МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Розрахунок характеристик максимального та мінімального стоку в басейні р. Горинь

Виконав магістр 2-го року навчання
групи МЗГ- 19
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-професійної програми
підготовки «Гідрологія»
Лошовська Олена Павлівна

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. Шакірзанова Ж.Р.
" 26" жовтня 2020 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Лошовській Олені Павлівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахунок характеристик максимального та мінімального стоку в басейні р. Горинь
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; мінімальні витрати води за літньо-осінній та зимовий періоди.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Горинь; 2) Методика, що рекомендується для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь; 3) Методика, що рекомендується для нормування характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Карто-схеми географічного положення, ґрунтів, рослинності; карто-схема розподілу шарів стоку 1%-ої забезпеченості; карто-схема тривалості схилового припливу; карто-схема максимальних модулів схилового припливу; карти ізоліній модулів мінімального стоку 80 % забезпеченості за зимовий та літньо-осінній періоди.

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 басейну р. Горинь	26.10-29.10.2020	95	відмінно
2	Методика, що рекомендується для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь	30.10-17.11.2020	95	відмінно
	Рубіжна атестація	**16.11-22.11.2020**	-	-
3	Методика, що рекомендується для нормування характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь	18.11-25.11.2020	95	відмінно
4	Оформлення дипломного проекту	25.11-03.12.2020	95	відмінно
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)		95	відмінно

Студент _____ **Лошовська О.П.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ **Тодорова О.І.**
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зміст

		Вступ	8
1		Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Горинь……..	9
	1.1	Географічне положення та рельєф…….	9
	1.2	Ґрунти та рослинність……	10
	1.3	Кліматичні умови……..	11
	1.4	Водний режим……	11
	1.5	Гідрологічна вивченість……..	12
2		Методика, що рекомендується для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь…….	13
	2.1	Статистична обробка вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь……	15
	2.1.1	Аналіз однорідності часових рядів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь……	15
	2.1.2	Дослідження трендів та циклічності часових рядів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь……	21
	2.2	Методи, які використовуються для визначення статистичних параметрів теоретичних кривих розподілу……	24
	2.2.1	Розрахунки статистичних параметрів за методом моментів……..	24
	2.2.2	Розрахунки статистичних параметрів за методом найбільшої правдоподібності…….	29
	2.2.3	Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь……	31
	2.2.4	Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь……	35
	2.2.5	Оцінка точності вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь ……..	38
	2.3	Розрахунок характеристик максимального стоку в басейні р. Горинь ……	38
	2.3.1	Визначення розрахункових характеристик схилового припливу для басейну р. Горинь……..	38

2.3.1.1 Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу…… 40
2.3.1.2 Тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі в період весняного водопілля української частини басейну р. Горинь……. 43
2.3.1.3 Максимальні модулі схилового припливу…… 45
2.3.2 Розрахунки максимального стоку весняного водопілля різної ймовірності перевищення в басейні р. Горинь та їх перевірка…….. 46
3 Методика, що рекомендується для нормування характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь 48
3.1 Статистична обробка вихідної інформації по мінімальному стоку в басейні р. Горинь…….. 48
3.1.1 Аналіз однорідності часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь…… 48
3.1.2 Дослідження трендів та циклічності часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь……. 51
3.1.3 Статистична обробка часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь……. 55
3.2 Розрахунок характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь……. 61
3.2.1 Узагальнення характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь……. 61
3.2.2 Перевірочні розрахунки…….. 65
Висновки…… 67
Перелік джерел посилання…… 69
Додатки……..

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. Переважна частина запитів народного господарства до гідрології суші - будь то запити гідроенергетики, водопостачання, зрошення, осушення, залізничного та автомобільного транспорту - зводитися в першу чергу до питання про кількість води, яка повинна бути використана або пропущена спорудами. Враховуючи важливість формування максимального та мінімального стоку на річках, проблеми вивчення їх природи завжди привертала увагу дослідників, адже вони є важливою базовою характеристикою при проектуванні та експлуатації різного роду гідротехнічних споруд у долинах і руслах річок.

Мета і завдання дослідження полягають в обґрунтуванні та реалізації методики для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля та мінімального стоку зимової та літньо-осінньої межені в басейні р. Горинь. **Об'єкт дослідження** – максимальний стік весняного водопілля та мінімальний стік літньої-осінньої та зимової межені. **Предмет дослідження** – обґрунтування і реалізація методики розрахунку максимальних витрат води весняного водопілля різної ймовірності перевищення та мінімальних витрат води в басейні р. Горинь. **Методи дослідження** полягають у використанні математичної статистики, за допомогою якої здійснено обробку часових рядів гідрологічних величин, географічного узагальнення розрахункових характеристик, які є визначальними у нормативно-розрахунковій методиці максимального та мінімального стоку.

Новизна досліджень. Для басейну р. Горинь удосконалено науково-методичну базу для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля річок та представлені методики у вигляді карт для визначення мінімального стоку 80 %-ої забезпеченості зимової та літньо-осінньої межені.

Практичне значення. Визначення характеристик максимального та мінімального стоку посідають особливе місце в процесі спорудження гідротехнічних споруд.

Кількість сторінок – 71

Кількість рисунків – 29

Кількість таблиць – 17

Кількість використаної літератури – 25

Ключові слова: максимальний стік, мінімальний стік, весняне водопілля, межень, однорідність, циклічність, забезпеченість.

SUMMARY

Actuality of theme. The vast majority of the economy's demands for land hydrology - be it hydropower, water supply, irrigation, drainage, rail and road transport - come down primarily to the amount of water that should be used or let through structures. Given the importance of forming maximum and minimum runoff on rivers, the problem of studying their nature has always attracted the attention of researchers, because they are an important basic characteristic in the design and operation of various hydraulic structures in river valleys and riverbeds.

The purpose and tasks of the study are to substantiate and implement the method for determining the characteristics of the maximum runoff of spring floodplain and the minimum runoff of winter and summer-autumn boundaries in the basin of the river Goryn. **The object of research** is the maximum runoff of spring floodplain and the minimum runoff of summer-autumn and winter confluence. **The subject of the study** is substantiation and realization of the method of calculation of the maximum water consumption of spring floodplain of different probability of exceeding and minimum water consumption in the basin of the river Goryn. **Research methods:** are the use of mathematical statistics, which is used to process time series of hydrological quantities, geographical generalization of design characteristics, which are decisive in the normative-calculation method of maximum and minimum runoff.

Novelty of research. For the basin of the Goryn River, the scientific and methodological basis for normalization of the calculated characteristics of the maximum runoff of spring river floodplain has been improved and methods in the form of maps for determining the minimum runoff of 80% winter and summer-autumn lows are presented**.**

The practical significance. Determining the characteristics of the maximum and minimum runoff occupy a special place in the construction of hydraulic structures.

Number of pages is - 71

Number of drawings - 29

The number of tables is 17

Number of used literature -25

Key words: maximum runoff, minimum runoff, spring flood, low, homogeneity, cycle, frequency.

Вступ

Розрахунки характеристик максимального та мінімального стоку складають основу інженерно-гідрометеорологічних досліджень при проектуванні різних об'єктів.

Недостатньо надійні рекомендації щодо розрахунку максимального та мінімального стоку можуть не тільки призводити до збитків у народному господарстві в результаті зруйнування гідротехнічних споруд, а й спричинити катастрофічні наслідки для населених пунктів та будівель. Враховуючи ці факти, слід відмітити практичне значення роботи, яке полягає в підвищенні ефективності та точності розрахунку максимального та мінімального стоку в межах досліджуваного річкового басейну.

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

Перший розділ розкриває загальні відомості досліджуваного водозбору, а саме розглядається рельєф, рослинність, ґрунти, клімат та гідрографія.

Другий розділ включає опис методики та розрахунки характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь.

Третій розділ включає опис рекомендацій та розрахунки характеристик мінімального стоку 80 %-ої забезпеченості зимової та літньо-осінньої межені в басейні р. Горинь.

Основні результати магістерського дослідження, які є складовою роботи, представлялись та обговорювались на наукових конференціях молодих вчених ОДЕКУ, на щорічному міжнародному симпозіумі «Erbe der europdischen Wissenschaft» («Heritage of European science») з публікацією в колективній монографії та VIII Міжнародній науковій конференції молодих вчених «Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування».

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ГОРИНЬ

1.1 Географічне положення та рельєф

Горинь є притокою Прип’яті. Довжина річки 659 км, у межах України — 577 км, площа водозбору 27700 км² (рис.1.1). Басейн Горині межує на заході з басейнами Стиру, на сході з басейнами Уборті і Ствиги, на півдні — з басейном Дністра. Верхня частина басейну до впадання р. Устя розташована на Волинь-Подільській височині і являє собою плато з висотами 385,5—215 м, сильно розчленоване долинами річок і балок. Середня й нижня частини басейна лежать в області значно заболоченої низинної рівнини Полісся, що характеризується плоским рельєфом з піщаними пагорбами [1].

Рисунок 1.1 – Карта-схема географічного положення р. Горинь (в межах України) [2]

1.2 Ґрунти та рослинність

Волинська частина території Надгориння, на якому розташована річка Горинь, це плато, яке складене з крейдових пісків, мергелі, вапняків і крейди, що зустрічаються у вигляді виступів у долинах рік. У межах плато основними породами є крейдові піски, мергелі, вапняки й крейда, що трапляються у вигляді виступів у долинах річок, що підстелені древніми кристалічними породами, переважно гранітами, і перекриті товщею третинних пісків, глин, мергелів і черепашкових вапняків (рис.1.2).

Більша частина поверхні басейну розорана; ліси, що займають 1950 км^2 (18%) поширені, головним чином, у низов'ї й складаються із сосни з домішкою дуба; у верхів'ї переважають широколистяні ліси (дуб, граб, клен, ясен), що збереглися по схилах долин рік і балок [1].

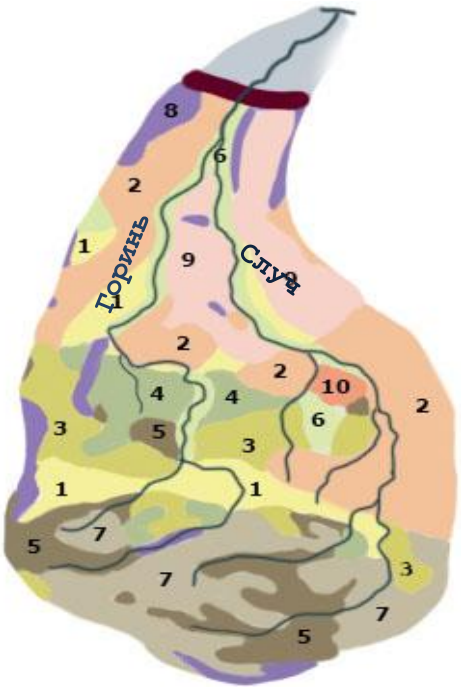


Рисунок 1.2 – Типи ґрунтів: *1-Дерново-підзолисті; 2-Дерново-підзолисті оглеєві; 3-Ясно-сірі та сірі опідзолені; 4-Темно-сірі опідзолені; 5-Чорноземи опідзолені; 6-Лучні; 7-Чорноземи типові; 8- Торфово-болотні; 9- Дернові піщані.*

1.3 Кліматичні умови

Клімат басейну річки Горинь помірно-континентальний. Живлення ріки переважно снігове з помітною участю дощового й грунтового [1].

Найбільш багатоводна ріка буває навесні (III-IV), коли по ріці проходить 42-54% річного стоку, на літо й осінь (VI- XI) доводиться 31-39%, на зиму (XII-II) – 15-21%.

На території басейну річки Горинь переважає кількість хмарних днів, особливо в холодну пору року, коли небо в тій чи іншій мірі вкрите хмарами протягом 76 – 88% тривалості світлової частини доби. Навесні і особливо влітку, цей показник відчутно зменшується, не перевищуючи 44-60%.

Льодостав найчастіше наступає в середині грудня, на перекатах нерідко залишаються ополонки, що місцями зберігаються протягом усієї зими.

Річка скресає у верхів'ї наприкінці лютого – початку березня, у середній і нижній течії на один-два тижні пізніше.

1.4 Водний режим

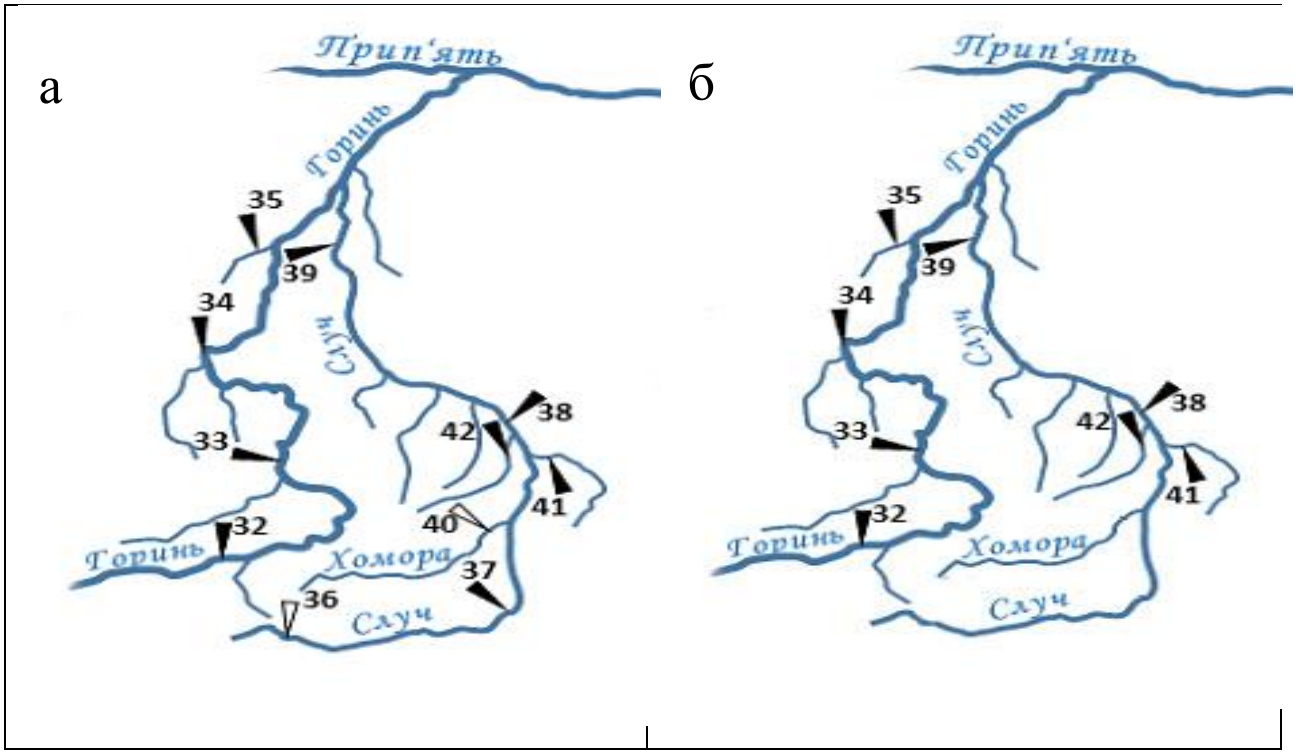
На річці Горинь у річному ході рівня води виділяється високе весняне водопілля, низька літня межа, що порушується короткочасними дощовими паводками, осінні й зимові підйоми води. Підйом рівня навесні найчастіше починається в березні, рідше – в лютому, відбувається інтенсивно (до 1,5-1,0 м/добу) і в середині або другій половині березня наступає найвищий рівень висотою при звичайному повноводді 0,8-4,6 м, при винятково високому – 1,2-5,8 м. Як правило, водопілля проходить одним піком і дуже рідко двома. Спад відбувається повільно, протягом одного-двох місяців і звичайно наприкінці травня в червні встановлюється межень [1].

1.5 Гідрологічна вивченість

В роботі використані дані спостережень за максимальним стоком весняного водопілля по 11 гідрологічних постах (рис.1.3 а) та дані спостережень за мінімальним стоком зимової та літньо-осінньої межені по 8 гідрологічних постах (рис.1.3 б).

Діапазон водозбірних площ охоплює басейни за розміром від 231 (р. Вирка – с. Сварині) до 13300 км² (р.Случ – с. Сарни). Період спостережень коливається в межах від 30 років (р. Случ - с.Велика Клитна) до 87 (р.Случ – с. Громада).

Розташування гідрологічних постів у межах басейну річки Горинь зображено на рисунку 1.3.



Умовні позначки: ▼ - діючий гідрологічний пост; ▽ - недіючий гідрологічний пост.

Рисунок 1.3 - Карта-схема розташування гідрологічних постів в басейні р. Горинь

2 МЕТОДИКА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ ДЛЯ НОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ГОРИНЬ

Проаналізувавши науково-методичної праці вітчизняних [3-6] та закордонних вчених [7-11], авторами віддана перевага редукційній формулі вигляду (1), яка отримана безпосередньо з моделі руслових ізохрон [3-5]

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}. \qquad (2.1)$$

Параметри, що входять до (2.1), визначаються за простою процедурою – логарифмуванням вихідної формули та побудовою емпіричної залежності $\lg q_m = f[\lg(F+1)]$. Тангенс кута нахилу лінії зв'язку до вісі абсцис є показник редукції n_1,а відрізок, що відсікається по ординаті (при F=0) – максимальний модуль схилового припливу q'_m.

Формулу (2.1) по суті є узагальненим варіантом одномодальної геометрії гідрографів паводків і повеней, але лише для випадку, якщо мінливість тривалості припливу вод зі схилів T_0 по території в цілому невелика і її припустимо усереднити. При цих умовах q'_m є максимальний модуль схилового припливу і дорівнює:

$$q'_m = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_o}Y_m = k_o Y_m, \qquad (2.2)$$

де k_0 – 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 базовою для них є формула виду:

$$q_m = q'_m \psi\left(t_p / T_0\right)\varepsilon_F , \tag{2.3}$$

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

Співставлення (2.1) і (2.3) отримуємо

$$\psi\left(t_p / T_o\right)\varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}, \tag{2.4}$$

тобто при осередненні по території T_0 рівняння (2.3) зводиться до структури редукційної емпіричної формули.

Одним з варіантів узагальнення є представлення величин у вигляді карт, якщо спостерігається зміна по території в одному напрямку T_0 і Y_m, то тоді редукційна формула набуває вигляду:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \tag{2.5}$$

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

$$q'_m = 0{,}28\frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}Y_{1\%} . \tag{2.6}$$

Головною перевагою пропонованої формули для майбутнього споживача є її простота та невелика кількість розрахункових параметрів.

