МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: **РОЗРАХУНКИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ**

Виконав магістр 2-го року навчання
групи МГ-2 спеціальності 103 «Науки
про Землю»;
освітньо-наукової програми
«Гідрологія»
Мартинюк Максим Олегович

Керівник: канд.геогр.наук, доцент
Бурлуцька Марія Едуардівна

Консультант: канд.геогр.наук, доцент
Романчук Марина Євгенівна

Одеса 2019

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.

"11" березня 2019 року

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

Мартинюку Максиму Олеговичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розрахунки максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

керівник роботи: Бурлуцька Марія Едуардівна, канд.геогр.наук., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 05 жовтня 2018 року №271-С

2. Строк подання студентом роботи 10 травня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи максимальні витрати та шари стоку весняного водопілля, гідрографічні та морфометричні характеристики басейну р. Південний Буг

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Виконати статистичну обробку максимальних витрат води та шарів стоку
2. Визначити можливі зміни максимального стоку за різні часові періоди
3. Виконати узагальнення по території максимальних шарів стоку
4. Виконати розрахунки і узагальнення по території максимальних модулів стоку і коефіцієнтів трансформації стоку

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

1. Карта-схема розташування гідрологічних постів.
2. Графіки змін характеристик максимального стоку за різні часові періоди
3. Графіки залежності максимальних шарів стоку від географічної широти, висоти, заболоченості та залісеності.

4. Карти ізоліній максимальних шарів стоку і коефіцієнтів трансформації стоку

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 березня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Збір вихідних матеріалів	11.03-20.03. 2019	91	відмінно
2.	Коротка фізико-географічна характеристика басейну	21.03-27.03.2019	90	відмінно
3.	Статистична обробка максимальних витрат води та шарів стоку	28.03-07.04.2019	93	відмінно
4.	Визначення впливу кліматичних змін на гідрологічний режим басейну р. Південний Буг	08.04-14.04.2019	90	відмінно
	Рубіжна атестація	15.04-21.04.2019		
5.	Узагальнення по території максимальних шарів стоку	15.04-22.04.2019	94	відмінно
6.	Розрахунки максимальних модулів стоку	23.04-01.05.2019	92	відмінно
7.	Оформлення роботи	02.05-09.05.2019		
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	10.05-13.05.19		
	Підготовка доповіді, презентації	13.05-24.05.19		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи Мартинюка М.О. «Розрахунки максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг»

Актуальність теми. Максимальний стік має надзвичайно важливе значення при проектуванні і експлуатації гідротехнічних споруд на річках. Основні характеристики максимального стоку, такі як максимальні шари стоку, максимальні витрати води, максимальні модулі стоку повинні мати достатнє обґрунтування рекомендації з їх розрахунку.

Мета і задачі дослідження. Обґрунтування методики розрахунку максимального стоку для р. Південний Буг, узагальнення характеристик максимального стоку.

Об'єкт і предмет дослідження. Об'єкт дослідження – максимальний стік весняного водопілля. Предмет дослідження – максимальні витрати і шари стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

Методи дослідження. Виконана статистична обробка часових рядів даних, визначений вплив кліматичних змін на характеристики максимального стоку, проведені розрахунки і узагальнення характеристик максимального стоку.

Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення. Завдяки проведеному дослідженню були отримані карти ізоліній максимальних шарів стоку 1%-ї забезпеченості і коефіцієнтів трансформації стоку. Ці карти можна використовувати для визначення характеристик максимального стоку, таких як максимальні шари стоку 1%-ї забезпеченості і максимальні модулі стоку 1%-ї забезпеченості за відсутності спостережень в басейні р. Південний Буг.

Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування. Отриману карту ізоліній максимальних шарів стоку 1%-ї забезпеченості можна використовувати для визначення цих характеристик максимального стоку для недосліджених річок басейну р. Південний Буг. Карта коефіцієнтів трансформації стоку використовується для визначення максимальних модулів стоку 1%-ї забезпеченості для невивчених річок басейну р. Південний Буг. Виконане дослідження можна використовувати для побудови гідротехнічних споруд та водогосподарського проектування.

