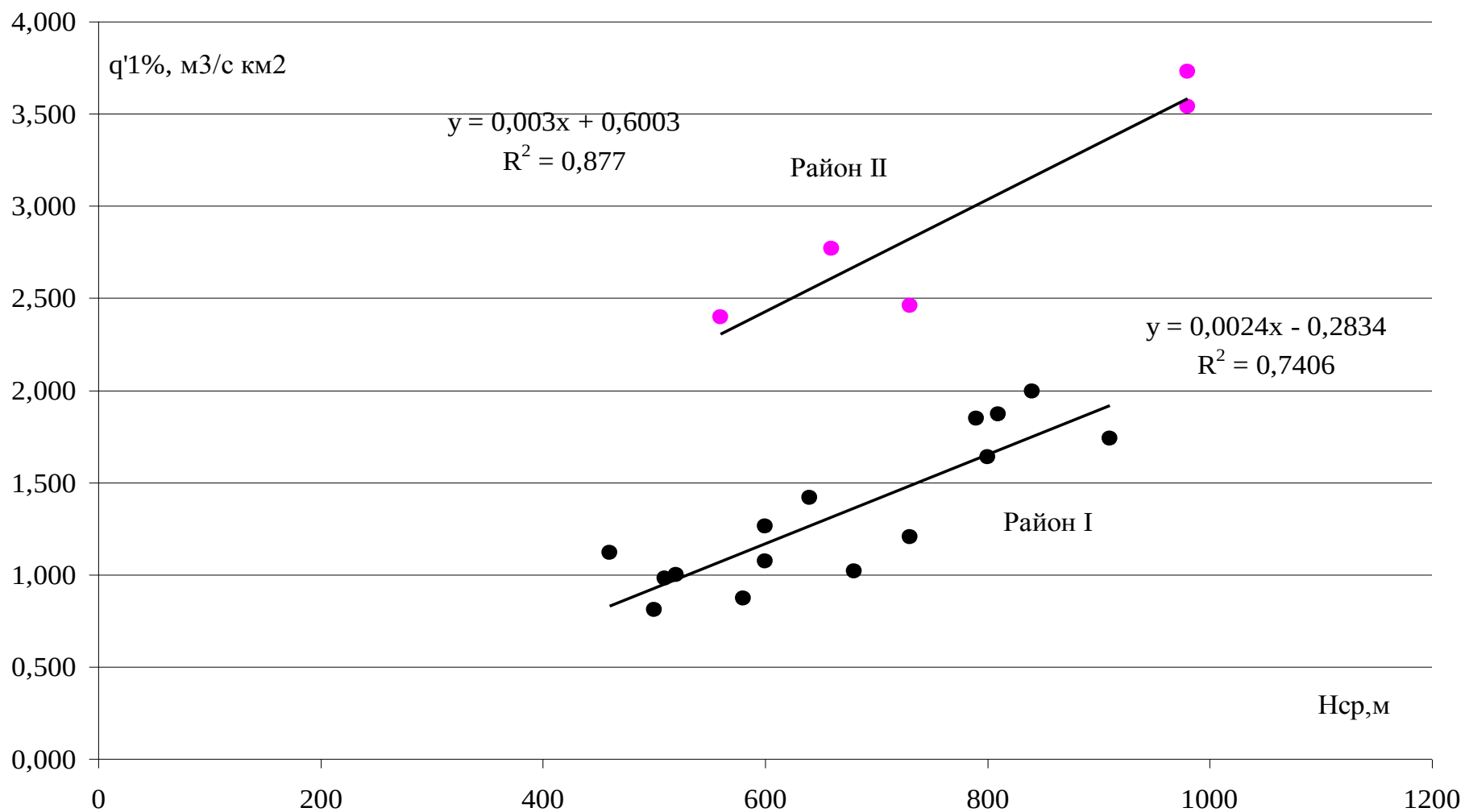


Рисунок 4.10– Залежність максимальних модулів схилового припливу від середньої висоти водозборів для річок північно-західного схилу Кримських гір

4.4 Перевірочні розрахунки

Аналіз одержаних результатів показує, що запропонована методика мають добру збіжність як з вихідною інформацією (табл.4.4).