2.1 Статистична обробка вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

Використання статистичних методів передбачає наявність стаціонарності та однорідності вихідної інформації.

У роботі А.В. Рождественського [12] наводяться деякі приклади можливих причин неоднорідності вихідної інформації по стоку річок, зокрема: 1. Вплив чинників підстильної поверхні на водозборах річок (безстічні мікро- і макро пониження місцевості). 2. Регулювання річкового стоку й інша господарська діяльність (гідротехнічні споруди, сільськогосподарські заходи, агролісомеліорація, зрошування, перекидання стоку тощо). 3.Вплив на річковий стік вирубки лісів. 4.Тимчасові ставки і невеликі водосховища, які у багатоводні роки часто руйнуються, іноді суттєво впливають, створюючи неоднорідність даних спостережень за максимальним стоком.

Також необхідно аналізувати можливий вплив на стік річок глобальних і регіональних змін клімату, які можуть суттєво порушувати стаціонарність гідрометеорологічних процесів.

2.1.1 Аналіз однорідності часових рядів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

У випадках, коли у розпорядженні дослідника є порівняно короткі ряди спостережень, для оцінки їх однорідності найчастіше за все використовується критерії Стьюдента та Фішера.

Критерій Фішера F [13], який використовується для перевірки гіпотези однорідності дисперсій, має вигляд:

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2}, \tag{2.7}$$

де σ_x^2 і σ_y^2 – дисперсії досліджуваних рядів, причому у чисельнику використовується з двох досліджуваних рядів більше її значення. Функція Фішера залежить від числа ступенів свободи $k_1 = n_x - 1$ і $k_2 = n_y - 1$, де n_x і n_y – тривалість досліджуваних рядів.

За допомогою критерію середніх Стьюдента t оцінюється однорідність рядів, що характеризуються досить близькими значеннями дисперсій. Сам же критерій записується у вигляді [13]

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{n_x \sigma_x^2 + n_y \sigma_y^2}} \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}}, \tag{2.8}$$

де $\bar{y}$ і $\bar{x}$ – середні значення двох рядів, що аналізуються на однорідність;

σ_x^2; σ_y^2 – дисперсії вихідних рядів;

$n_x; n_y$ – тривалість порівнювальних рядів.

Статистика t підкоряється розподілу Стьюдента з числом ступенів свободи $k = n_x + n_y - 2$.

За нульову гіпотезу приймається умова, що $\bar{y} = \bar{x}$. Критична область статистики Стьюдента при рівні значущості $q\%$ є областю абсолютних значень $| t | > tq, k$.

Використання критеріїв однорідності при розрахунках стокових характеристик частіше за все стосується не двох часових рядів, а кожного з них окремо. Технічно це досягається за допомогою поділу кожної з вибірок

на дві частини (тривалістю n_x і n_y). Очевидно, що перевірці у такий спосіб підлягають доволі тривалі ряди (бажано не менше 40 членів ряду).

У 1955 р. Уілкоксон запропонував непараметричний метод перевірки гіпотез однорідності, який дозволяє здійснювати перевірку частково залежних вибірок в тих випадках, коли дані вимірювань попарно взаємозв'язані. Надалі цей критерій був удосконалений Манном й Уітні [14, 15] і став одним з рекомендованих у діючих нормативних документах для оцінки однорідності стокових рядів .

Керівництвом з гідрологічної практики ВМО [16] при перевірці статистичних гіпотез рядів даних не рекомендовано використання статистичних параметричних критеріїв або тестів Стьюдента та Фішера (тобто t-тест і F-тест), на відміну від непараметричних, у зв’язку з тим, що гідрологічні ряди зазвичай не відповідають нормальному закону розподілу за не значної їх довжини, яке може негативно впливати на ефективність параметричної перевірки (Yue and Pilon, 2004).

У той же час, у тому ж документі ВМО [16] при перевірці на те, чи мають обидві вибірки різні середні (при нормальному законі розподілу ряду) в переліку інших критеріїв має місце стандартний параметричний критерій Стьюдента.

У [16] коротко представлені стандартні параметричні і непараметричні тести на виявлення змін (Kundzewicz and Robson, 2004), серед яких є:

- перевірка за критерієм Манна-Уітні / тест сум номерів рангового ряду (тест, який виявляє відмінності між двома незалежними вибірками, заснований на статистичному критерії Манна-Кендалла);
- непараметрична перевірка CUSUM (тест, в якому послідовні спостереження порівнюються з медіаною ряду з максимальною сукупною сумою ознак відмінності від медіани як статистичний критерій);
- перевірка за критерієм Стьюдента (перевірка на те, чи мають обидві вибірки різні середні - приймають нормально розподілені дані і відомий період критичних точок);

- тест Петтітта (тест, який виявляє зміни в медіані ряду з точним часом шуканої зміни);
- перевірка за критерієм Крускаля-Уолліса (тестування рівності середніх значень підперіодів);
- перевірка накопичених відхилень та інші CUSUM-тести (тест працює з ремасштабірованнимі сукупними сумами відхилень від середнього);
- перевірка за критерієм відношення правдоподібності Уорслі (підходить для використання, коли точка розладнання невідома).

При тлумаченні результатів тесту в [16] відмічено, що необхідно пам'ятати про те, що статистична перевірка не ідеальна, навіть якщо виконуються всі припущення. Отже, рекомендується використовувати більше одного тесту. Якщо кілька тестів дають значущі результати, то це доводить наявність змін, якщо тільки вони не ідентичні, і тоді багаторазове доказ значимості не є додатковим підтвердженням змін.

Аналізуючи отримані результати по оцінці однорідності (табл. 2.1-2.2), слід відмітити, що ряди **максимальних витрат води** весняного водопілля однорідні в 4 випадках з 11 за трьома критеріями (Стьюдента, Фішера та Уілкоксона) тобто 36% рядів є однорідними. Для рядів **шарів стоку** однорідними є 7 з 11 за трьома критеріями, 64% від усіх рядів [17].

Таблиця 2.1 – Оцінка однорідності максимальних витрат води в басейні р. Горинь

Річка-пост	n, років	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Стьюдента		Висновок	Критерій Уілкоксона	Загальний висновок
			F	$F_{кр}$		t	$t_{кр}$			
Горинь - смт Ямполь	76	1%	8,5	2,54	ні	3,32	2,65	ні	ні	ні
		5%		2,02	ні		1,99	ні	ні	ні
Горинь - с. Оженін	70	1%	4,08	2,64	ні	3,94	2,66	ні	ні	ні
		5%		2,08	ні		2	ні	ні	ні
Горинь – с. Деражне	58	1%	4,65	2,84	ні	4,11	2,67	ні	ні	ні
		5%		2,19	ні		2,01	ні	ні	ні
Вирка - с. Сварині	69	1%	2,32	2,64	так	3,13	2,66	ні	ні	ні
		5%		2,08	ні		2	ні	ні	ні
Случ – с.Велика Клитна	30	1%	3,16	5,35	так	0,77	2,81	так	так	так
		5%		3,44	так		2,07	так	так	так
Случ - с. Громада	87	1%	1,87	2,35	так	4,11	2,64	ні	ні	ні
		5%		1,91	так		1,99	ні	ні	ні
Случ - м.Новоград-Волинський	42	1%	1,53	3,92	так	0,69	2,74	так	так	так
		5%		2,74	так		2,04	так	так	так
Случ - с. Сарни	82	1%	2,92	2,45	ні	2,25	2,65	так	так	так
		5%		1,96	ні		1,99	ні	ні	ні
Хомора – смт Понинка	40	1%	1,11	4,16	так	0,21	2,75	так	так	так
		5%		2,86	так		2,04	так	так	так
Тня - с. Броники	76	1%	1,05	2,54	так	1,41	2,65	так	так	так
		5%		2,02	так		1,99	так	так	так
Смолка - с. Сусли	71	1%	1,87	2,61	так	3,15	2,66	ні	ні	ні
		5%		2,06	так		2	ні	ні	ні

Таблиця 2.2 – Оцінка однорідності шарів стоку в басейні р. Горинь

Річка-пост	n, років	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Стьюдента		Висновок	Критерій Уілкоксона	Загальний висновок
			F	$F_{кр}$		t	$t_{кр}$			
Горинь – смт Ямполь	76	1%	3,06	2,54	ні	3,31	2,65	ні	ні	ні
		5%		2,02	ні		1,99	ні	ні	ні
Горинь – с. Оженін	70	1%	2,34	2,64	ні	3,37	2,66	ні	ні	ні
		5%		2,08	ні		2,01	ні	ні	ні
Горинь – с. Деражне	58	1%	1,99	2,84	так	2,64	2,67	так	так	так
		5%		2,19	так		2,01	ні	ні	ні
Вирка – с. Сварині	69	1%	3,9	2,64	ні	0,68	2,66	так	так	так
		5%		2,08	ні		2,01	так	так	так
Случ - с.Велика Клитна	30	1%	1,13	5,35	так	0,66	2,81	так	так	так
		5%		3,44	так		2,07	так	так	так
Случ – с. Громада	87	1%	1,07	2,35	так	2,08	2,64	так	так	так
		5%		1,91	так		1,99	ні	ні	ні
Случ - м.Новоград-Волинський	42	1%	1,04	3,92	так	0,07	2,74	так	так	так
		5%		2,74	так		2,04	так	так	так
Случ – с. Сарни	82	1%	1,08	2,44	так	0,61	2,65	так	так	так
		5%		1,96	так		1,99	так	так	так
Хомора - смтПонинка	40	1%	1,11	4,16	так	0,21	2,75	так	так	так
		5%		2,86	так		2,04	так	так	так
Тня - с. Броники	76	1%	1,17	2,54	так	0,4	2,65	так	так	так
		5%		1,17	так		2	так	так	так
Смолка – с. Сусли	71	1%	1,25	2,61	так	1,36	2,66	так	так	так
		5%		2,06	так		2	так	так	так

2.1.2 Дослідження трендів та циклічності часових рядів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

Для тих рядів, де має місце неоднорідність, представляє інтерес дослідити наявність у них направленість трендів.

З цією метою були побудовані хронологічні графіки зв'язку $Y_m = f(t)$ і $Q_m = f(t)$, за допомогою яких можна встановити характер і тенденції у багаторічних коливаннях шарів стоку і максимальних витрат води.

Такі графіки були побудовані для всіх досліджуваних рядів в басейні р. Горинь, приклади показані на рис. 2.1 – 2.2, для них отримані рівняння лінійних трендів та оцінена їх значущість за рівнянням [17]:

$$r \geq 2\sigma_r \tag{2.9}$$

де r - коефіцієнт кореляції; σ_r - середня квадратична похибка коефіцієнта кореляції лінійного тренду, яка визначається за формулою $\sigma_r = (1 - r^2) / \sqrt{(n-1)}$.

Тренди виявились значущими лише для р. Горинь - с. Деражне (по максимальним витратам води), р. Горинь - смт Ямпіль (по максимальним витратам води та шарам стоку), р. Случ - м. Сарни (по максимальним витратам води).

Для встановлення характеру багаторічних коливань максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля, крім трендів у часових рядах були розглянуті також і різницеві інтегральні криві $\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1) = f(t)$.

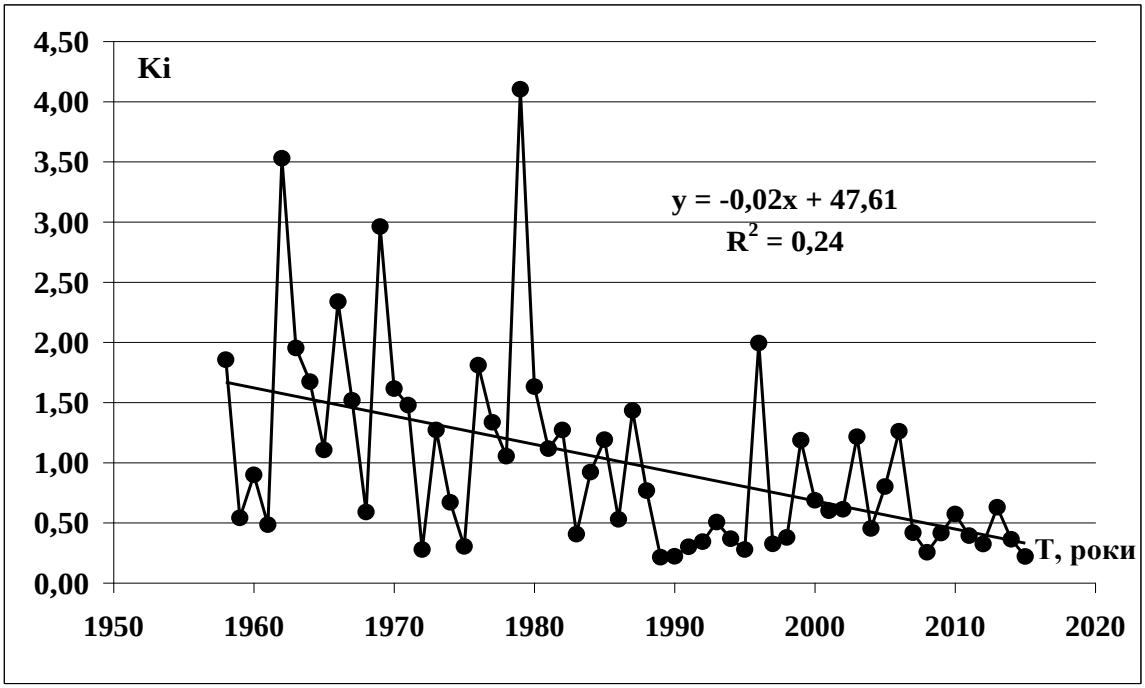


Рисунок 2.1 - Хронологічний графік ходу максимальних витрат води весняного водопілля для р. Горинь - с. Деражне

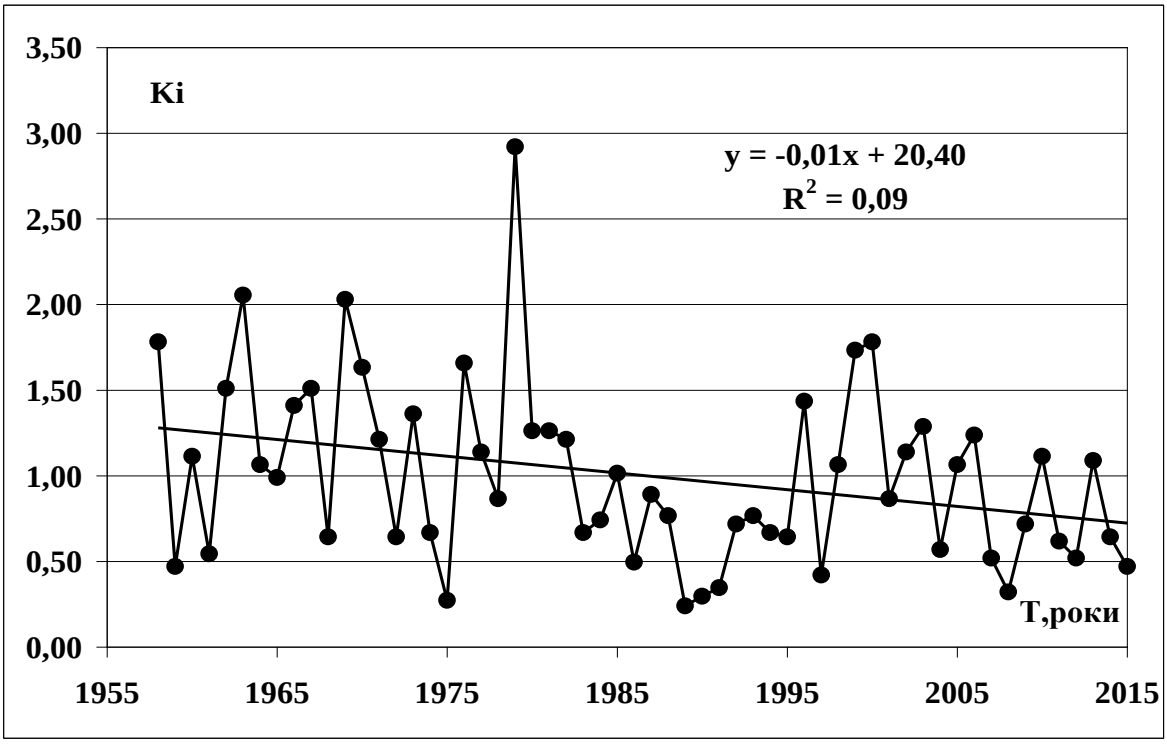


Рисунок 2.2 - Хронологічний графік ходу шарів стоку весняного водопілля для р. Горинь - с. Деражне

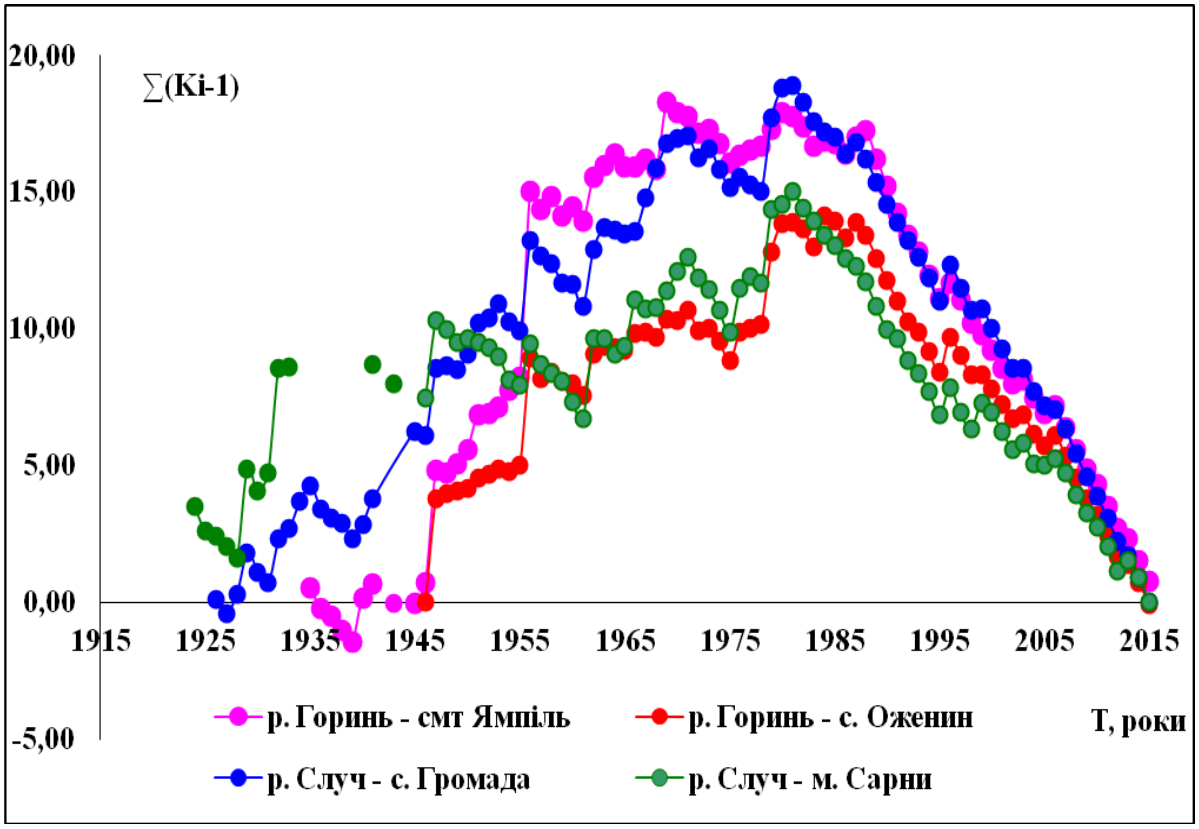


Рисунок 2.3 - Різницеві інтегральні криві максимальних витрат води весняного водопілля в басейні р. Горинь