Структура і обсяг роботи:

Кількість сторінок – 50

Кількість рисунків – 4

Кількість таблиць – 3

Кількість використаної літератури – 19

Ключові слова: характеристики максимального стоку, витрати води, шари стоку, модулі стоку, просторове узагальнення, Південний Буг.

SUMMARY

to master's work M.O. Martyniuk "Calculations of Maximum Runoff during Spring Flood in the Basin of the Pivdennyi Buh River"

Actuality of theme. The maximum runoff is extremely important when designing and operating hydraulic structures on the rivers. The main characteristics of the maximum runoff, such as maximum runoff layers, maximum water consumption, maximum drainage modules, should have sufficient justification for the recommendations for their calculation.

Purpose and objectives of the research. The substantiation of the method for calculating the maximum runoff for the Pivdennyi Buh River.

Object and subject of research. The object of the study is the maximum flow of spring water. Subject of research is the maximum costs and layers of runoff of spring water in the basin of the Pivdennyi Buh River.

Research methods. The statistical processing of time series of data, the influence of climate changes on the characteristics of maximum runoff is made, calculations and generalization of the characteristics of maximum runoff are carried out.

Results, their novelty, theoretical and practical significance. Due to the conducted research, maps of insulators of maximum layers of drainage of 1% were provided and the drain flow ratios were obtained. These maps can be used to determine the characteristics of maximum runoff, such as maximum runoff layers of 1% supply and maximal flow modules of 1% coverage in the absence of observations in the basin of the Pivdennyi Buh River.

Recommendations for using the results of work with the indication of the scope of application. Received card of insulins of maximum layers of drainage of 1% -security should be used to determine these characteristics of maximum runoff for unexplored rivers in the basin of the Pivdennyi Buh River. The flow transformation coefficient map is used to determine the maximum supply modules of 1% supply. The study can be used for the construction of hydrotechnical structures and water management projects.

Structure and scope of work:

Number of Pages - 50

Number of figures - 4

Number of tables - 3

Number of references - 19

Keywords: characteristics of maximum runoff, water flow, runoff layers, runoff modules, spatial generalization, Pivdennyi Buh River.

ЗМІСТ

Вступ……. 8

1 Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Південний Буг…….. 9

1.1 Геологічна будова і рельєф……..... 10

1.2 Ґрунти і рослинність…….……. 10

1.3 Кліматична характеристика річкового басейну…….. 12

1.4 Гідрологічна вивченість…….……... 15

1.5 Водний режим річки Південний Буг……. 19

2 Статистичні методи дослідження стоку в басейні р. Південний Буг……..... 21

2.1 Метод моментів…….. 21

2.2 Метод найбільшої правдоподібності……..... 24

2.3 Оцінка точності вихідних даних по максимальному стоку…… 25

3 Статистична обробка часових рядів даних максимального стоку весняного водопілля…….…….…….. 27

3.1 Визначення статистичних характеристик стоку в басейні р. Південний Буг від початку спостережень до 2015 р……. 27

3.2 Визначення можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля за різні часові періоди р. Південний Буг. Порівняння статистичних характеристик стоку в басейні р. Південний Буг розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989р. та від початку спостережень до 2015 р….. 28

3.3. Розрахунок максимальних шарів стоку весняного водопілля басейна р. Південний Буг різної забезпеченості (P=1,3,5,10%)…... 30

3.4 Порівняння максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості в басейні річки Південний Буг, розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989р. та від початку 32

спостережень до 2015 р……...
4 Обгрунтування методики розрахунку максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг……. 34
4.1 Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості у просторі…….…….. 36
4.1.1 Вплив місцевих факторів і географічної широти центрів тяжіння водозборів на 1%-і шари стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг……...……. 38
4.1.2 Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості в басейні річки Південний Буг…… 39
4.2 Розрахунок максимальних модулів стоку весняного водопілля 40
4.3 Просторове узагальнення модулів схилового припливу весняного водопілля річок басейну р. Південний Буг 1%-ї забезпеченості…….. 42
4.4. Оцінка методики розрахунків максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-імовірності перевищення……... 44
Висновки…… 46
Список використаної літератури…….. 48
Додатки……... 50

ВСТУП

Максимальний стік має надзвичайно важливе значення при проектуванні і експлуатації гідротехнічних споруд на річках. Основні характеристики максимального стоку, такі як максимальні шари стоку, максимальні витрати води, максимальні модулі стоку повинні мати достатнє обґрунтування рекомендації з їх розрахунку.