Надійність запропонованої методики можна оцінити за формулою:

$$\Delta q_{1\%} = \frac{|q_{1\%} - q_{1\%ф}|}{q_{1\%ф}} \cdot 100\%, \quad (4.22)$$

де $q_{1\%}$ – значення, отримані в результаті перевірних розрахунків за методикою; $q_{1\%ф}$ – фактичні значення, отримані за вихідними даними.

Точність розрахунку знаходиться на рівні 22,5% при точності вихідної інформації 21,55%, що є задовільним результатом.

Таблиця 4.4 - Перевірочні розрахунки

№ з/п	Річка-пост	$q_{1\%}, \text{роз}$ $\frac{\text{м}^3}{\text{с км}^2}$	$q_{1\%}, \text{ф}$ $\frac{\text{м}^3}{\text{с км}^2}$	$ \Delta , \%$
1	р.Альма – Кримдержзаповідник	0,88	1,07	17,3
2	р.Альма- више вдсх.Партизанське	0,52	0,57	9,5
3	р.Альма- с.Поштове	0,34	0,36	4,6
4	р.Альма-с.Красноармійське	0,31	0,28	10,1
5	р.Кача- с.Загірське	0,74	0,68	8,1
6	р.Кача- с.Баштанівка	0,43	0,38	14,1
7	р.Кача-с.Комсомольське	0,38	0,29	31,8
8	р.Марта-с. Верхоріччя	0,39	0,76	48,4
9	р.Бельбек- с.Щасливе	0,91	1,05	13,6
10	р.Бельбек- смт.Куйбишеве	0,57	0,42	34,9
11	р.Бельбек- с.Фруктове	0,47	0,3	56,7
12	р.Манаготра-с.Щасливе	1,90	2,86	33,7
13	р.Біюк-Узеньбаш-с.Щасливе	2,51	2,48	1,1
14	р.Кучук-Узеньбаш-с.Многоріччя	2,35	2,9	18,8
16	р.Кокозка-с.Аромат	0,90	0,73	22,6
17	р.Чорна-с.Родниківське	1,44	0,95	51,8
18	р.Чорна-біля гори Кизил-Кая	0,47	0,48	1,9
19	р.Чорна- с.Чорноріченське	0,36	0,36	0,6
20	р.Узунжа-с. Колхозне	0,93	1,32	29,8
21	р.Байдарка-с.Орлине	1,71	2,89	41,0

Висновки

У магістерській кваліфікаційній роботі розглядаються територія водозборів північно-західного схилу Кримських гір, яка включає в себе річки Альма, Кача, Бельбек, Чорна і їх притоки. Ці річки та їх притоки беруть початок майже в вершинах Кримських гір і впадають в Чорне море. Річки цієї групи приблизно до середини своєї течії носять характер типових гірських потоків.

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи виконаний розрахунок максимального стоку річок північно-західного схилу Кримських гір. Слід звернути увагу, на:

- в роботі запропонований варіант розрахунку швидкості руслового добігання, який враховує дві схематизації - А.М.Бефані (за глибиною потоку) та Р.А. Нежиковського (за шириною потоку);
- для річок північно-західного схилу Кримських гір коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n = 4$, а степеневий показник у рівнянні схилового припливу $n = 0,03$;
- для визначення тривалості схилового припливу води у руслову мережу для річок гірського Криму використовувались комп'ютерна програма «Сагуаг»;
- основним розрахунковим параметром запропонованої методики є максимальний модуль схилового припливу q'_m , який представлений двома районами, один з яких є карстовим;
- точність розрахунку знаходиться на рівні 22,5% при точності вихідної інформації 21,55%, що є задовільним результатом.