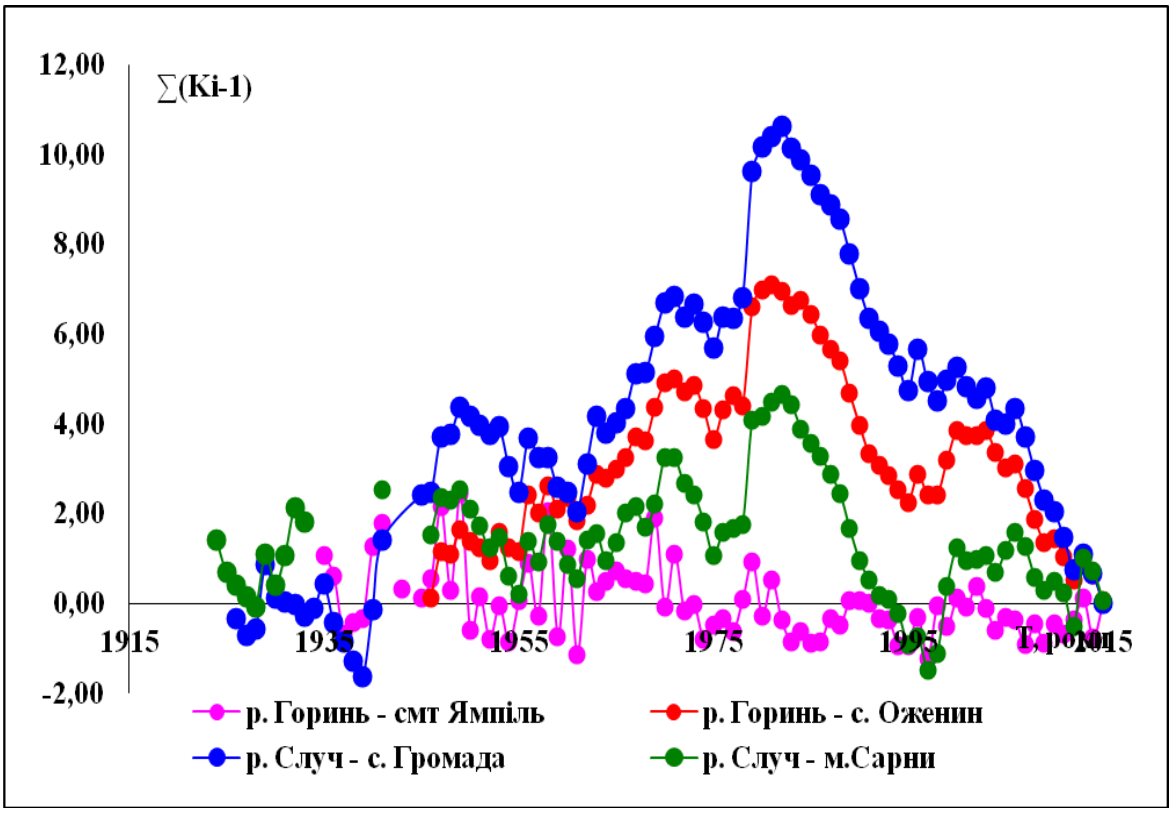


Рисунок 2.4 - Різницеві інтегральні криві шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь.

Аналіз рисунків 2.3 та 2.4 показав, що в цілому фази водності максимальних витрат води практично збігаються, що стосується шарів стоку на відміну від максимальних витрат води, тут досить складно виділити чіткі межі фаз водності. Тим не менш, аналіз різницевих інтегральних кривих показав наявність повних циклів водності, що дозволило провести статистичну обробку вихідної інформації.

2.2 Методи, які використовуються для визначення статистичних параметрів теоретичних кривих розподілу

2.2.1 Розрахунки статистичних параметрів за методом моментів

В основі цього методу лежить визначення параметрів кривих розподілу з використанням статистичних моментів. Поняття моментів прийшло в статистику з механіки, де воно використовується для опису розподілу мас. У статистиці значення дискретної випадкової величини представляється у вигляді матеріальної точки з масою пропорційною ймовірності з'явлення цієї випадкової величини [13].

Тоді сума добутків усіх можливих значень випадкової величини x на ймовірність цих значень p являє собою абсцису центру тяжіння усієї системи N матеріальних точок (математичне сподівання):

$$m_x = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \tag{2.10}$$

або середньозважене із значень x, причому кожне із значень під час осереднення враховується з вагою, пропорційною ймовірності появи цього значення:

$$m_x = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + ... + x_n p_n}{p_1 + p_2 + ... + p_n} = \frac{\sum_{i=1}^{N} x_i p_i}{\sum_{i=1}^{N} p_i}, \quad (2.11)$$

де $\sum_{i=1}^{N} p_i = 1.$

У гідрологічній практиці використовуються моменти трьох видів: початкові α, центральні μ та абсолютні γ, причому

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^{N} x_i^s p_i; \quad (2.12)$$

$$\mu_s = \sum_{i=1}^{N} (x_i - m_x)^s p_i; \quad (2.13)$$

$$\gamma_s = \sum_{i=1}^{N} \left| (x_i - m_x) \right|^s p_i, \quad (2.14)$$

де S – порядок моменту.

Перший початковий момент α_i дорівнює математичному сподіванню m_x. Серед центральних найбільше застосування у статистиці знайшли моменти μ_2, μ_3, μ_4 та їх безрозмірні характеристики. Вони мають такий вигляд:

- коефіцієнт варіації

$$C_v = \frac{\sqrt{\mu_2}}{m_x} \text{ або } C_v = \frac{\sigma_x}{m_x}; \quad (2.15)$$

- коефіцієнт асиметрії

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3}; \tag{2.16}$$

- ексцес

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} \quad . \tag{2.17}$$

Перший абсолютний момент γ_1 визначає середнє арифметичне відхилення

$$\gamma_1 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} \left| \left(x_i - m_x \right) \right|. \tag{2.18}$$

Кожен із цих моментів містить у собі певну інформацію про характер розподілу випадкової величини. Перший початковий момент α_i або математичне сподівання m_x є центром розподілу випадкових величин.

Другий центральний момент μ_2 або дисперсія σ_x^2 характеризує розсіювання значень випадкової величини відносно математичного сподівання. Для більш наочної характеристики розсіювання зручно користуватися величиною, розмірність якої збігається з розмірністю випадкової величини. Отримана величина називається середнім квадратичним відхиленням (стандартом) випадкової величини і позначається символом σ_x. Стандарт, представлений у безрозмірному вигляді (2.15), називається коефіцієнтом варіації.

Третій центральний момент μ_3 характеризує ступінь асиметрії розподілу випадкових величин відносно математичного сподівання. Якщо

розподіл випадкової величини симетричний відносно m_x, то μ_3 дорівнює нулю. Безрозмірна характеристика асиметрії (2.16) називається коефіцієнтом асиметрії.

Четвертий центральний момент μ_4 використовується для характеристики так званої «крутості», тобто гостровершинності кривих розподілу. Ця властивість розподілу описується за допомогою так званого ексцесу (2.17) [13].

Нормовані статистичні моменти C_v та C_s можна виразити через модульні коефіцієнти k_i:

$$Cv = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^2}{n}} \tag{2.19}$$

$$Cs = \frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^3}{nCv^3}, \tag{2.20}$$

де $\kappa_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$.

Оцінки центральних статистичних моментів другого, третього та більш вищих порядків не відповідають вимогам незміщеності [13]. Для уникнення цього у формули вводяться поправочні коефіцієнти:

- для другого центрального моменту

$$\delta = \frac{n}{n-1}; \tag{2.21}$$

- для третього

$$\delta = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)}. \qquad (2.22)$$

В результаті розрахункові формули мають такий вигляд:

$$\sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \qquad (2.23)$$

або

$$C_v = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (\kappa_i - 1)^2}{n-1}}; \qquad (2.24)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3}{\sigma_x^3} \frac{n}{(n-1)(n-2)} \qquad (2.25)$$

або

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\kappa_i - 1)^3}{C_v^3} \frac{n}{(n-1)(n-2)}. \qquad (2.26)$$

Слід відзначити, що введення поправочних множників допомагає усунути зміщеність параметрів стокових рядів лише при C_v < 0.5.

При C_v >0.5 застосування методу моментів у гідрологічних розрахунках не рекомендується.

2.2.2 Розрахунки статистичних параметрів за методом найбільшої правдоподібності

Походження назви цього методу пов’язане з застосуванням функції правдоподібності до визначення статистичних параметрів трьох-параметричного гама-розподілу С.М. Крицького та М.Ф.Менкеля [18].

З одного боку, функція правдоподібності це ймовірність сумісної появи вибірки в цілому. З другого, ймовірність сумісної появи події – це добуток ймовірностей появи кожної з подій.

Отже, це добуток щільностей ймовірності усіх елементів вибірки, що містять у собі невідомий параметр, який треба оцінити.

Метод найбільшої правдоподібності – метод математичної статистики, у якому за оцінку невідомого значення параметру щільності ймовірності береться те його значення, при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкової величини, звідки і пішла назва — метод найбільшої правдоподібності.

Математичний вираз для функції правдоподібності з невідомим параметром θ має такий вигляд:

$$L(x_1, x_2, \cdots, x_n, \theta) = f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), \cdots, f(x_n, \theta). \qquad (2.27)$$

Відповідно до правил диференціального числення для того, щоб знайти оцінку θ, необхідно вирішити рівняння

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = \mathbf{O}. \qquad (2.28)$$

З ціллю спрощення розрахунків функцій правдоподібності її логарифмують і розглядають рівняння

$$\frac{1}{L}\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{\partial \ln L}{\partial \theta}. \qquad (2.29)$$

Таким чином, якщо для деякого параметра θ існує його ефективна оцінка, то вона є єдиним в цьому випадку рішенням рівняння. Метод найбільшої правдоподібності приводить до обґрунтованих оцінок з незначним зміщенням. Але вигляд розрахункових формул статистичних параметрів залежать від обраного закону розподілу випадкової величини. Є.Г.Блохінов [19] застосував метод найбільшої правдоподібності до три-параметричного гама-розподілу С.М.Крицького га М.Ф.Менкеля [18]. Строге рішення приводить до складних трансцендентних рівнянь. У зв'язку з цим був запропонований спрощений прийом оцінки параметрів. У результаті отримані такі статистики:

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (2.30)$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1} \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n} \qquad (2.31)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\bar{x}} \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n} \qquad (2.32)$$

Перша із статистик λ дорівнює середньоарифметичному значенню випадкової величини X. Дві інші (λ_2, λ_3) функціонально зв'язані з коефіцієнтом варіації C_v та коефіцієнтом асиметрії C_s. Для переходу від λ_2 та λ_3 до C_v та C_s/C_v побудовані спеціальні номограми.

Деяка зміщеність параметрів λ_2 та λ_3 може бути усунена за рахунок поправочного множника $\frac{n}{n-1}$, тоді:

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg k_i}{n-1} \qquad (2.33)$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i \lg k_i}{n-1} . \qquad (2.34)$$

2.2.3 Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

Згідно з рекомендаціями СНиП 2.01.14-83 [13], статистична обробка рядів максимальних витрат води та шарів стоку виконується з використанням кривих біноміального и трьохпараметричного гама-розподілу. Основні статистичні характеристики – середні значення ряду, коефіцієнти варіації *Cv* та асиметрії *Cs* розраховуються за допомогою методів моментів та найбільшої правдоподібності.

Значення коефіцієнтів варіації для максимальних витрат води, розраховані за методом моментів, коливаються від 0,81 (р. Горинь-с.Деражне) до 1,07 (р. Случ-м.Сарни), а за методом найбільшої правдоподібності – від 0,82 (р. Горинь-с.Деражне) до 1,10 (р.Горинь-смт Ямпіль). Значення коефіцієнтів асиметрії максимальних витрат води змінюється від 1,19 (р.Смілка-с.Сусли) до 4,90 (р.Горинь-смт Ямпіль) співвідношення Cs/Cv за результатами використання методу найбільшої правдоподібності можна осереднити і прийняти на рівні 2,5 (табл.2.3) [17].

Таблиця 2.3– Статистична обробка максимальних витрат води в басейні р.Горинь

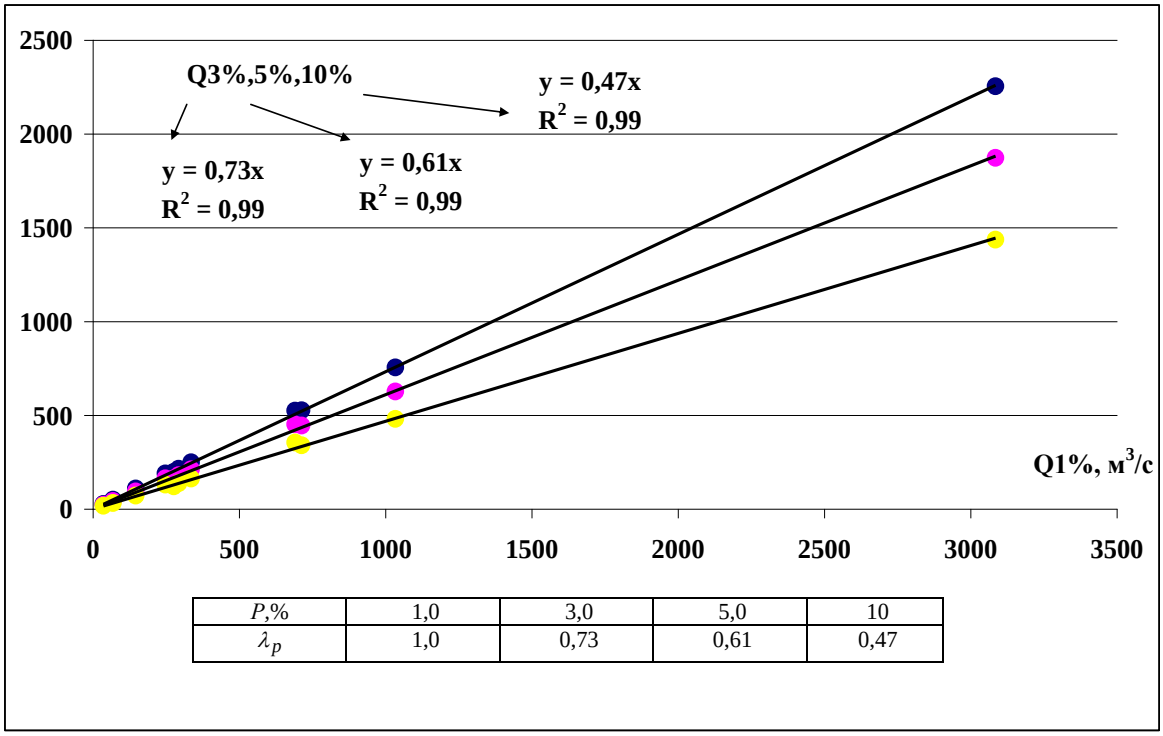
№ з/п	Номер поста	Річка - пост	Площа водозбору, км²	n, років	$\bar{Q}$m,м³/с	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності		
						C_v	C_s	r(1)	C_s/C_v	C_v	C_s	C_s/C_v
1	32	Горинь-смт Ямпіль	1400	79	52	1,06	3,60	0,06	3,40	1,10	4,90	4,40
2	33	Горинь-с.Оженин	5860	70	157	0,92	2,48	0,09	2,70	0,95	3,07	3,20
3	34	Горинь-с.Деражне	9160	58	175	0,81	1,83	0,22	2,30	0,82	2,20	2,60
4	35	Вирка-с.Сварині	231	69	9	0,82	1,24	0,12	1,50	0,83	1,33	1,60
5	36	Случ-с.Велика Клітна	232,00	30	15	0,88	2,26	0,24	2,50	0,95	3,32	3,50
6	37	Случ-с.Громада	2480	87	76	0,92	1,50	0,19	1,60	0,92	1,63	1,80
7	38	Случ-м.Новоград-Волинський	7460	42	203	1,05	2,05	0,14	1,90	1,08	2,66	2,50
8	39	Случ-м.Сарни	13300	82	606	1,07	2,08	-0,04	2,00	1,08	2,40	2,20
9	40	Хомора-смт Понінка	1410	40	65	0,77	1,78	-0,03	2,30	0,78	2,23	2,90
10	41	Тня-с.Броники	982	76	62	0,97	1,47	0,14	1,50	0,98	1,61	1,60
11	42	Смілка-с.Сусли	632	71	35	0,87	1,12	0,01	1,30	0,88	1,19	1,40

Таблиця 2.4– Статистична обробка шарів стоку в басейні р.Горинь

№ з/п	Номер поста	Річка - пост	Площа водозбору, км²	n, років	$\bar{Y}_m$, мм	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності		
						C_v	C_s	$r(1)$	C_s/C_v	C_v	C_s	C_s/C_v
1	32	Горинь-смт Ямпіль	1400	79	36	0,58	1,24	0,12	2,10	0,58	1,32	2,30
2	33	Горинь-с.Оженин	5860	70	37	0,52	1,37	0,08	2,60	0,52	1,49	2,90
3	34	Горинь-с.Деражне	9160	58	40	0,52	1,09	0,16	2,10	0,52	1,17	2,20
4	35	Вирка-с.Сварині	231	69	49	1,15	5,27	-0,07	4,60	1,27	8,62	6,80
5	36	Случ-с.Велика Клітна	232,00	30	50	0,60	1,36	-0,11	2,30	0,60	1,67	2,80
6	37	Случ-с.Громада	2480	87	32	0,67	1,42	0,23	2,10	0,67	1,52	2,30
7	38	Случ-м.Новоград-Волинський	7460	42	34	0,74	1,57	0,22	2,10	0,75	1,87	2,50
8	39	Случ-м.Сарни	13300	82	51	0,66	1,18	-0,02	1,80	0,65	1,25	1,90
9	40	Хомора-смт Понінка	1410	40	45	0,61	1,32	0,08	2,20	0,61	1,53	2,50
10	41	Тня-с.Броники	982	76	46	0,78	1,31	0,13	1,70	0,79	1,41	1,80
11	42	Смілка-с.Сусли	632	71	44	0,78	1,64	0,04	2,10	0,79	1,84	2,30

Коефіцієнти варіації шарів стоку весняного водопілля для досліджуваних річок у методі найбільшої правдоподібності коливаються в межах від 0,52 (р.Горинь-с.Оженин, р. Горинь-с.Деражне) до 1,27 (р. Вирка-с.Сварині) [17]. Оскільки в нормативному документі [13] при значеннях C_v >0,5 рекомендовано використовувати метод найбільшої правдоподібності, то в подальших розрахунках йому також було віддано перевагу, причому в усьому діапазоні C_v (табл.2.3).