Мета магістерської роботи – обґрунтування методики розрахунку максимального стоку весняного водопілля для р. Південний Буг.

Робота складається з 4 розділів.

В першому розділі надається фізико-географічна характеристика досліджуваного басейну, описується геологічна будова, клімат, гідрологічна вивченість та водний режим.

В другому розділі описані існуючі методи розрахунків максимального стоку.

У третьому розділі виконана статистична обробка часових рядів максимальних характеристик стоку весняного водопілля, а також визначені зміни характеристик максимального стоку весняного водопілля за різні часові періоди.

У четвертому розділі виконане просторове узагальнення характеристик максимального стоку весняного водопілля, а також розрахунок максимальних модулів стоку весняного водопілля.

Дослідження, виконане в магістерській кваліфікаційній роботі, пройшло апробацію на міжнародній дисциплінарній конференції молодих вчених «Шевченківська весна» з друкуванням збірнику наукових праць, та на конференції молодих вчених секції «Гідрологія суші». По результатам конференції подані тези до друку.

1 КОРОТКА ФІЗИКО - ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Річка Південний Буг – одна з найбільших річок України, і найбільша, яка протікає виключно територією України. Довжина річки – 806 км, а площа її басейну складає 63700 км².

Протікає р. Південний Буг з заходу на південь країни через Вінницьку, Хмельницьку, Кропивницьку, Одеську та Миколаївську області через фізико-географічні зони лісостепу і степу.

Виток р. Південний Буг розташований у межах Хмельницької області, біля с. Холодець Волочиського району. Впадає р. Південний Буг до Бузького лиману Чорного моря.

Географічне розташування басейну р. Південний Буг зображено на рис. 1.1.