Перелік джерел посилання

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 6. Украина и Молдавия. Выпуск 4. Крым. Ленинград: ГМИ, 1966. 344 с.
2. Атлас України / кер. проекту Л.Г.Руденко, В.С.Чабанюк, А.І.Бочковська / Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999-2000. URL:<http://www.isgeo.kiev.ua>
3. Екстремальні гідрологічні явища: паводки і посухи на території гірських регіонів України (за ред. Гопченка Є.Д.): Монографія. Одеса: ТЕС. 2018. 324 с.
4. SNA, 1995: Climate, Lakes and Rivers, The National Atlas of Sweden, Almqvist and Wiksell International, Stockholm.
5. Eagleson, P. S., 1970: Dynamic Hydrology. McGraw-Hill, New York.
6. World Meteorological Organization, 1986: Manual for Estimation of Probable Maximum Precipitation. Operational Hydrology Report No. 1, WMO–No. 332, Geneva.
7. Weisner, C. J., 1970: Hydrometeorology. Chapman & Hall, London.
8. U.S. Weather Bureau, 1976: Hydrometeorology. Reports 55A, 56-57.
9. Kennedy, MR, Pearce, HJ, Canterford, RP and Mintz, LJ, 1988: The estimation of generalized probable maximum precipitation in Australia. Workshop on spillway design floods, Canberra, 4 February 1988, Australian National Committee on Large Dams Bulletin, Issue 79, April 1988.
10. Kite, GW, 1988: Frequency and Risk Analysis in Hydrology . Water Resources Publications, Fort Collins, Colorado.
11. World Meteorological Organization, 1989: Statistical Distributions for Flood Frequency Analysis (C. Cunneane). Operational Hydrology Report, 33, WMO-No. 718, Geneva.

12. Leese, M. N., 1973: Use of censored data in the estimation of Gumbel distribution parameters for annual maximum flood series. *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 6, pp. 1534–1542.
13. Interagency Advisory Committee on Water Data, 1982: Guidelines for Determining Flood Flow Frequency. Bulletin 17B of the Hydrology Subcommittee, U.S. Geological Survey, Office of Water Data Coordination, Reston, Virginia.
14. Pilon, P. J., Condie, R. and Harvey, K. D., 1985: The Consolidated Frequency Analysis (CFA) Package. (HOMS component I.81.2.02), Environment Canada, Water Resources Branch, Ottawa, pp. 163.
15. Leese, M. N., 1973: Use of censored data in the estimation of Gumbel distribution parameters for annual maximum flood series. *Water Resources Research*, Vol. 9, No. 6, pp. 1534–1542.
16. Condie, R., 1986: Flood samples from a three-parameter lognormal population with historic information: the asymptotic standard error of estimate of the T-year flood. *Journal of Hydrology*, Vol. 85, pp. 139–150.
17. Stedinger, J. R. and Cohn, T. A., 1986: Flood frequency analysis with historical and pale flood information. *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 5, pp. 785-793.
18. Stedinger, J. R. and Cohn, T. A., 1986: Flood frequency analysis with historical and pale flood information. *Water Resources Research*, Vol. 22, No. 5, pp. 785-793.
19. Dalrymple, T., 1949: Regional Flood Frequency Analysis. Presentation to the twenty-ninth annual meeting of the highway research board, Washington, D.C., pp. 22.
20. Dalrymple, T., 1960: Flood frequency analysis. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1543-A, Reston, Virginia, pp. 80.
21. Benson, M. A., 1962: Evolution of methods for evaluating the occurrence of floods. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1580-A, Reston, Virginia, pp. 30.