Наступний етап - розрахунок характеристик максимального стоку рідкої ймовірності перевищення (1, 3, 5, 10%) згідно з обраним теоретичним законом розподілу (С.М.Крицького та М.Ф. Менкеля) та отримання перехідних коефіцієнтів від опорної забезпеченості (*P*=1%) до інших забезпеченостей (*P,*%) (рис. 2.5-2.6).



P,%	1,0	3,0	5,0	10
λ_p	1,0	0,73	0,61	0,47

Рисунок 2.5 - Залежність максимальних витрат води в період весняного водопілля рідкісної забезпеченості від відповідних витрат вод забезпеченістю (*P*=1%)

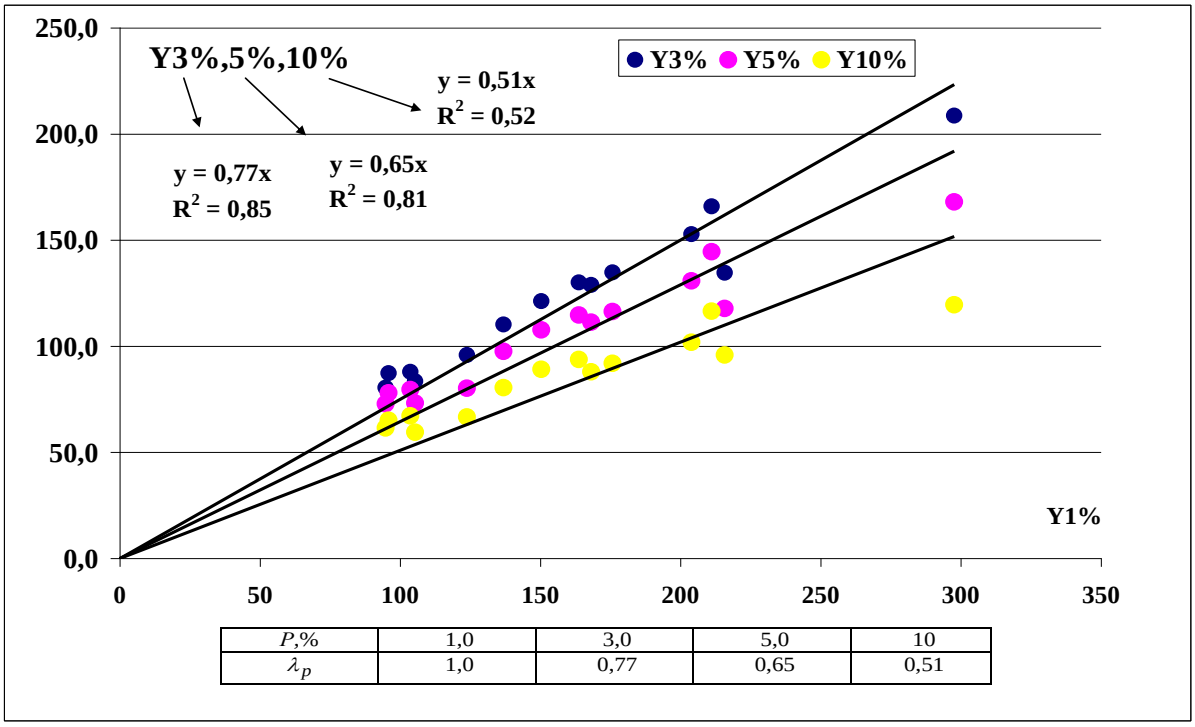


Рисунок 2.6 - Залежність шарів стоку в період весняного водопілля рідкісної забезпеченості від відповідних шарів стоку забезпеченістю (P=1%)

2.2.4 Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

Науково-методичні підходи щодо просторового узагальнення шарів стоку весняного водопілля починається з визначення тих факторів, які є носіями географічно обумовлених складових, а з іншого – тих, що пов'язані з місцевими умовами (залісеністю, заболоченістю водозборів та ін.).

Після статистичного аналізу часових рядів шарів стоку просторовому узагальненню в роботі підлягають $Y_{1\%}$. Першим етапом стала побудова залежності $Y_{1\%}$. від широтного положення водозбору (рис. 2.7).

Як видно з рисунку 2.7 одновідсотковий шар стоку весняного водопілля загалом підкорюється широтній закономірності, причому зі збільшенням широтного положення водозборів $Y_{1\%}$ збільшується.

Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї широти з метою виявлення можливого впливу інтразональних факторів.

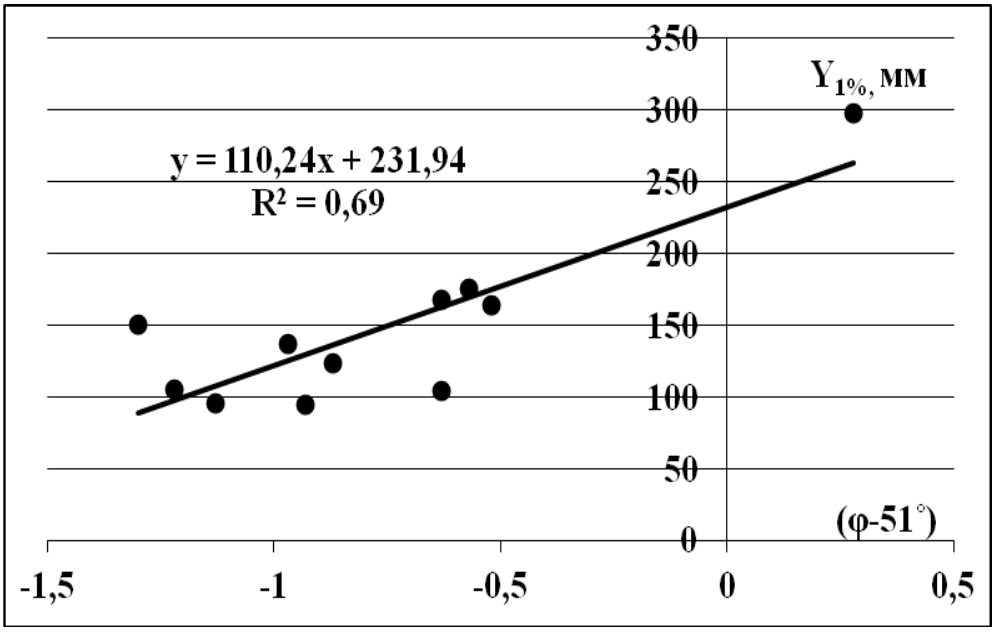


Рисунок 2.7 - Залежність одновідсоткових шарів стоку весняного водопілля $Y_{1\%}$ від широти центрів тяжіння водозборів в басейні р. Горинь

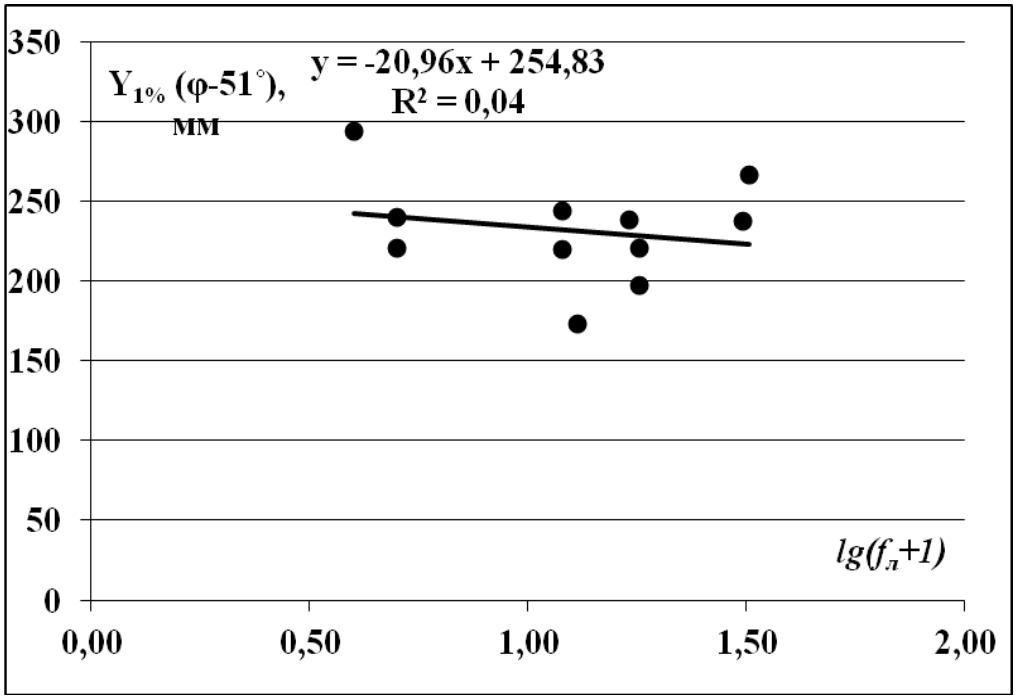


Рисунок 2.8 - Зміна одновідсоткових шарів стоку весняного водопілля від залісеності водозборів в басейні р. Горинь

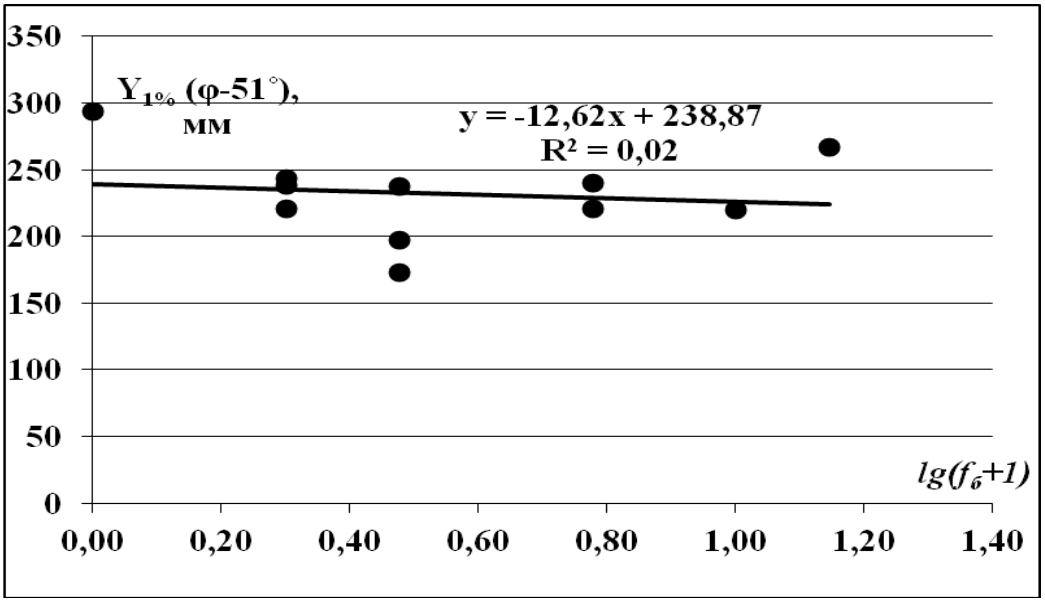


Рисунок 2.9 - Зміна одновідсоткових шарів стоку весняного водопілля від заболоченості водозборів в басейні р. Горинь

Таким чином, враховуючи наявність значущої залежності $Y_{\%}$ від широти місцевості (рис. 2.7), для річок досліджуваної території величина $Y_{\%}$ була картована (рис. 2.10). Ізолінії проведені через 50 мм. Шар стоку має тенденцію збільшення від 100 мм до 300 мм з південного заходу на північ.

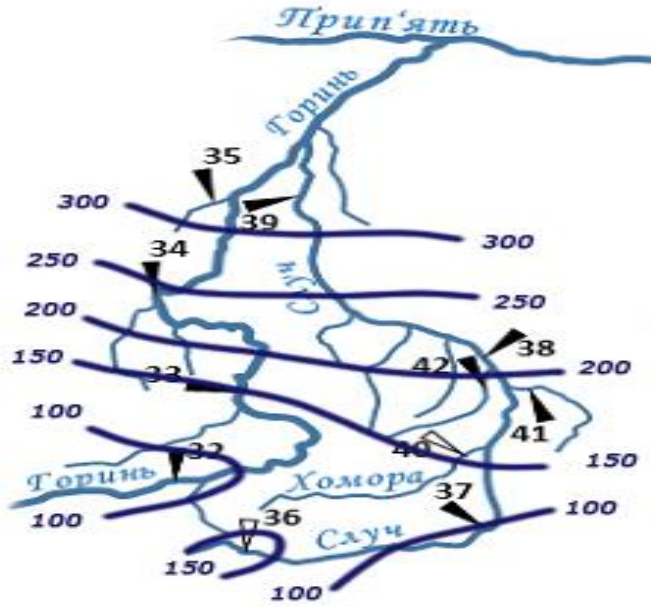


Рисунок 2.10 - Карта ізоліній одновідсоткового шару стоку $Y_{1\%}$ (мм) весняного водопілля в басейні р. Горинь

2.2.5 Оцінка точності вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь

С.М.Крицький і М.Ф.Менкель [18] розробили номограми для визначення відносної стандартної погрішності квантилів трипараметричного гама-розподілу $\left(E_\sigma = \frac{\sigma_{Q_P}\sqrt{n}}{Q_P} \right)$ із закріпленими стосунками *Cs=2Cv, 3Cv, 4Cv*.

Таким чином, визначивши величину E_σ по номограмі, можна знайти відносну середню квадратичну похибку квантилів Q_p за формулою:

$$\sigma_{Q_{1\%}} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} \cdot 100 \qquad (2.35)$$

По формулі (2.35) розрахована середня квадратична похибка визначення $Q_{1\%}$ по вихідних рядах максимальних витрат води. Точність даних по максимальному стоку весняного водопілля можна оцінити на рівні ±16,6%.

2.3 Розрахунок характеристик максимального стоку в басейні р. Горинь

2.3.1 Визначення розрахункових характеристик схилового припливу для басейну р. Горинь

Характеристики схилового припливу (тривалість припливу T_0 і коефіцієнти часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі) багато в чому визначають не тільки генетичний тип водопіль, але й

ступінь їхньої трансформації на поверхні водозборів. Щоб здійснити типізацію гідрографів схилового припливу талих вод та з метою встановлення розрахункової тривалості T_0 для водопіль рідкісної ймовірності перевищення, Є.Д. Гопченко і Є.Л. Бояринцев [20] запропонували проводити попереднє згладжування багатомодальних графіків схилового припливу. При цьому,щоб уникнути надмірної генералізації гідрографів, рекомендується згладжування проводити з таким розрахунком,щоб гілки підйому і спаду сполучалися з основною хвилею сніготанення і водовіддачі. Тим самим вдається від пилкоподібних графіків сніготанення перейти до одномодальних їх форм.

Якщо їх представити у редукційному вигляді, то вони можуть бути описані рівнянням

$$q_t^{'} = q_m^{'}\left[1-\left(\frac{t}{T_0}\right)^n\right], \qquad (2.36)$$

де $q_t^{'}$ – ординати редукційних гідрографів припливу;

$q_m^{'}$ – максимальний модуль схилового припливу;

T_0 – тривалість схилового припливу.

Максимальний модуль схилового припливу, який відображає взаємозв'язок між собою характеристик гідрографів схилового припливу, описується рівнянням виду [17]:

$$q_m' = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}Y_m \ , \qquad (2.37)$$

де Y_m – загальний шар припливу;

$(n+1)/n$ – коефіцієнт нерівномірності схилового припливу.

Визначення шару стоку у формулі (2.37) за період весняного водопілля не представляє труднощів, оскільки відомості про величини Y_m публікуються

в спеціальній і довідковій літературі. Що стосується тривалості припливу води зі схилів в руслову мережу T_0 і коефіцієнта нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$, то проблема полягає в тому, що безпосереднє вимірювання схилової водовіддачі на сучасному етапі досліджень практично не проводиться. Проте, можливо рішення зворотної задачі шляхом ретрансформації руслових гідрографів або в результаті чисельного визначення невідомих параметрів [20].

2.3.1.1 Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу

З (2.37) можна виразити коефіцієнт нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$:

$$\frac{n+1}{n} = \frac{q_m' T_0}{Y_m} = \frac{q_m' T_0}{Y_m}, \tag{2.38}$$

де Y_m – шар стоку за паводок (водопілля);

q_m' – максимальний модуль схилового гідрографу.

Відношення T_0/Y_m є величиною, зворотною середньому модулю схилового припливу за часом $\bar{q}_{T_0}'$, тобто

$$\frac{T_0}{Y_m} = \frac{1}{\bar{q}_{T_0}'} \tag{2.39}$$

Таким чином,

$$\frac{n+1}{n} = \frac{q_m'}{\bar{q}_{T_0}'}. \tag{2.40}$$

Як видно з (2.40), $(n+1)/n$ характеризується відношенням максимальної ординати q'_m до середньої за часом T_0 - $\bar{q}'_{T_0}$. Реалізувати вищенаведене рівняння все ж немає можливості через відсутність спостережень за деякими складовими рівняння (4.14).

Гопченко Є.Д. та Гнездилов Ю.О. [21] свого часу запропонували графоаналітичний спосіб визначення не тільки *n*, але й T_0. Але в даній методиці розрахунки ускладнюються тим, що необхідно якимось чином знаходити попередньо невідомий коефіцієнт русло - заплавного регулювання ε_F, встановлення якого у свою чергу, є досить проблематичним, як і встановлення характеристик графіків схилового припливу.