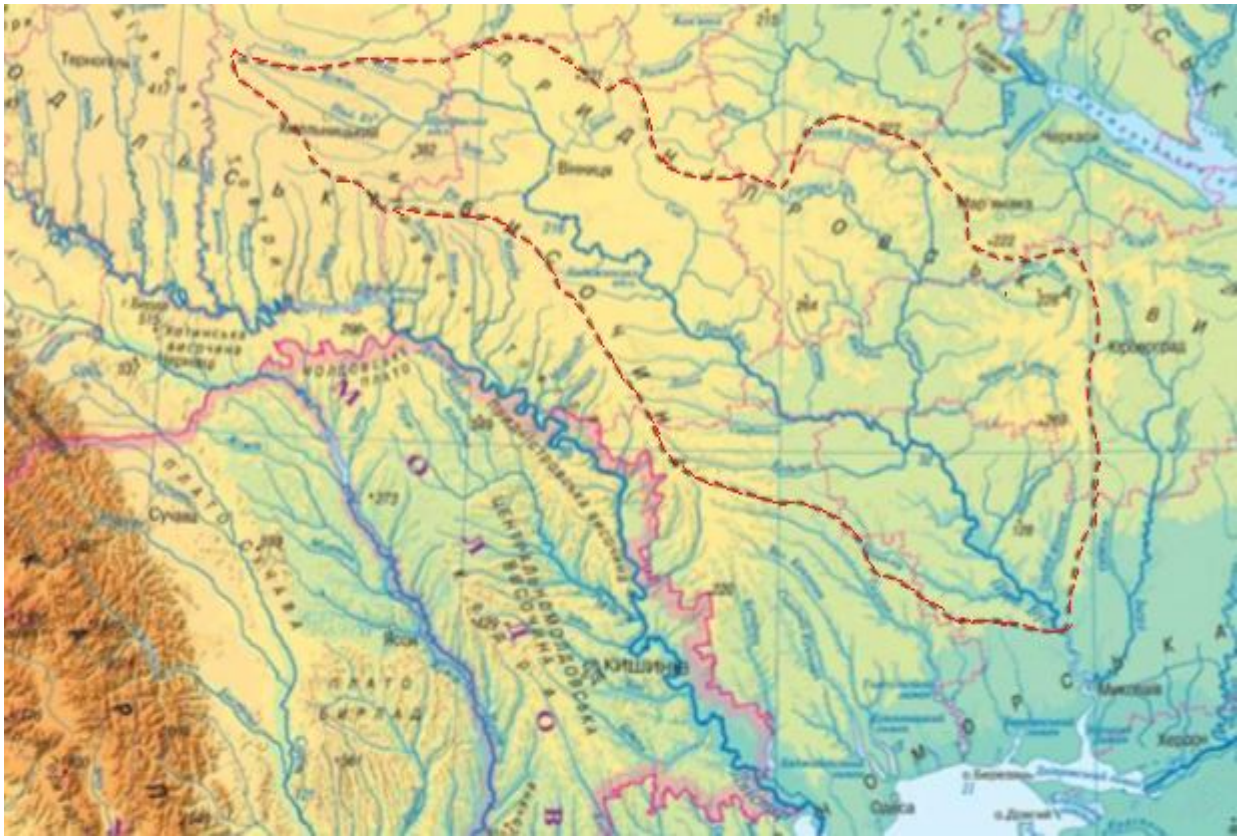

Рисунок 1.1 – Географічне розташування басейну р. Південний Буг [1]

Головні притоки р. Південний Буг, що впадають в річку у межах Хмельницької області: Іква, Пласка, Тернова, Случ, Вовк, Хомора; в межах Вінницької області: Ров, Згар, Дохна, Соб, Савранка, Десна; у межах Кропивницької області: Синюха і Синиця; Мертвовод у Миколаївській області, Інгул у місті Миколаїв.

Ріка протікає через такі населені пункти: Хмельницький, Гнивань, Вінниця, Саврань, Первомайськ, Ладижин, Гайворон, Нова Одеса, Южноукраїнськ, Вознесенськ, Миколаїв [1].

1.1 Геологічна будова і рельєф

У частині басейну р. Південний Буг, що знаходиться в межах Українського Кристалічного щита, поширені відкладення полтавської свити – піски з лінзами і прошарками глин. У південній частині басейна, нижче за базис ерозії, залягають вапняки. В Причорноморській западині на південній частині Молдавської плити і в Добруджинському прогині зустрічаються верхньосарматські відкладення: піски, вапняки, глини, мергелів, що складно перешаровуються. На північ від м. Миколаєва відомі меотичні пісчано-глинисті відкладення, південніше – переважно глинисті. На захід від р. Інгул знаходяться значні відкладення глинистих мергелистих товщ метиса і понта, які значно зменшують інфільтрацію стоку. Не зважаючи на це, зустрічаються малопотужні пласти вапняків, де, через ерозійні процеси і пористість формуються системи ковернозних зон [1].

1.2 Ґрунти і рослинність

Ґрунти. Основні ґрунтоутворюючі породи лісостепової зони - це четвертинні відкладення: лесовидні породи, здебільшого пилувато-

легкосуглинисті, які залягають в два-три яруси на лесових рівнинах; делювіальні і алювіальні відкладення.

Алювіальні відкладення відомі у межах заплавних терас і мають легкий механічний склад. Ґрунти в долинах формуються на сучасних і старих алювіальних відкладах.

Делювіальні відкладення зустрічаються в межах річкових і балочних долин.

Піщані і супіщані відкладення розповсюджені в заплавах р. Південний Буг. Переважаючі ґрунти в частині басейну, що відноситься до лісостепової зони – чорноземи. Чорноземи значно насичені кальцієм через карбонатність ґрунтоутворюючих порід.

Рослинність. Значна частина басейну р. Південний Буг розташована в межах лісостепової зони. За географічним районуванням до цієї території входять такі округи: Дністровсько-Бугський, на території якого розповсюджені дубові ліси і лугові степи; правобережно-південно-західний, де значно поширені дубові і грабово-дубові ліси, зустрічаються лугові степи; центрально-подільський, де розповсюджені грабово-дубові ліси (степові ділянки на території цього округу майже не збереглись); правобережно-центральний з луговими степами, а також дубовими і грабовими лісами; правобережно-північно-західний, де поширені грабово-дубові і дубові ліси, луги і лугові степи.