22. Benson, M. A., 1962: Factors influencing the occurrence of floods in a humid region of diverse terrain. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1580-B, Reston, Virginia, pp. 62.
23. Benson, M. A., 1964: Factors affecting the occurrence of floods in the southwest. U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1580-D, Reston, Virginia, pp. 72.
24. Stedinger, JR and Tasker, GD, 1985: Regional hydrologic analysis - ordinary, weighted and generalized least squares compared. Water Resources Research, Vol. 21, No. 9, pp. 1421-1432.
25. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины / Одесса: ТЭС, 2002. 110 с.
26. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Київ: КНТ, 2005. 148 с.
27. Кочерин Д.И. Вопросы инженерной гидрологии / Ленинград: Энергоиздат, 1932. 208 с.
28. Соколовский Д.Л. Речной сток / Ленинград: Гидрометеиздат, 1968. – 538 с.
29. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Тодорова Е.И. Проблемы создания нормативных документов в области расчета характеристик максимального стока рек Украины и возможные пути их решения // Географический вестник. 2016. № 1(36). С.49-57.
30. Огиевский А.В. Гидрология суши / Москва: Сельхозиздат. 1952. 515 с.
31. Мокляк В.И., Царенко Э.И. Расчеты максимальных расходов от талых вод на реках Украины и Молдавии // Труды УкрНИГМИ. 1967. Вып.73. С.3-26.
32. Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод УРСР / Київ: Видав. АН УРСР, 1957. 163 с.

33. Мокляк В.И. Расчеты весенних максимальных расходов воды (при отсутствии наблюдений) // Труды Киевск. Научн.-исслед. ГМО УССР. 1949. Вып.3(4).
34. . Великанов В.А. Гидрология суши / Ленинград: Гидрометеоиздат, 1948. 526 с.
35. Алексеев Г.А. Анализ и расчет максимального стока // Тр.НИУГМС. 1946. сер.IV. вып. 29. С.33-91.
36. Алексеев Г.А. Паводочный сток рек СССР / Москва; Гидрометеиздат. 1956. 107 с.
37. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР / Обнинск. 1981. вып. 2, 60 с.
38. Огиевский А.В. Основные закономерности в процессах стока на речных бассейнах / Тр.ННУ ГУ ГМС. сер.IV. 1945. Вып.13. 191 с.
39. Железняк И.А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора // Тр.УкрНИГМИ.1985.Вып.201. С.15-27.
40. Железняк И.А. Русловое регулирование и применение генетических формул стока // Труды УкрНИГМИ. 1977. Вып. 158. С.3-11.
41. Мокляк В.И. Расчеты весенних максимальных расходов воды (при отсутствии наблюдений) / Труды Киевск. Научн.-исслед. ГМО УССР. 1949. Вып.3(4).
42. Вишневський П.Ф. Зливи і зливовий стік на Україні / Київ: Наукова думка, 1964. 230 с.
43. Алексеев Г.А. Паводочный сток рек СССР / Москва; Гидрометеиздат. 1956. 107 с.
44. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком / Москва, 1981. 254 с.
45. Нежиховский Р.А. Русловая сеть бассейна и процесс формирования стока воды / Ленинград: Гидрометеиздат, 1971. 473 с.

46. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока / Тр. ОГМИ, 1955, ч. II, вып. XIV, 302 с.
47. Гопченко Е.Д. Обоснование параметров редуccionной формулы для расчета максимального стока рек // Водные ресурсы. 1976. № 4. С. 34 -40.
48. Гопченко Е.Д., Гнездилов Ю.А. Графоаналитический метод определения параметров гидрографов склонового стока (по материалам полевого обследования ГВВ) // Труды УкрНИГМИ. 1974. Вып. 127. С. 54-61.
49. Андреевская Г.М., Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть // Метеорология, климатология и гидрология. 1996. Вып. 33. С. 106-110.
50. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Тодорова Е.И. Комплексный метод определения расчетных характеристик склонового притока в периоды дождевых паводков и весенних половодий // Географія, картографія, географічна освіта: історія, методологія, практика. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції (м. Чернівці, 9-11 жовтня 2014 р.). Чернівці: Видавничий дім «Родовід», 2014. С. 44-45.