Пізніше, у роботі [22] була реалізована ідея встановлення n через елементи руслових гідрографів, а саме – через коефіцієнти нерівномірності руслового стоку $(m_1+1)/m_1$, який визначається як

$$\frac{m_1+1}{m_1}=\frac{Q_m T_n}{Y_m F}, \qquad (2.41)$$

де Q_m – максимальна витрата води;

T_n – основа руслового гідрографа;

F – площа водозбору.

Окремі складові рівняння (2.41) змінюються в залежності від площі водозборів завдяки посиленню дії русло - заплавного регулювання і часу руслового добігання. У цілому простежується зменшення $(m_1+1)/m_1$ з ростом площі водозборів [22].

Отже, екстраполяція залежності $(m_1+1)/m_1 = f(F)$ на вісь ординат дає можливість знайти шукану величину $\left(\frac{m_1+1}{m_1}\right)_{F=0}=\frac{n+1}{n}$.

У роботах [21-23], щоб підвищити стійкість шуканої величини, $(m_1+1)/m_1$ рекомендується розраховувати через середні максимальні характеристики паводків і водопіль: $\bar{Y}_m, \bar{T}_n, \bar{Q}_m$.Тоді формула (2.41) набуде вигляду

$$\frac{m_1+1}{m_1} = \frac{\bar{T}_n \bar{Q}_m}{\bar{Y}_m F} 86{,}4. \qquad (2.42)$$

Для басейну р. Горинь можна прийняти $n+1/n$ = 8,50, звідки n=0,13.

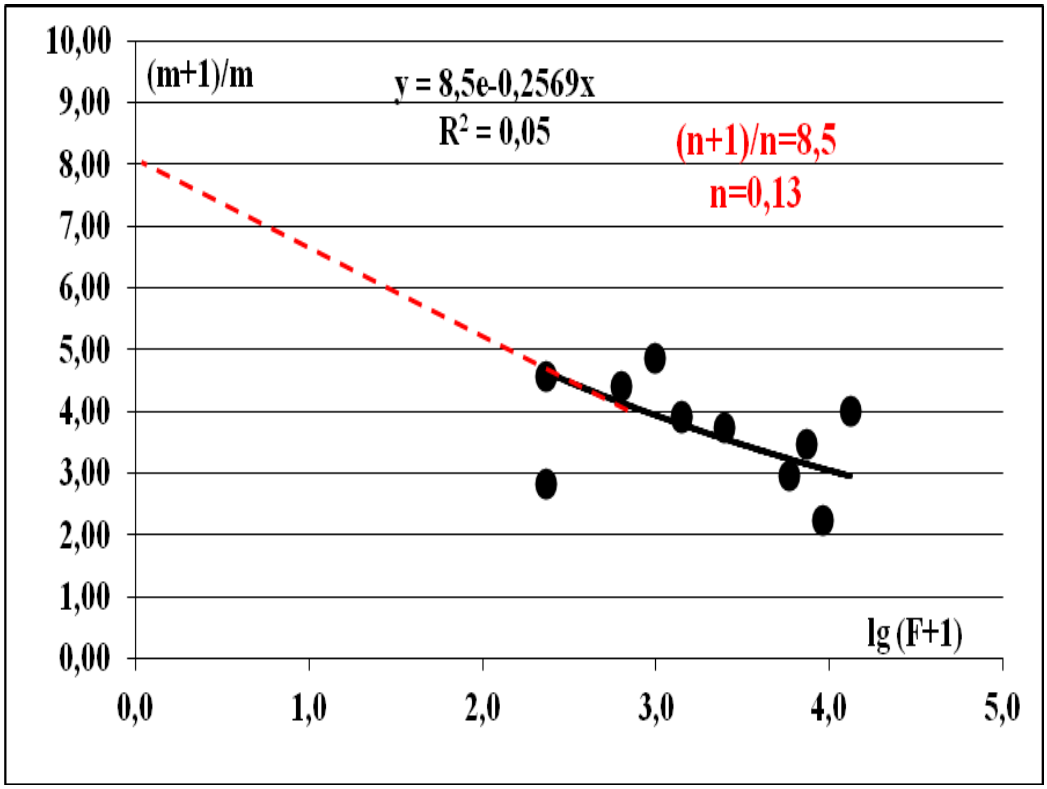


Рисунок 2.11 - Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку від площі водозборів в басейні р. Горинь

2.3.1.2 Тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі в період весняного водопілля української частини басейну р. Горинь

Професор Гопченко Є.Д. спільно з учнями, на основі формули А.М. Бефані, запропонував метод по встановленню T_o за матеріалами спостережень стаціонарної гідрологічної мережі [20]. В результаті отримані розрахункові формули:

а) при $t_p<T_0$

$$T_0 = \left(\frac{\varepsilon_F Y_m}{n q_m} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[(n+1) T_0^n - \frac{m_1 + 1}{n + m_1 + 1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}; \quad (2.43)$$

б) при $t_p>T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m_1 + n + 1}{n+1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} t_p \right) \frac{m_1 (n + m_1 + 1)}{n+1} t_p^{m_1} \right]^{\frac{1}{m_1}}, \quad (2.44)$$

Зважаючи на те що в формулах, крім T_0, невідомим є ще і коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F, то рівняння з двома невідомими. Для визначення T_0 використовується поетапний метод простої однокрокової ітерації. Для вирішення цієї задачі в Одеському державному екологічному університеті на кафедрі гідрології суші розроблена комп'ютерна програма, за допомогою якої було розраховані значення T_0.

Наступним завданням є просторовий аналіз і узагальнення розрахункової тривалості схилового припливу по території.

Для вивчення питання про вплив на тривалість схилового припливу T_0 місцевих чинників спочатку досліджені закономірності пов'язані з географічною складовою.

Отримана залежність тривалості припливу води зі схилів в руслову мережу від широти центрів тяжіння водозборів (рис. 2.12), коефіцієнт

кореляції залежності є значущим (r=0,50), отже величина T_0 може бути представлена у вигляді карти (рис. 2.13).

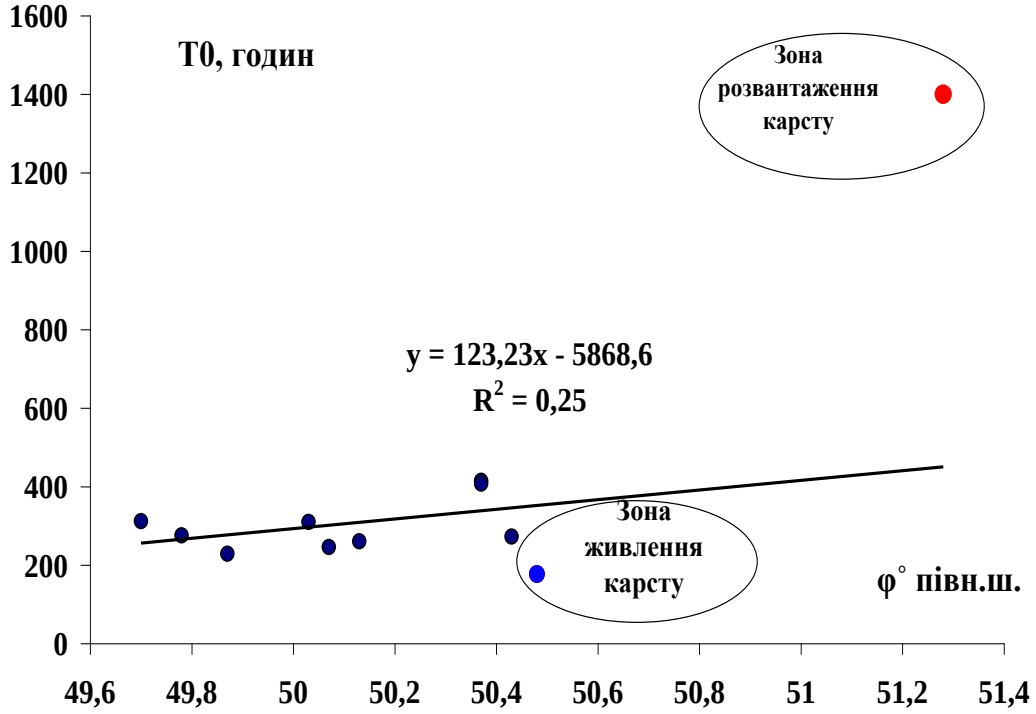
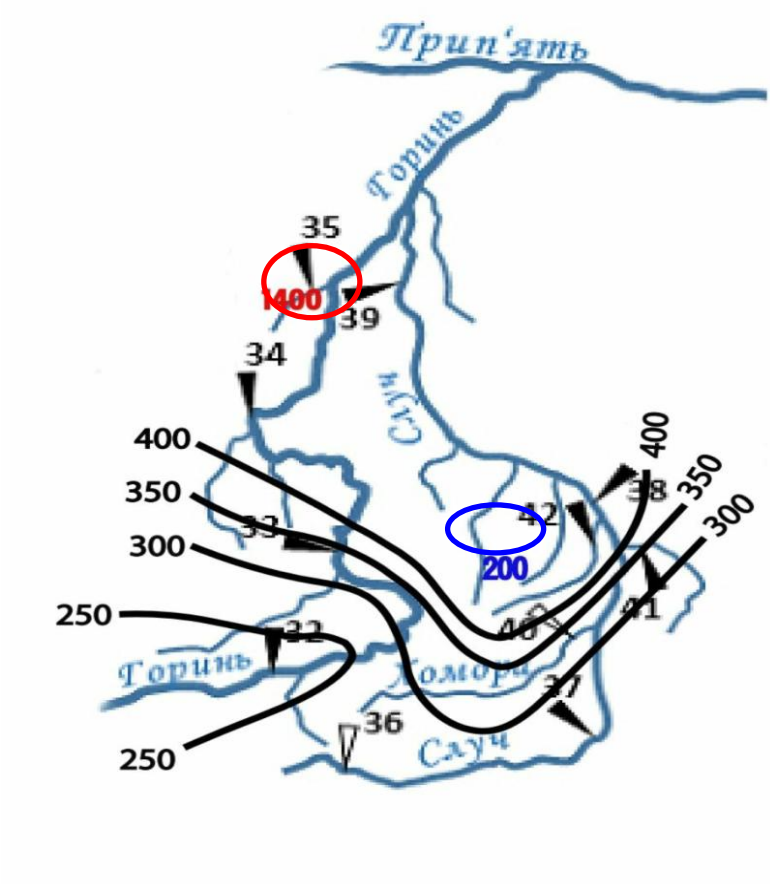


Рисунок 2.12 - Залежність тривалості притоку води зі схилів в руслову мережу від широти центрів тяжіння водозборів в басейні р. Горинь

Як добре ілюструє рис. 2.13, значення T_0, в цілому змінюється по території від 250 год. до 400 год.

Окремими замкнутими областями позначено зони розвантаження та живлення карсту. Слід відзначити, що найбільше вплив карсту на тривалість схилового припливу проявляється у зоні розвантаження карсту, де спостерігається збільшення цієї величини практично в 3 рази.



Умовні позначки: зона розвантаження карсту ; зона живлення карсту.

Рисунок 2.13 - Карта тривалості припливу води зі схилів в руслову мережу весняного водопілля в басейні р. Горинь

2.3.1.3 Максимальні модулі схилового припливу

Однією з головних складових розрахункової формули є максимальний модуль схилового припливу $q`_m$. Визначити його можна за формулою при наявності значень коефіцієнта нерівномірності схилового припливу, тривалості схилового припливу та шарів стоку:

$$q`_m = 0{,}28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m . \qquad (2.45)$$

Отримані значення $q`_m$ коливаються в межах від 0,60 л/с км^2 до 2,38 л/с км^2.

На останньому етапі для встановлення показника степені редукції побудовано в логарифмічних координатах залежність, яка представлена на рисунку 2.14. Кутовий коефіцієнт рівняння, що описує отриману залежність, представляє собою шуканий параметр , який дорівнює n_1 =0, 21.

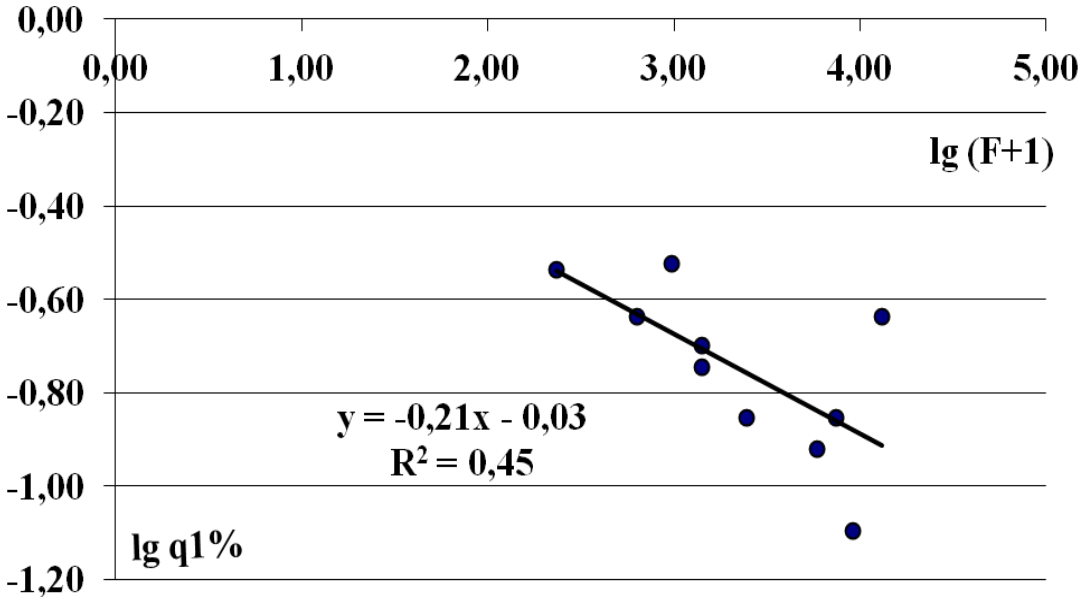


Рисунок 2.14 - Залежність максимальних модулів стоку від площ водозборів річок басейну Горині.

2.3.2 Розрахунки максимального стоку весняного водопілля різної ймовірності перевищення в басейні р. Горинь та їх перевірка

Для розрахунку максимального стоку весняного водопілля різної ймовірності перевищення річок басейну Горині формула має вигляд: $q_{\text{m}} = \frac{q'_m}{(F+1)^{0,21}} \lambda_p$.

Необхідний мінімум вихідних даних:

- координати центру тяжіння водозбору;
- площа водозбору.

Точність розрахунку методики за формулою знаходиться на рівні 19,90% (при точності вихідної інформації 16,60%), що є задовільним результатом.

3 МЕТОДИКА, ЩО РЕКОМЕНДУЄТЬСЯ ДЛЯ НОРМУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ГОРИНЬ

За відсутності систематичних вимірювань стоку і відповідно тимчасових рядів норма мінімального стоку визначається непрямими методами. У основі яких закладені глибокі дослідження чинників формування річного мінімального стоку, територіальні узагальнення і географічна інтерполяція q_{30}, л/(с·км^2) його характеристик. Найбільш поширеною є побудова карти норми мінімального стоку, оскільки стік є широтною характеристикою і характеризує стік зі всієї території, на карту наносить значення віднесена до центрів тяжкість водозборів. Карти будуються за даними вивчених річок з вимогою точності розрахунку норми мінімального стоку. Необхідно враховувати істотний вплив на річковий стік кліматичних, підстилаючої поверхні, а також антропогенних чинників.

3.1 Статистична обробка вихідної інформації по мінімальному стоку в басейні р. Горинь

3.1.1 Аналіз однорідності часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь

Аналізуючи отримані результати по оцінці однорідності (табл.3.1, 3.2) слід відмітити, що ряди мінімальних витрат води **зимової межені** однорідні в 2 випадках з 8 за трьома критеріями (Стьюдента, Фішера та Уілкоксона) тобто 25% рядів є однорідними. Для рядів **літньо-осінньої межені** однорідними є 3 ряди з 8 за трьома критеріями, 38% від усіх рядів [24].

Таблиця 3.1 – Оцінка однорідності мінімальних витрат води в басейні р. Горинь за зимову межень

Річка-пост	n, років	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Стьюдента		Висновок	Критерій Уілкоксона	Загальний висновок
			F	$F_{кр}$		t	$t_{кр}$			
Горинь – смт Ямполь	76	1%	1,74	2,5	так	7,23	2,65	ні	ні	ні
		5%		2	так		2	ні	ні	ні
Горинь – с. Оженін	70	1%	1,12	2,4	так	6,2	2,6	ні	ні	ні
		5%		1,96	так		2	ні	ні	ні
Горинь – с. Деражне	58	1%	1,33	2,8	так	3,2	2,7	ні	ні	ні
		5%		2,2	так		2	ні	ні	ні
Вирка – с. Сварині	69	1%	1,16	2,6	так	3,4	2,6	ні	ні	ні
		5%		2,1	так		2	ні	ні	ні
Случ - м.Новоград-Волинський	42	1%	3,2	3,9	так	0,5	2,7	так	так	так
		5%		2,7	ні		2	так	так	так
Случ – с. Сарни	82	1%	1,7	2,4	так	4,4	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	так		2	ні	ні	ні
Тня – с. Броники	76	1%	1,8	2,5	так	2,1	2,6	так	ні	так
		5%		2	так		2	ні	ні	ні
Смолка - с. Сусли	71	1%	1	2,6	так	2,3	2,6	так	ні	так
		5%		2,1	так		2	ні	ні	ні

Таблиця 3.2 – Оцінка однорідності мінімальних витрат води в басейні р. Горинь за літньо-осінню межень

Річка-пост	n, років	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Стьюдента		Висновок	Критерій Уілкоксона	Загальний висновок
			F	$F_{кр}$		t	$t_{кр}$			
Горинь – смт Ямполь	76	1%	1,22	2,5	так	6,6	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	так		2	ні	ні	ні
Горинь – с. Оженін	70	1%	2,4	2,64	так	1,72	2,6	так	так	так
		5%		2,1	так		2	так	так	так
Горинь – с. Деражне	58	1%	1,94	2,8	так	0,4	2,7	так	так	так
		5%		2,2	так		2	так	так	так
Вирка – с. Сварині	69	1%	2,71	2,6	ні	5,6	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	ні		2	ні	ні	ні
Случ - м.Новоград-Волинський	42	1%	3	3,9	так	0,99	2,7	так	так	так
		5%		2,7	ні		2	так	так	так
Случ – с. Сарни	82	1%	2,8	2,6	ні	7,3	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	ні		2	ні	ні	ні
Тня – с. Броники	76	1%	2,2	2,6	так	5,9	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	ні		2	ні	ні	ні
Смолка - с. Сусли	71	1%	2,5	2,6	так	3,8	2,6	ні	ні	ні
		5%		2	ні		2	ні	ні	ні

3.1.2 Дослідження трендів та циклічності часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь

Для виявлення наявності трендів у вихідних рядах мінімального стоку були побудовані хронологічні графіки ходу мінімального літнього та зимового стоку для всіх досліджуваних рядів в басейні р. Горинь, приклади показані на рис. 3.1, 3.2, для них отримані рівняння лінійних трендів та оцінена їх значущість за рівнянням [24]:

$$r \geq 2\sigma_r \qquad (3.1)$$

де r - коефіцієнт кореляції; σ_r - середня квадратична похибка коефіцієнта кореляції лінійного тренду.