Басейн р. Південний Буг характеризується значною різноманітною рослинністю, великими площами зернових культур. Природна рослинність в басейні р. Південний Буг займає лише 12% всієї площі, 11% займають ліси, близько 1% луги і 0,5% болота. На території басейну р. Південний Буг значно поширені грабово-дубові ліси, які складають більше 30% всіх лісів. Також часто зустрічаються і дубові ліси, які складають близько 15% всіх лісів. Луги збереглись лише на заплавах, де займають більше 30% площі, і представлені в основному болотистими і справжніми лугами [1].

1.3 Кліматична характеристика річкового басейну

На клімат басейну р. Південний Буг впливає багато чинників: вплив Карпат, висота над рівнем моря, експозиція схилів, пересіченість місцевості.

У холодний період року значні роль відіграє циркуляційний чинник. У вересні-жовтні проявляється дія відрогів підвищеного тиску, орієнтованих зі сходу. Тут вони обумовлюють похмуру погоду, опади, а також тумани і ожеледь. Взимку на вітряних схилах Карпат часто зустрічаються інтенсивні хуртовини, викликані циклонами, що переміщуються від Середземного моря до Чорного моря.

Перехід до теплого сезону характеризується ослабленням відрогів східних антициклонів, поступовим припиненням арктичних дій і посиленням відрогів Азовського антициклону.

У зв'язку зі зміною повітряних мас тут весна не стійка - суха тепла погода змінюється на прохолодну і супроводжується дощем.

У літку найбільшого розвитку досягають відроги і ядра Азовського антициклону, з якими зв’язані періоди жаркої та сухої погоди. При цьому над рівнинними районами території відбувається інтенсивна трансформація повітря. Восени здійснюється перехід від літніх процесів до зимових. З другої декади жовтня і в листопаді через Україну зазвичай проходять циклонні утворення північного заходу, заходу і південного заходу, обумовлюючи сильний вітер, опади та ожеледь. Південні райони омиваються Чорним морем, яке впливає на клімат прибережних районів: влітку температура повітря тут нижче, а взимку - вище, ніж у північних районах [1].

Температура повітря. Середня річна температура на території басейну р. Південний Буг змінюється від 6,7 °С на півночі до 8,5 °С на півдні. Абсолютний мінімум доводяться на січень і лютий місяць і досягають на півночі -32 °С. Абсолютний максимум температури досягає 39°С. Найхолодніший місяць – січень. Середня температура в січні

коливається від 5,6 °С до -4,8 °С. Весна починається з переходом температури повітря через 0 °С і руйнування стійкого снігового покриву. Весна настає близько 11.03 на півдні, потім просувається на північ, де настає близько 16-17.03. Найбільш жаркий період літа з середньою добовою температурою вище 15 °С продовжується 3-4 місяці.

Настання осені пов'язане з переходом температури через 10 °С. Триває осінь 2-3 місяці. У другій половині осіннього періоду можливі потепління, для пізньої осені характерна похмура погода. Протягом другої половини листопада осінь переважає нестійкою погодою, частими туманами, ожеледями та короткочасними утвореннями снігового покриву. Найбільш холодна частина зими збігається з переходом температури повітря через -5 °С, що зазвичай відбувається в першій декаді січня. Зима триває 2-3 місяці. Найбільш низькі температури спостерігаються дуже рідко, у виключно холодні зими і, як правило, поширюються на велику територію.