Аналіз трендів наведений в табл. 3.3 -3.4, слід відмітити, що в період зимової межені значущий тренд мають всі ряди, окрім р. Случ - м. Новоград-Волинський, а у період літньо - осінньої межені тренд є незначущим для р. Горинь – с. Деражне, та для р. Случ - м. Новоград-Волинський.

При побудові різницевої інтегральної кривої грає роль хронологічна послідовність членів ряду, тому бажано вибирати ряди з неперервними спостереженнями. Якщо існує розрив в спостереженнях, то крива складається із декількох частин, якщо розрив менше трьох років, то пропущенні роки можна з’єднати пунктиром.

В даній роботі були досліджені ряди даних на циклічність коливання мінімального стоку. Були проведені розрахунки ординат інтегральних різницевих кривих для всіх постів. За даними цих розрахунків були побудовані криві (рис.3.3, рис.3.4) з яких видно, що всі ряди спостережень зв’язані між собою циклічним коливаннями. Це виражається синхронними маловодними та багатоводними фазами стоку.

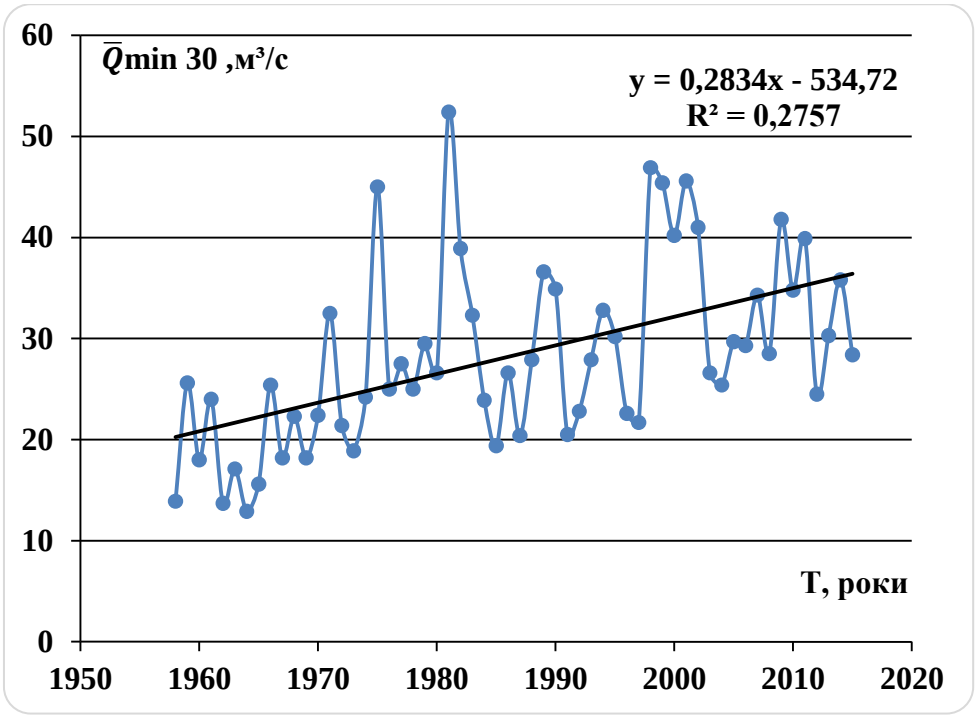


Рисунок 3.1 - Хронологічний графік ходу мінімальних витрат води зимової межені для р. Горинь -с. Деражне

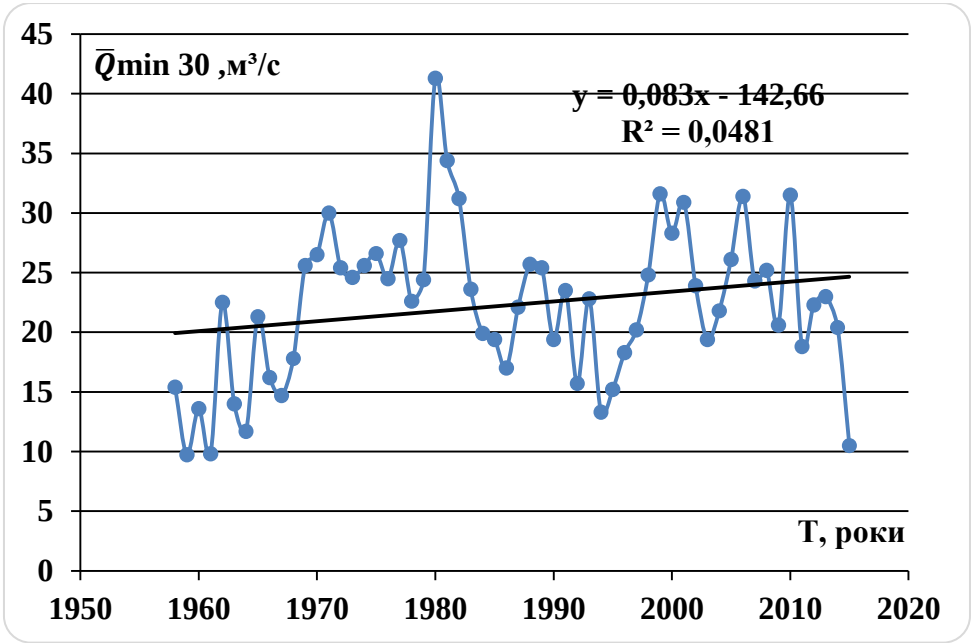


Рисунок 3.2 - Хронологічний графік ходу мінімальних витрат води літньо-осінньої межені для р. Горинь -с. Деражне

Таблиця 3.3 – Оцінка трендів мінімальних витрат води зимової межені в басейні р. Горинь

№з/п	Річка - пост	Рівняння тренду	R^2	r	σr	$2\sigma r$	Висновок
1	Горинь –смт Ямполь	y = 0,0623x - 119,06	0,56	0,75	0,05	0,10	так
2	Горинь – с. Оженін	y = 0,195x - 369,73	0,35	0,59	0,08	0,16	так
3	Горинь – с. Деражне	y = 0,2834x - 534,72	0,28	0,53	0,09	0,19	так
4	Вирка -с. Сварині	y = 0,0081x - 15,661	0,2	0,45	0,10	0,19	так
5	Случ - м.Новоград-Волинський	y = -0,0565x + 127,38	0,01	0,10	0,15	0,31	**ні**
6	Случ - с. Сарни	y = 0,4208x - 808,28	0,15	0,39	0,10	0,19	так
7	Тня - с. Броники	y = 0,0142x - 26,871	0,06	0,24	0,11	0,22	так
8	Смолка - с. Сусли	y = 0,0105x - 20,214	0,08	0,28	0,11	0,22	так

Таблиця 3.4 – Оцінка трендів мінімальних витрат води літньо-осінньої межені в басейні р. Горинь

№з/п	Річка - пост	Рівняння тренду	R^2	r	σr	$2\sigma r$	Висновок
1	Горинь –смт Ямполь	y = 0,0516x - 98,295	0,52	0,72	0,05	0,11	так
2	Горинь – с. Оженін	y = 0,0813x - 147,09	0,13	0,36	0,10	0,21	так
3	Горинь – с. Деражне	y = 0,083x - 142,66	0,05	0,22	0,12	0,25	**ні**
4	Вирка -с. Сварині	y = 0,0044x - 8,4754	0,34	0,58	0,08	0,16	так
5	Случ - м.Новоград-Волинський	y = -0,125x + 260,02	0,06	0,24	0,15	0,29	**ні**
6	Случ - с. Сарни	y = 0,3016x - 580,58	0,37	0,61	0,07	0,14	так
7	Тня - с. Броники	y = 0,0086x - 16,487	0,21	0,46	0,09	0,18	так
8	Смолка - с. Сусли	y = 0,0037x - 7,1178	0,16	0,40	0,10	0,20	так

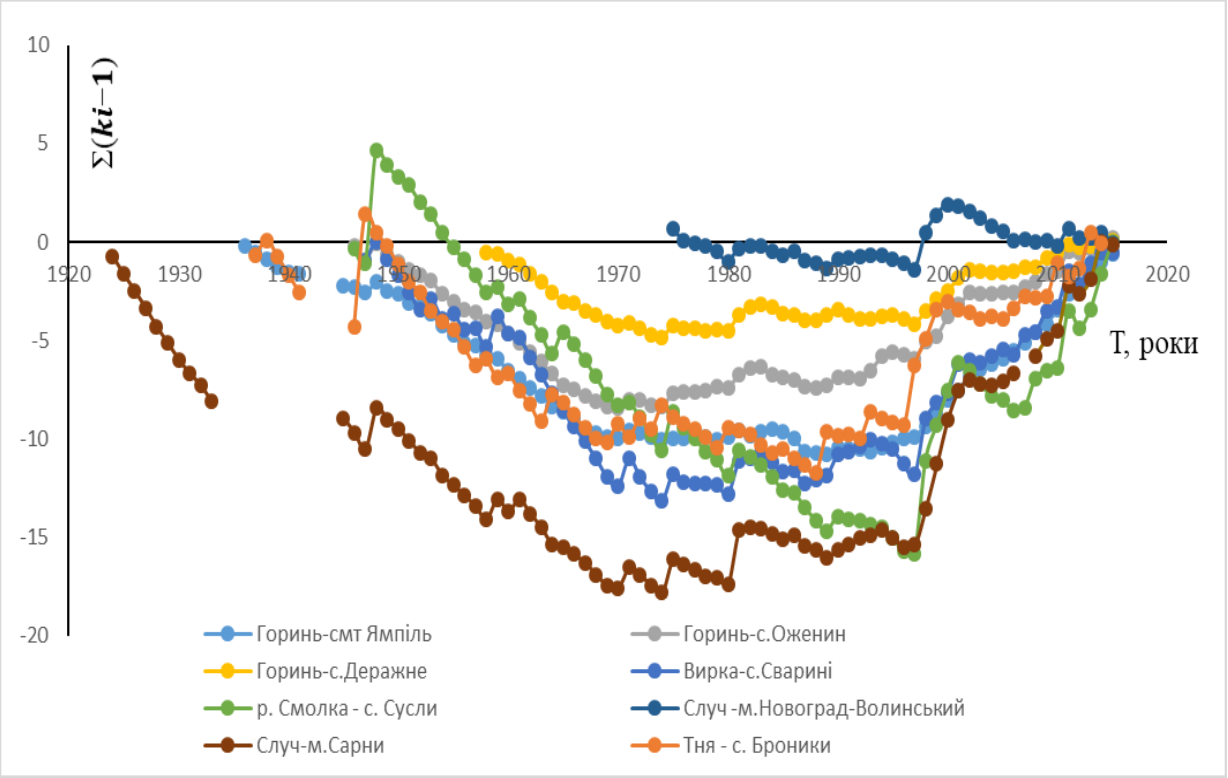


Рисунок 3.3 - Різницеві інтегральні криві мінімальних витрат води за зимову межень в басейні р. Горинь

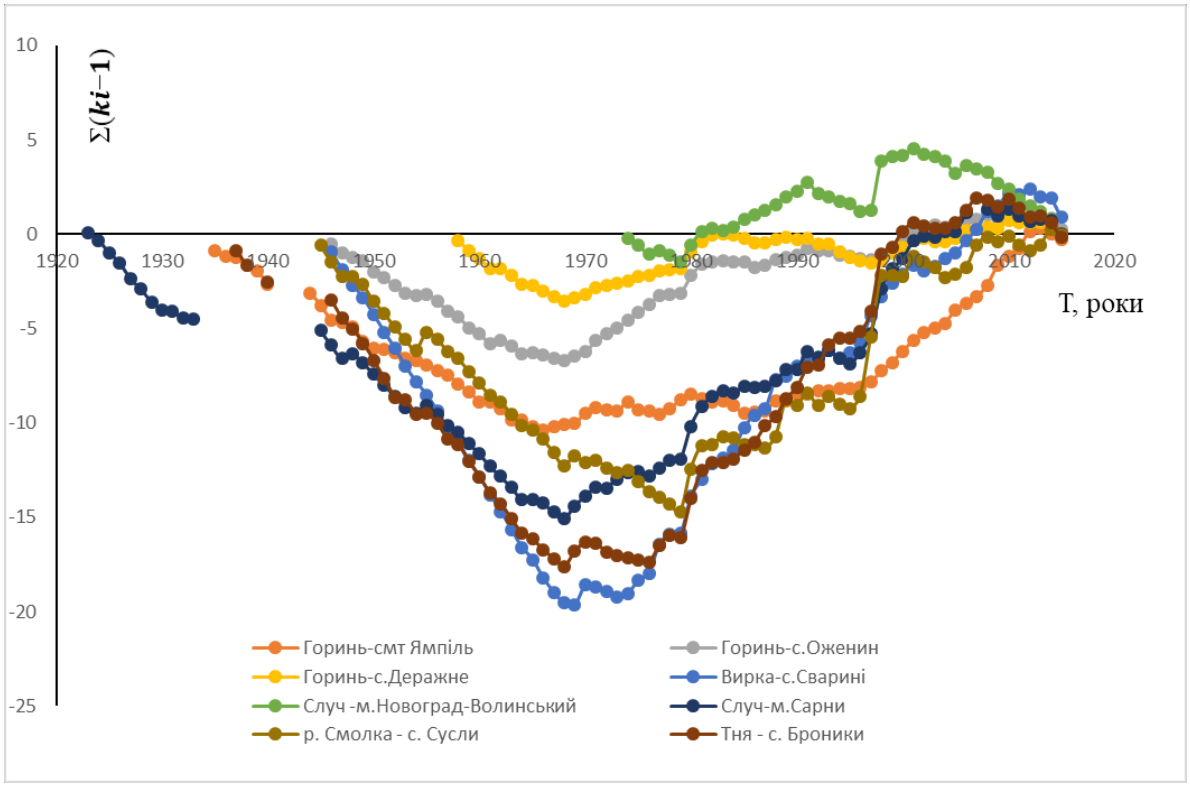


Рисунок 3.4 - Різницеві інтегральні криві мінімальних витрат води за літньо-осінню межень в басейні р. Горинь

Отже, аналіз різницевих інтегральних кривих показав наявність повних циклів водності та підтвердив результати щодо однорідності вихідної інформації.

3.1.3Статистична обробка часових рядів мінімального стоку в басейні р. Горинь

В табл.3.5 представлена оцінка статистичних параметрів мінімального стоку зимової межені за методом моментів та методом найбільшої правдоподібності. В методі моментів значення Cv змінюється в діапазоні від 0,32 (Горинь-с.Деражне) до 1,25 (Смілка-с.Сусли). Проаналізувавши метод найбільшої правдоподібності видно, що значення Cv змінюється в діапазоні 0,32-1,28 (Горинь-с.Деражне, Смілка-с.Сусли), а середнє значення співвідношення Cs/Cv для розглянутих водозборів прийнято на рівні 2,5 [24].

В табл. 3.6 представлена оцінка статистичних параметрів мінімального стоку літньо-осінньої межені за методом моментів та методом найбільшої правдоподібності. В методі моментів значення Cv змінюється в діапазоні від 0,28 (Горинь-с.Деражне) до 0,84 (Смілка-с.Сусли). Проаналізувавши метод найбільшої правдоподібності видно, що значення Cv змінюється в діапазоні 0,28-0,85 (Горинь-с.Деражне, Смілка-с.Сусли), а середнє значення співвідношення Cs/Cv для розглянутих водозборів прийнято на рівні 2,0.

В практиці інженерних розрахунків найбільший інтерес представляють мінімальні витрати води 75-95 %-ої забезпеченості. Використовуючи ординати трипараметричного гама-розподілу С.М. Крицього – М.Ф. Менкеля [18] та статистичні характеристики були визначені модулі стоку 75, 80, 90, 95 та 97 %- ої забезпеченості (табл. 3.7, 3.8, рис.3.5, 3.6).

Таблиця 3.5 – Статистична обробка мінімальних витрат води в басейні р.Горинь за зимову межень

№ з/п	Номер поста	Річка - пост	Площа водозбору, км²	n, років	$\bar{Q}$min 30 ,м³/с	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності		
						C_v	C_s	r(1)	C_s/C_v	C_v	C_s	C_s/C_v
1	32	Горинь-смт Ямпіль	1400	77	4,3	0,39	0,38	0,69	1,0	0,39	0,40	1,0
2	33	Горинь-с.Оженин	5860	70	16,4	0,41	0,60	0,40	1,5	0,41	0,62	1,5
3	34	Горинь-с.Деражне	9160	58	28,0	0,32	0,62	0,48	1,9	0,32	0,64	2,0
4	35	Вирка-с.Сварині	231	69	0,4	0,84	0,98	0,05	1,2	0,84	1,03	1,2
5	36	Случ-м.Новоград-Волинський	7460	41	6,7	0,48	1,89	0,01	4,0	0,48	2,40	5,0
6	37	Случ-м.Сарни	13300	79	22,6	0,88	1,50	0,35	1,7	0,88	1,60	1,8
7	38	Тня-с.Броники	982	75	1,1	1,07	2,70	-0,05	2,6	1,10	3,40	3,1
8	39	Смілка-с.Сусли	632	70	0,6	1,25	2,58	0,13	2,1	1,28	3,22	2,5
Середнє									2,0			2,3

Таблиця 3.6 – Статистична обробка мінімальних витрат води в басейні р.Горинь за літньо-осінню межень

№ з/п	Номер поста	Річка - пост	Площа водозбору, км²	n, років	$\bar{Q}$min 30 ,м³/с	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності		
						C_v	C_s	r(1)	C_s/C_v	C_v	C_s	C_s/C_v
1	32	Горинь-смт Ямпіль	1400	78	3,7	0,40	0,30	0,64	0,7	0,40	0,32	0,8
2	33	Горинь-с.Оженин	5860	70	13,8	0,32	0,18	0,60	0,6	0,32	0,22	0,7
3	34	Горинь-с.Деражне	9160	58	22,3	0,28	0,20	0,56	0,7	0,28	0,24	0,8
4	35	Вирка-с.Сварині	231	69	0,2	0,74	0,30	0,72	0,4	0,70	0,32	0,4
5	36	Случ-м.Новоград-Волинський	7460	42	10,8	0,56	2,58	0,24	4,6	0,58	3,62	6,2
6	37	Случ-м.Сарни	13300	81	14,0	0,60	1,23	0,57	2,1	0,60	1,30	2,2
7	38	Тня-с.Броники	982	73	0,5	0,76	1,23	0,60	1,6	0,76	1,31	1,7
8	39	Смілка-с.Сусли	632	71	0,2	0,84	2,14	0,40	2,6	0,85	2,53	3,0
Середнє									1,7			2,0

Таблиця 3.7 – Розрахунок мінімальних витрат води заданої забезпеченості за зимову межень

Річка - пост	C_v	Q min $_{30}$ зима, м3/с	$K_{75\%}$	$Q_{75\%,\ м3/с}$	$K_{80\%}$	$Q_{80\%,\ м3/с}$	$K_{90\%}$	$Q_{90\%,м3/с}$	$K_{95\%}$	$Q_{95\%,м3/с}$	$K_{97\%}$	$Q_{97\%,м3/с}$
Горинь-смт Ямпіль	0,39	4,26	0,72	3,09	0,66	2,82	0,56	2,38	0,48	2,04	0,43	1,84
Горинь-с.Оженин	0,41	16,40	0,71	11,56	0,66	10,74	0,54	8,86	0,46	7,51	0,41	6,72
Горинь-с.Деражне	0,32	28,00	0,77	21,53	0,73	20,41	0,63	17,58	0,55	15,51	0,51	14,28
Вирка-с.Сварині	0,84	0,44	0,42	0,18	0,36	0,16	0,23	0,10	0,15	0,07	0,12	0,05
Случ-м.Новоград-Волинський	0,48	6,70	0,65	4,38	0,60	4,03	0,48	3,20	0,39	2,63	0,34	2,30
Случ-м.Сарни	0,88	22,60	0,40	8,95	0,34	7,57	0,21	4,70	0,14	3,10	0,10	2,33
Тня-с.Броники	1,10	1,13	0,28	0,32	0,23	0,26	0,12	0,13	0,07	0,07	0,04	0,05
Смілка-с.Сусли	1,28	0,61	0,21	0,13	0,16	0,10	0,07	0,04	0,03	0,02	0,02	0,01

Таблиця 3.8 – Розрахунок мінімальних витрат води заданої забезпеченості за літньо-осінню межень

Річка - пост	C_v	Q min $_{30}$ зима, м3/с	$K_{75\%}$	$Q_{75\%,\ м3/с}$	$K_{80\%}$	$Q_{80\%,\ м3/с}$	$K_{90\%}$	$Q_{90\%,м3/с}$	$K_{95\%}$	$Q_{95\%,м3/с}$	$K_{97\%}$	$Q_{97\%,м3/с}$
Горинь-смт Ямпіль	0,40	3,7	0,71	2,6	0,65	2,4	0,53	1,97	0,45	1,6	0,4	1,4
Горинь-с.Оженин	0,32	13,8	0,77	10,6	0,73	10,03	0,62	8,5	0,54	7,5	0,5	6,8
Горинь-с.Деражне	0,28	22,3	0,8	17,8	0,76	16,9	0,66	14,8	0,59	13,2	0,55	12,2
Вирка-с.Сварині	0,70	0,2	0,49	0,1	0,42	0,088	0,27	0,06	0,18	0,04	0,14	0,03
Случ-м.Новоград-Волинський	0,58	10,8	0,57	6,17	0,51	5,53	0,37	3,98	0,27	2,9	0,2	2,4
Случ-м.Сарни	0,60	14,0	0,55	7,8	0,49	6,9	0,35	4,92	0,26	3,6	0,2	2,8
Тня-с.Броники	0,76	0,5	0,43	0,22	0,38	0,19	0,23	0,12	0,14	0,07	0,11	0,06
Смілка-с.Сусли	0,85	0,2	0,4	0,08	0,3	0,07	0,18	0,034	0,1	0,02	0,07	0,01

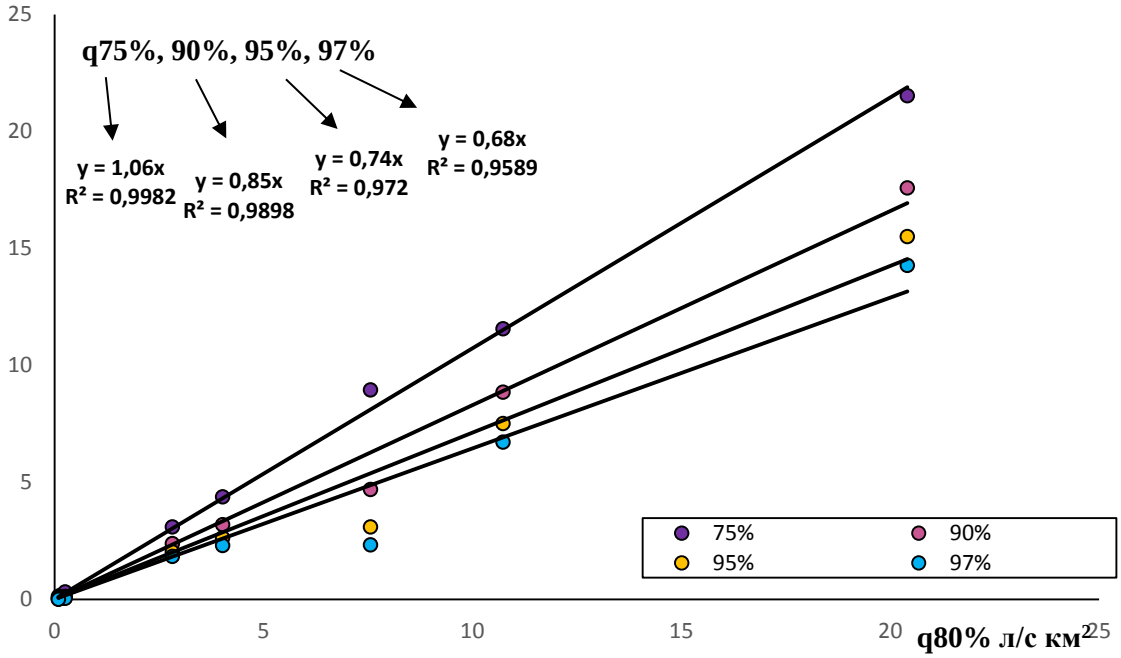


Рисунок 3.5 - Залежність модулів стоку 80 % забезпеченості від модулів стоку з забезпеченістю 75%, 90%, 95%, 97% за зимову межень в басейні р. Горинь

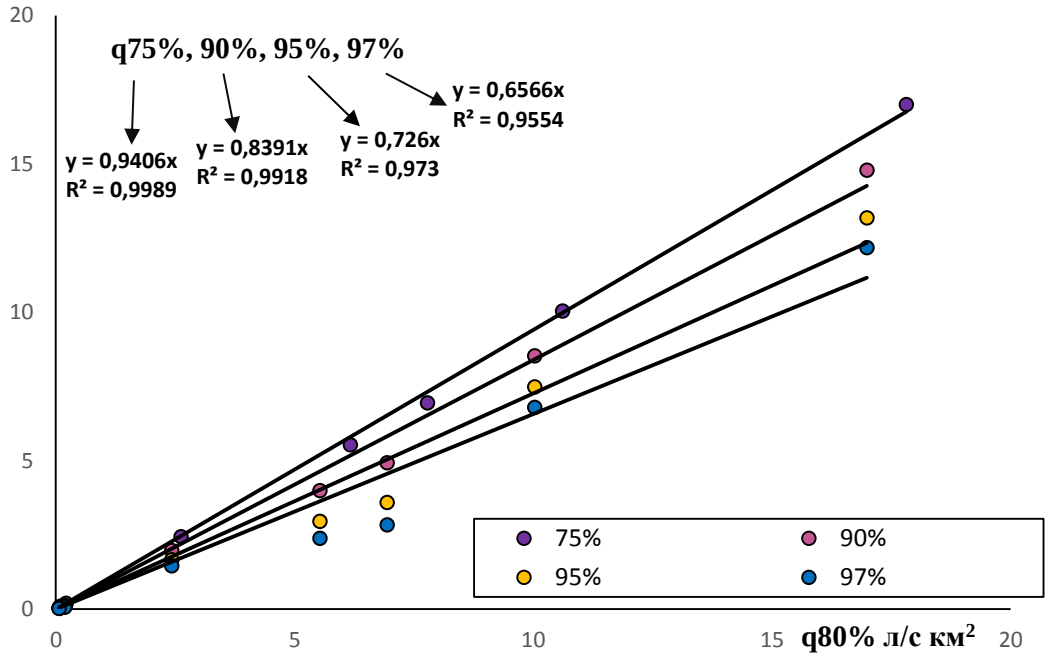


Рисунок 3.6 - Залежність модулів стоку 80 % забезпеченості від модулів стоку з забезпеченістю 75%, 90%, 95%, 97% за зимову межень в басейні р. Горинь

3.2 Розрахунок характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь

3.2.1Узагальнення характеристик мінімального стоку в басейні р. Горинь

Зимова межень. Приступаючи до узагальнення спершу виконана перевірка залежності модулів мінімального стоку 80% від широти центрів тяжіння водозборів (рис.3.7).

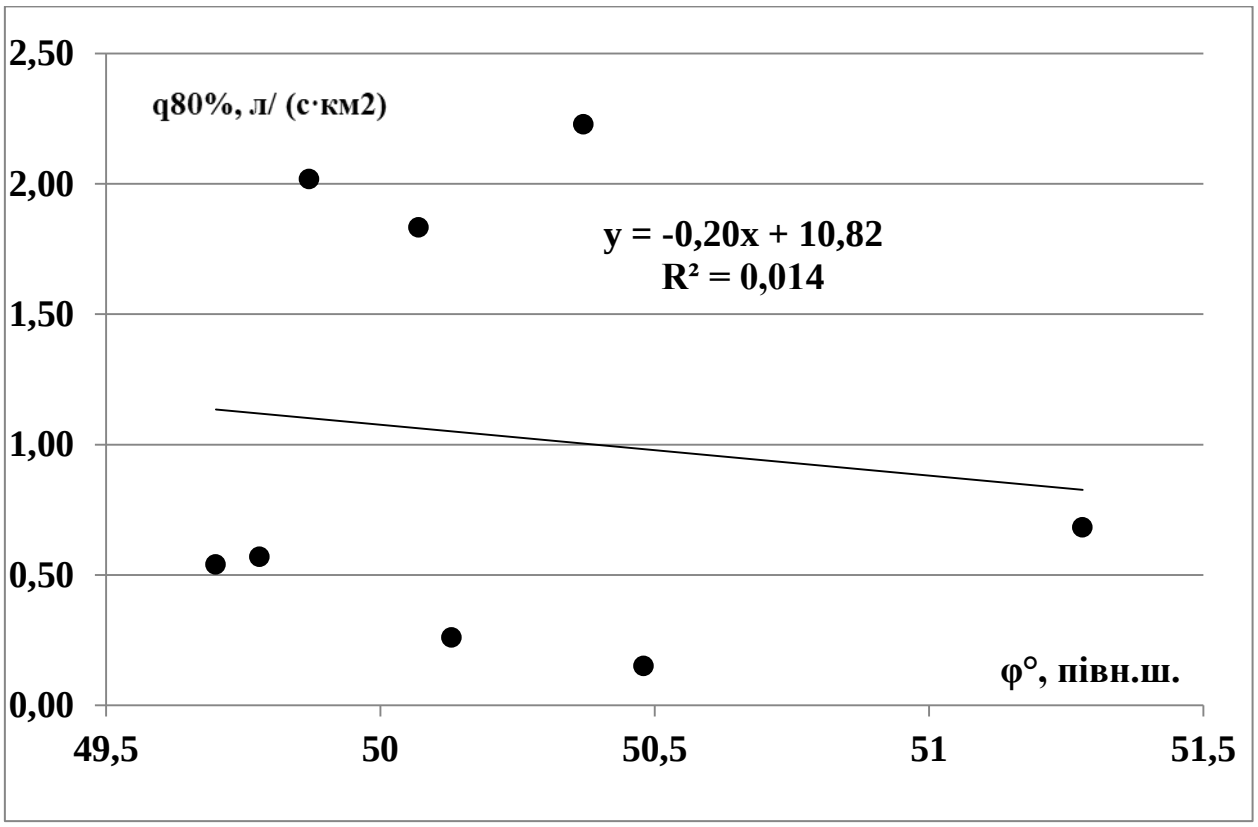


Рисунок 3.7 – Графік модулів мінімального стоку 80 % забезпеченості від широти центрів водозборів в басейні р. Горинь

Як видно з рис.3.7, залежність модулів мінімального стоку 80% забезпеченості загалом не підкоряється широтній закономірності. Тому представляє інтерес дослідити вплив довготи (рис.3.8) на модулі мінімального стоку 80% забезпеченості [25].

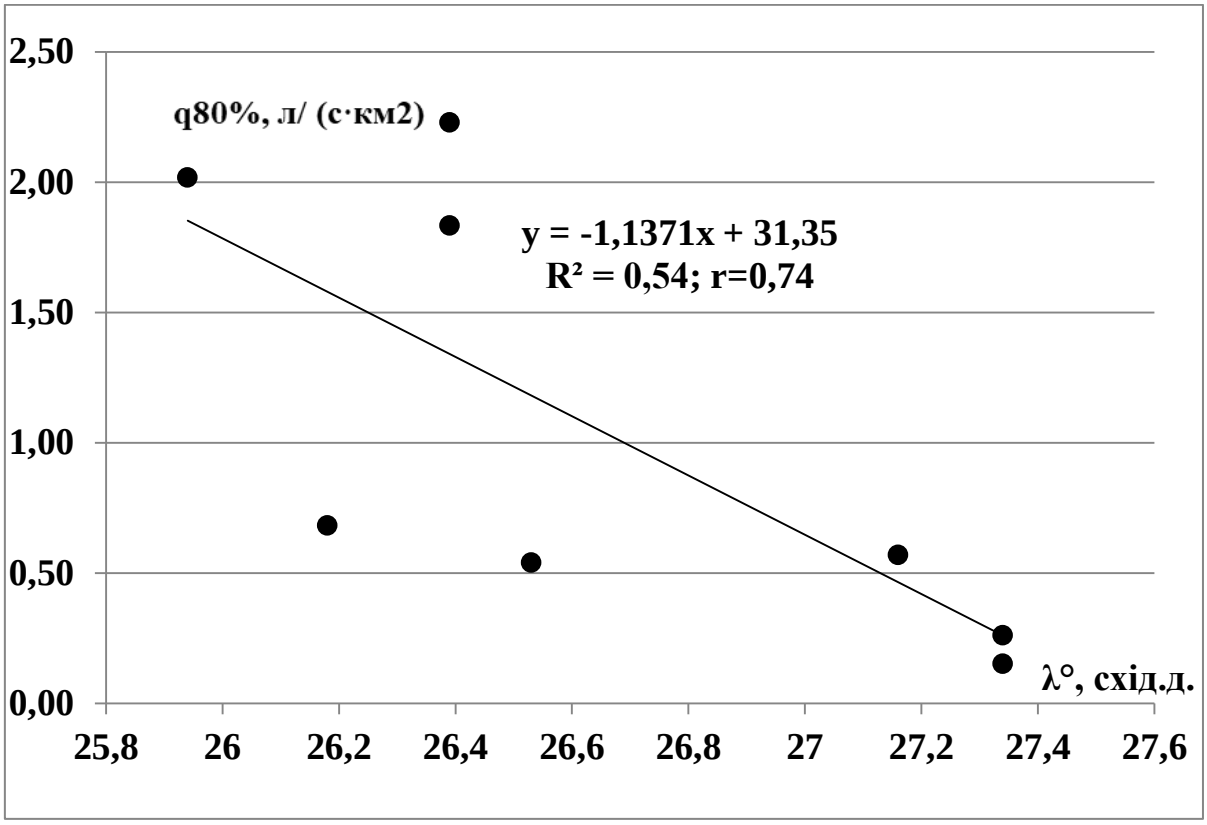


Рисунок 3.8 – Залежність модулів мінімального стоку 80 % забезпеченості від довготи водозборів в басейні р. Горинь

Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї довготи 26 ° для всіх водозборів за рівнянням вигляду:

$$q_{80\%\ \lambda=26} = q_{80\%} + 1{,}14 \cdot (\lambda - 26)\ . \qquad (3.2)$$

Надалі отримані значення $q_{80\%\ \lambda=26}$ використані при дослідженні впливу лісистості та заболоченості водозборів. Отримані залежності представлена на рисунках 3.9, 3.10, але загалом вираженої тенденції в бік збільшення або зменшення не виявлена.