Абсолютний мінімум температури повітря більшою мірою, чим середні місячні і навіть середні мінімальні температури, залежить від місцевих умов, особливо від форми рельєфу. У замкнутих пониженнях рельєфу абсолютні мінімуми в зимові місяці можуть бути на декілька градусів нижче, ніж на поруч розташованих підвищеннях рельєфу. У теплий період року подібні відмінності зменшуються унаслідок меншої тривалості вихолодження в короткі літні ночі. У горах на розподілі абсолютних мінімумів значно впливають інверсії температури. В період крутого підйому температури (березень – травень) абсолютні її максимуми спостерігаються зазвичай у кінці місяця, а в періоди пониження температури восени – на початку місяця. Абсолютний максимум в північній частині водозбору спостерігався в серпні – 37 °С, в центрі – 38 °С, в липні і серпні, а в південній частині – 39 °С в червні і в серпні. Замерзання ґрунту значно запізнюється, порівняно з настанням морозу в повітрі. Восени ж морози в ґрунті припиняються раніше, ніж у повітрі [2].

Опади. Атмосферні опади відрізняються значною мінливістю по роках. Річні суми опадів коливаються від 570 мм на півдні до 654 мм на півночі. В окремі періоди можуть спостерігатися засухи. На даній території впродовж всього року атмосферні опади визначаються головним чином циклонною діяльністю. У літній період істотну роль грають і внутрішньо масові опади, пов'язані з розвитком конвекції. На узбережжі Чорного моря випадає найменша кількість опадів. На території південного степу за рік випадає 400 мм опадів, а на самому узбережжі Чорного моря - близько 300 мм. З річної кількості опадів на фактичний холодний період доводиться приблизно 20 – 25 %, а на теплий 75 – 80 % річної суми опадів. У теплий період кількість опадів змінюється від 200 мм на крайньому півдні до 400 - 500 мм на заході, тобто кількість опадів зменшується з північного заходу на південний схід більш ніж у два рази. На західному і частково південному навітряних схилах Волино-Подільської височини опадів випадає помітно більше, ніж в навколишніх районах. На Україні спостерігається континентальний тип річного ходу опадів з максимумом влітку. У місяць максимуму опадів їх кількість по території вагається в межах 40-160 мм, у місяць мінімуму переважає кількість опадів 20-100 мм. Середня річна амплітуда опадів (різниця між максимальною і мінімальною середньою місячною сумою) коливається від 20 до 120 мм. Зміна місячних сум опадів по території в холодний період року менше, ніж у теплий [2].

Сніговий покрив. Сніговий покрив в межах описуваної території характеризується значною нестійкістю. Середнє число днів з стійким сніговим покривом складає 82 дні. Середня дата появи стійкого снігового покриву 27.12, руйнування 6.03. У деякі роки сніговий покрив практично відсутній. У інші - досягає великої висоти і стійко зберігається тривалий час. Стійким він буває також і на північному сході лісостепової частини басейну, але на південь його висота і тривалість швидко зменшуються. У степу і на крайньому півдні стійким сніговий покрив утворюється не кожного року і швидко розтає. Сніговий покрив – це чинник, що впливає на

формування клімату в зимовий сезон, головним чином унаслідок великої відбивної здатності поверхні снігу. Він захищає ґрунт від холодів завдяки малій теплопровідності снігу. Тому глибина промерзання ґрунту під сніговим покривом, якщо зимові морози почалися після його встановлення, завжди невелика [2].

Сніговий покрив є важливим джерелом зволоження ґрунту весною. Весняне танення снігу в умовах України викликає водопілля, що грає велику роль в режимі поверхневих вод і в господарському житті. Мінімальні температури повітря в зонах Полісся і лісостепу бувають в окремі роки 34-40 °С, а в східній частині степової зони знижуються до 40-42 °С. В середньому в степовій зоні руйнування стійкого снігового покриву відбувається в кінці лютого - початку березня, в лісостеповій зоні - в середині березня. Середня тривалість періоду із стійким сніговим покривом в лісостепу складає 80-100 днів, а в степовій зоні 60 - 80 днів. Висота снігового покриву змінюється від 115 мм до 20 мм, убування величин йде з півночі на південь [1].

1.4 Гідрологічна вивченість

Для подальшого дослідження були обрані дані по 21 гідрологічному посту у басейні р. Південний Буг. З 21 поста на головній річці розташовано 6 постів, інші на притоках.

Площі водозбору коливаються від 92,5 км^2 (р. Соб – с. Зозів) до 27300 км^2 (р. Південний Буг – с. Олександрівка). Ухил коливається від 0,3 ‰ до 4,0 ‰. Густина річкової мережі Волино-Подільської височини дорівнює 0,7 – 0,8 і 0,3 км/км². Південна степова частина території значно бідніша річками через малу кількість опадів і сухий клімат. Густина річкової мережі складає тут всього 0,1 – 0,3 км/км², а в низов’ях Дністра (по лівобережжю) і Південного Бугу 0,06 – 0,083 км/км²; зустрічаються безстічні простори загальною площею, що перевищує 600 км². Середня висота водозбору у

верхів'ях 500 – 320 м, в пониззі 50 - 20 м. Річкова мережа має розгалужений рисунок; середня густина її близько 0,35 км/км², в басейнах деяких річок перевищує 0,6 – 0,7 км/км² [1].

Заплавні озера в основному малих розмірів, проте, зустрічаються великі в десятки і сотні гектарів; одні з них округлі, овальні, інші — вузькі, витягнуті. Залежно від фази водного режиму глибина їх піддається істотним змінам.

Найбільш повноводні вони навесні, влітку сильно усихають. Проте, в окремих водоймищах навіть влітку зберігаються глибини, що перевищують 10 - 12 м. Дно їх переважно піщане, покрите мулом різної потужності. Фізико-географічні умови не сприяють розвитку боліт в описуваному районі.

Торф'яні болота зустрічаються дуже рідко (заплави Південного Бугу, Інгулу); площа їх від 12 га до 612 га (переважають до 100 га). Максимальна потужність торф'яного покладу 1,5 м, середня - менше 1,0 м [1].

Карта-схема розташування гідрологічних постів зображена на рис. 1.3.

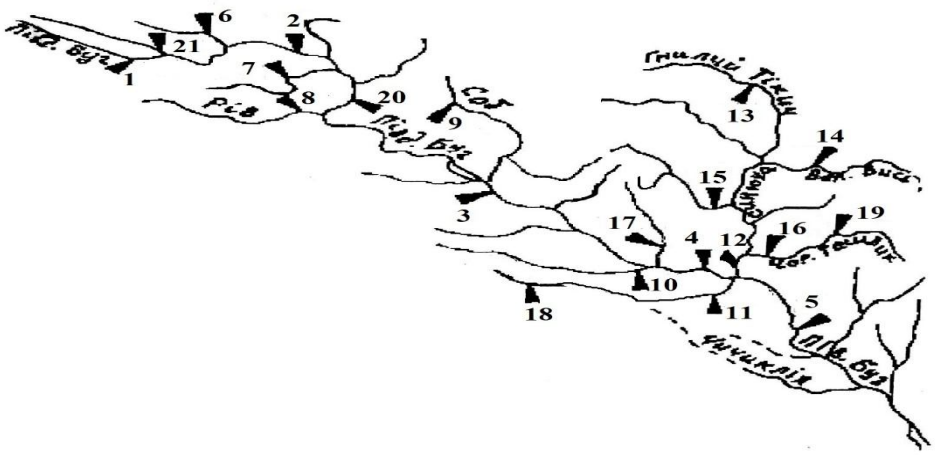

Рисунок 1.3 – Розташування гідрологічних послів в басейні р. Південний Буг

Як видно з рис. 1.3 пости розташовані в басейнах річок нерівномірно.

Основні гідрографічні характеристики басейну р. Південний Буг наведені у табл. 1.1.

З 21 посту на головній річці розташовано 7 постів. Найбільш тривалий період спостережень з 1914 по 2015 рр. відмічений на р.Південний Буг – с.Олександрівка, найбільш короткий (1965 – 1988 рр.) відмічений на р. Чорний Ташлик – с.Піщаний Брід. Найбільша площа водозбору складає 46200 км² на р. Південний Буг – с.Олександрівка, найменша 92,5 км² - на р.Соб – с.Зозів.

Враховуючи вимоги Водної Рамкової Директиви ЄС, Хільчевський В. К. і Гребінь В. В. здійснили ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України [3].

Як відомо, гідрографічна класифікація річок здійснювалася як за довжиною річок, так і за площами їх водозборів. Так, за класифікацією за довжиною річки В. М. Родевича [4] р. Південний Буг відноситься до категорії великих річок.