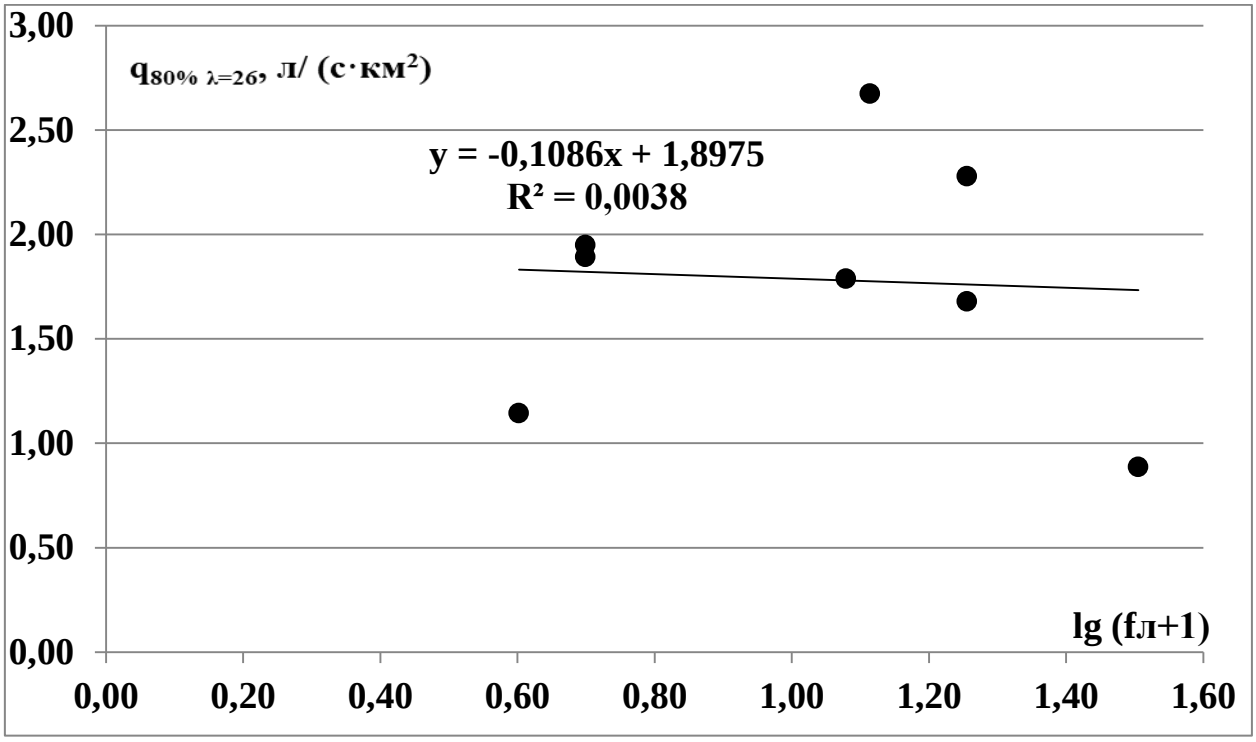


Рисунок 3.9 – Графік приведених до однієї довготи модулів 80% забезпеченості від лісистості водозборів р. Горинь

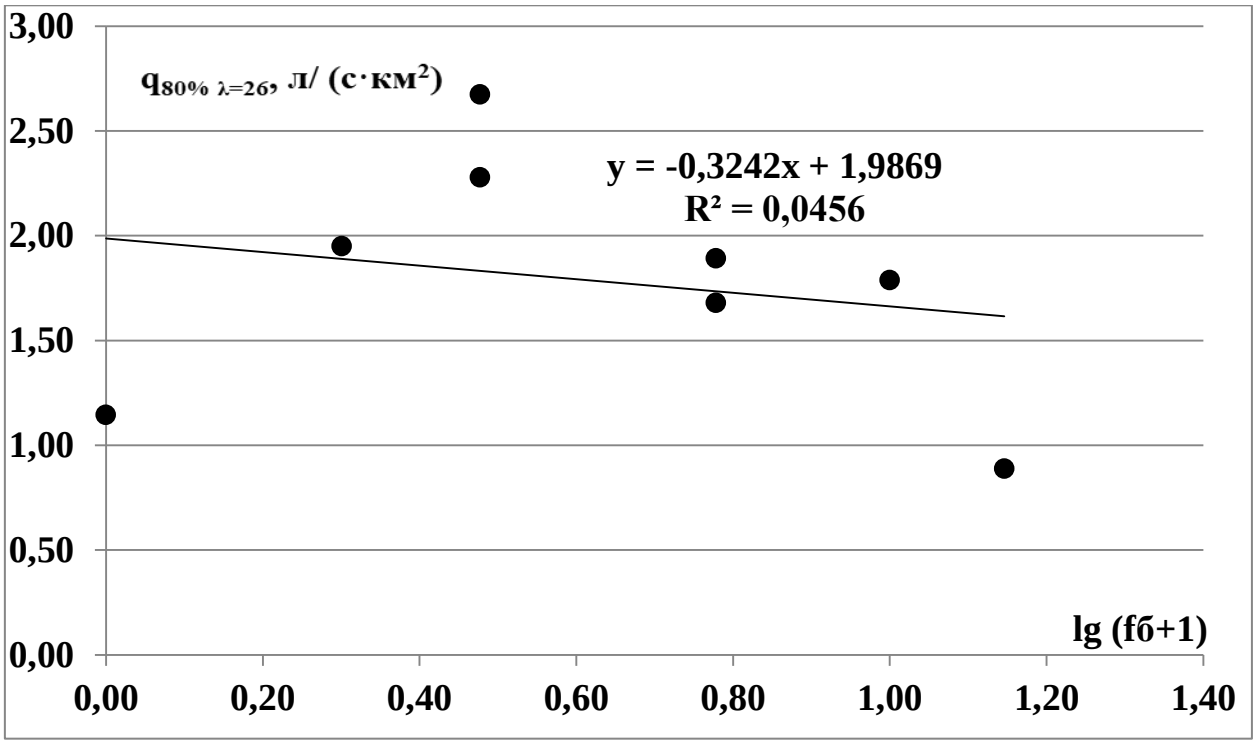


Рисунок 3.10 – Графік приведених до однієї довготи модулів 80% забезпеченості від заболоченості водозборів р. Горинь

Отримана залежність (рис.3.8) має значущий коефіцієнт кореляції, що є підставою для побудови карти модулів мінімального стоку зимової межені 80 % забезпеченості (рис.3.11). Значення $q_{80\%}$ в басейні збільшуються у напрямку зі сходу на захід та коливаються в межах від 0,20 л/с км^2 до 2,20 л/с км^2.

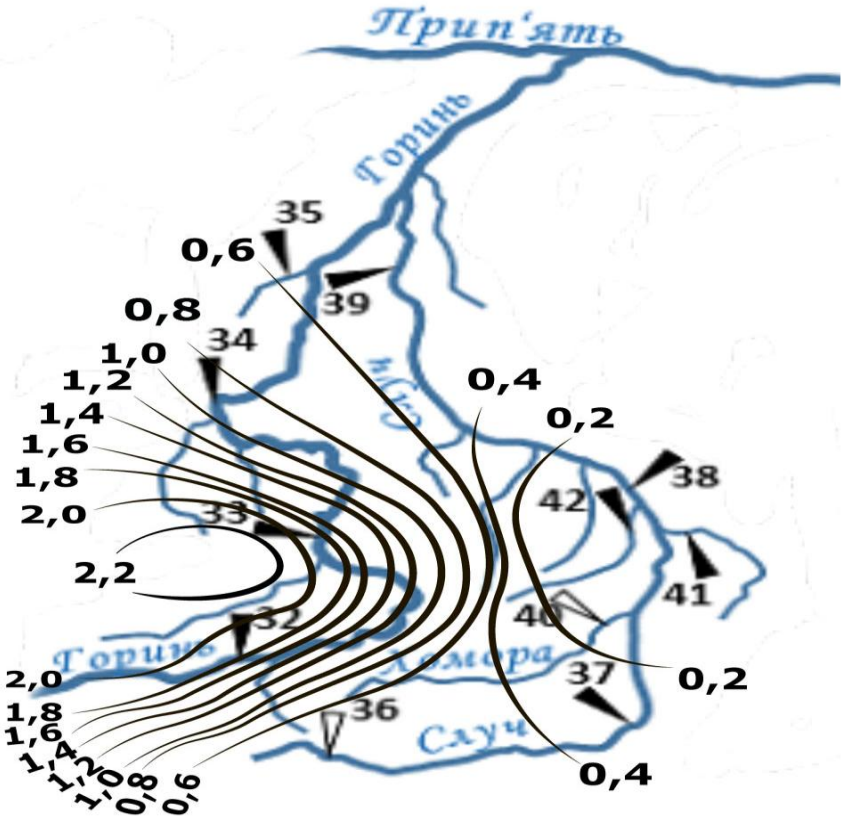


Рисунок 3.11 – Карта розподілу мінімальних модулів стоку 80 %-ої забезпеченості в басейні р. Горинь за зимову межінь

Літньо-осіння межень. Аналогічне дослідження проведено і для літньо-осінньої межені. В результаті отримана карта розподілу мінімальних модулів стоку 80 %-ої забезпеченості в басейні р. Горинь за літньо-осінню межінь (рис.3.12). Значення $q_{80\%}$ в басейні збільшуються у напрямку зі сходу на захід та коливаються в межах від 0,20 л/с км^2 до 1,80 л/с км^2 [25].

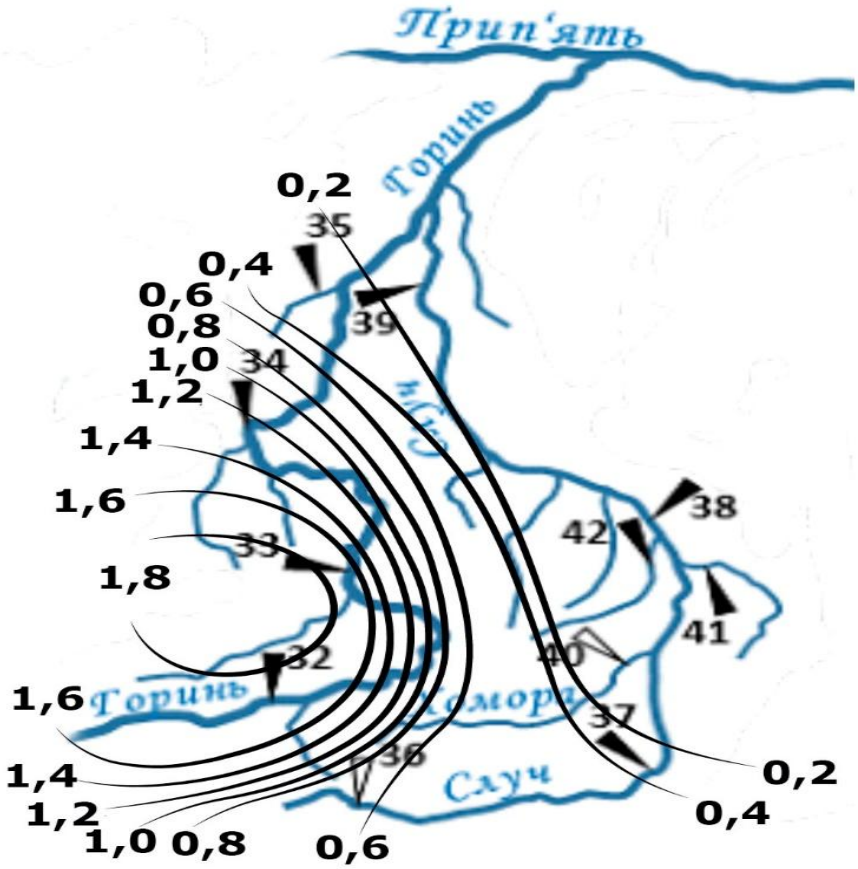


Рисунок 3.12 - Карта розподілу мінімальних модулів стоку 80 %-ої забезпеченості в басейні р. Горинь за літньо-осінню межінь

3.2.2Перевірочні розрахунки

Після побудови карт 80-ти% забезпеченості мінімального модуля стоку для зимової та літньо-осінньої межені необхідно визначити точність розрахунку, як відносне відхилення розрахованих значень від фактичних по формулі

$$\Delta = \left| \frac{q_p - q_\phi}{q_\phi} \right| \cdot 100\%, \qquad (3.3)$$

де $q_р$ – розрахункові величини мінімального стоку;

$q_ф$ – фактичні величини мінімального стоку.

Точність розрахунку для зимової межені складає 9,32 %, для літньо-осінньої межені – 12,8 %, розрахунок представлений у таблицях 3.9-3.10.

Таблиця 3.9 – Розрахунок точності карти для зимової межені.

№ поста	Річка-пост	$q_{80\%\ факт.}$	$q_{80\%\ розрах.}$	Δ, %
32	Горинь-смт Ямпіль	2,02	2,00	0,86
33	Горинь-с.Оженин	1,83	1,80	1,81
34	Горинь-с.Деражне	2,23	2,20	1,27
35	Вирка-с.Сварині	0,68	0,65	4,68
36	Случ-с.Велика Клітна	0,54	0,57	5,60
37	Случ-с.Громада	0,57	0,50	12,16
38	Случ-м.Новоград-Волинський	0,26	0,30	15,36
39	Случ-м.Сарни	0,15	0,20	32,83
				9,32

Таблиця 3.10 – Розрахунок точності карти для літньо-осінньої межені.

№ поста	Річка-пост	$q_{80\%\ факт.}$	$q_{80\%\ розрах.}$	Δ, %
32	Горинь-смт Ямпіль	1,73	1,70	1,94
33	Горинь-с.Оженин	1,71	1,70	0,70
34	Горинь-с.Деражне	1,86	1,80	2,97
35	Вирка-с.Сварині	0,38	0,40	5,01
36	Случ-с.Велика Клітна	0,74	0,75	1,18
37	Случ-с.Громада	0,52	0,55	5,34
38	Случ-м.Новоград-Волинський	0,19	0,20	3,64
39	Случ-м.Сарни	0,11	0,20	81,82
				12,83

Висновки

В результаті виконання магістерської кваліфікаційної роботи виконано розрахунок характеристик максимального та мінімального стоку в басейні р. Горинь.

В роботі для обґрунтування регіональної методики визначення максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Горинь використані дані по 11 гідрологічним постам.

Основним розрахунковим параметром пропонованої методики є максимальний модуль схилового припливу, складові якого узагальнені за територію, а саме:

- Шари стоку весняного водопілля 1%-ної забезпеченості представлені у вигляді карти, ізолінії проведені через 50 мм. Шар стоку збільшуються з південного заходу на північ від 100 до 300 мм.
- Коефіцієнт нерівномірності схилового притоку для досліджуваної території осереднений на рівні 8,5.
- Тривалість притоку води зі схилів в руслову мережу T_o також представлена в вигляді карти й змінюється по території в межах від 250 до 400 годин, окремо виділені зони впливу карсту.

Точність розрахунку методики знаходиться на рівні точності вихідної інформації та відповідає вимогам нормативних документів щодо розрахункових величин максимального стоку річок. Враховуючи задовільну збіжність розрахунових та спостережених даних, представлену методику можна рекомендувати в якості регіональної для басейну р. Горинь при обгрунтуванні водогосподарських проектів.

В роботі для обґрунтування регіональної методики визначення мінімального стоку зимової та літньо-осінньої межені в басейні р. Горинь використані дані по 8 гідрологічним постам.

Згідно з СНиП 2.01.14-83, оцінка статистичних параметрів мінімального стоку виконується за методом моментів та методом найбільшої правдоподібності:

- *Зимова межень.* В методі моментів значення *Cv* змінюється в діапазоні від 0,32 (Горинь-с.Деражне) до 1,25 (Смілка-с.Сусли). За методом найбільшої правдоподібності значення *Cv* змінюється в діапазоні 0,32-1,28 (Горинь-с.Деражне, Смілка-с.Сусли), а середнє значення співвідношення *Cs/Cv* для розглянутих водозборів прийнято на рівні 2,5.
- *Літньо-осінньої межень.* В методі моментів значення *Cv* змінюється в діапазоні від 0,28 (Горинь-с.Деражне) до 0,84 (Смілка-с.Сусли). Проаналізувавши метод найбільшої правдоподібності видно, що значення *Cv* змінюється в діапазоні 0,28-0,85 (Горинь-с.Деражне, Смілка-с.Сусли), а середнє значення співвідношення *Cs/Cv* для розглянутих водозборів прийнято на рівні 2,0

Методика представлена картами ізоліній мінімального стоку 80 % забезпеченості за літньо-осінній та зимовий періоди для річок басейну Горинь.

Перелік джерел посилання

1. *Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1966.т.6, вып. 2 884 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. UPL:http:www.isgeo.kiev.ua

3. 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 Пермского государственного национального исследовательского университета*. 2016. №1(36). С.49-57.

4. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. Одесса “ТЭС” 2002г.

5. Гопченко Е.Д., Романчук М.Є. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Киев, КНТ . 2005. 148с.

6. Ovcharuk V. A., Prokofiev O. M., Todorova O. I., Kichuk N. S. The study of the periodicity of catastrophic spring floods on the territory of Ukraine// *Visnyk of V N Karazin Kharkiv National University-Series Geology Geography Ecology*. (2019). v. 50. pp. 136- 147.

7. Ovcharuk, V., Gopchenko, E., Todorova, O., Myrza, K. Calculating the characteristics of flash flood on small rivers in the mountainous Crimea | Karakteristike naglih poplava malih rijeka planinskog krima // *Geofizika*, 2020, 37(1), c. 27-43. https://doi.org/10.15233/gfz.2020.37.3

8. Seibert, J. and Vis, M. (2012). Teaching hydrological modeling with a user-friendly catchment-runoff-model software package. Hydrology and Earth System Sciences, 16, 3315–3325.

9. Tokar, A.S. and M. Markus, 2000. Precipitationrunoff modeling using artificial neural networks and conceptual models. J. Hydro. Eng., ASCE, 5 (2): 156-161.

10. Zhang, B. and R.S. Govindaraju, 2003. Geomorphology-based artificial neural networks (GANNs) for estimation of direct runoff over watersheds. J. Hydrol., 273 (1-4): 18-34.

11. Blöschl, G. et al. Changing climate both increases and decreases European river floods. Nature, 2019, 573(7772), pp. 108-111. https://doi.org/10.1038/s41586-019-1495-6

12. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик / Ленинград: Гидрометеоиздат, 1977. 260 с.

13. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 447 с.

14. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / Санкт-Петербург: ГГИ, 2007. 278 с.

15. *Методические рекомендации по оценке однородности гидрологических характеристик и определению их расчетных значений по неоднородным данным. Санкт-Петербург, 2010. 162 с.*

16. *Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). Пятое изд. 1994. 844 с.*

17. Wissenschaft für den modernen menschen: medizin, chemie, landwirtschaft, geographie, architektur. Book 1. Part 2 / Овчарук В.А., Тодорова О.І., Лошовська О.П. Maximum runoff of spring flood in the Gorin river basin. Karlsruhe: NetAkhatAV, 2020.P. 100-113. p. **DOI: 10.30888/978-3-9821783-1-8.2020-01-02-045**

18. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком / Москва. 1981. 254 с.

19. Блохинов Е.Г. Об особенностях распределения выборочных оценок параметров речного стока //*Труды ГГИ.* Вып. 134. Ленинград: Гидрометеоиздат. 1968. С. 115-150.

20. Гопченко Е.Д., Бояринцев Е.Л. Упрощенная генетическая формула для расчета максимальних расходов весеннего половодья в басейне Верхней Колымы // *Тр. ДВНИГМИ,* 1980. Вып. 34. С.3-11.

21. Гопченко Е.Д., Гнездилов Ю.А. Графоаналитический метод определения параметров гидрографов склонового стока (по матеріалам полевого наблюдения ГВВ//*Тр.УкрНИГМИ.* 1974. Вып.127.- С.54-61.

22. Гопченко Е.Д.,Симонова Т.А. О расчете максимальних расходов весеннего половодья в басейне р.Оки // *Водные ресурсы.* №6. С.54-61.

23. 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.

24. Лошовська О.П., Тодорова О.І. Статистична обробка часових рядів характеристик мінімального стоку зимової та літньо-осінньої межені для української частини басейну р. Горинь // Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 25-29 травня. Одеса: ОДЕКУ. 2020. С. 128.

25. Лошовська О.П., Тодорова О.І. Мінімальний стік в басейні р. Горинь // Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Мат. VIII Міжнародної наукової конференції молодих вчених (26-27 листопада 2020 р., м. Харків). 2020. С. подано до друку.