До Водного кодексу України (1995) і Державного стандарту України ДСТУ 3517-97 «Гідрологія суші. Терміни та визначення основних понять» (1997) входить класифікація за площами водозборів. Також існують класифікації за площами водозборів Р.А. Нежиховського, Г.І. Швебса.

Наведені вище класифікації суттєво відрізняються від типології річок за розмірами згідно ВРД ЄС, тому, впроваджуючи положення ВРД ЄС в Україні, необхідним є здійснення типізації річок районів річкових басейнів, які використовуються у ВРД ЄС. Так, дотримуючись вимог ВРД ЄС була розроблена схема гідрографічного районування території України [5]. В межах території України виділено 9 районів річкових басейнів, серед яких – район річкового басейні Південного Бугу – IV. За класифікацією розмірів річок ВРД ЄС (2000) за площами басейнів, р. Південний Буг відноситься до дуже великих (понад 10 тис. км^2) [3].

Розподіл постів по тривалості спостережень наведений в табл. 1.2, а розподіл за площею водозборів – у табл. 1.3.

Ухили річок коливаються в межах від 0,3‰ до 4,4‰. Залісеність водозборів змінюється від 1% до 19%.

Таблиця 1.1 – Основні гідрографічні характеристики басейну р. Південний Буг

№ поста	Річка – пост	F, км^2	L, км	I, ‰	H, м	$f_б$, %	$f_л$, %
1	Південний Буг - с.Пирогівці	827	76	0,6	320	3	8
2	Південний Буг - с.Лелітка	4000	152	0,3	320	5	8
3	Південний Буг - м.Сабарів	9010	235	0,3	310	6	11
4	Південний Буг – с.Тростянчик	17400	436	0,3	310	4	11
5	Південний Буг - с.Підгір'я	24600	587	0,4	-	3	14
6	Південний Буг – Первомайська ГЕС	27300	-	0,4	-	3	10
7	Південний Буг – Олександрівка	46200	674	0,4	-	2	9
7	Бужок - смт Меджибіж	698	72	0,6	320	7	1
8	Іква - смт Стара Синява	439	45	0,7	310	4	5
9	Згар - смт Літин	692	59	0,7	320	11	13
10	Рів – с.Демидівка	1130	97	0,7	310	4	12
11	Соб - с.Зозів	92,5	13	2,9	290	0	3
13	Савранка - с.Осички	1740	91	1,1	200	2	15
14	Кодима - с.Обжила	145	12	4,0	230	2	19
15	Кодима - с.Катеринка	2390	137	0,6	170	<1	11
16	Синюха - с.Синюхин Брід	16700	99	0,6	190	1	5
17	Гнилий Тікіч – смт Лисянка	1450	82	0,7	210	<1	5

Продовження таблиці 1.1

№ поста	Річка – пост	F, км^2	L, км	I, ‰	H, м	$f_б$, %	$f_л$, %
18	Велика Вись - с.Ямпіль	2820	156	0,3	180	1	3
19	Ятрань - с.Покотилове	2140	99	1,3	200	<1	7
20	Чорний Ташлик – с.Піщаний Брід	1830	66	1,0	200	<1	2
21	Чорний Ташлик - с.Тарасівка	2230	117	0,8	200	<1	2

Таблиця 1.2 – Розподіл постів по тривалості спостережень в басейні р. Південний Буг

Кількість років спостережень					
<20	20 – 40	40 – 60	60 – 80	>80	Усього
0	6	5	9	1	21

Таблиця 1.3 – Розподіл постів по площі водозборів в басейні р. Південний Буг

Площа, км^2				Усього
10-100 малі	100-1000 середні	1000-10000 великі	>10000 дуже великі	21
1	5	10	5	

1.5 Водний режим річки Південний Буг

Водний режим визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території. Досліджуваний район знаходиться в різко змінних кліматичних і орографічних умовах, у зв'язку з чим процеси формування стоку на різних його частинах вельми складні і обумовлюють істотні відмінності у водному режимі.

Літня і зимова межінь на цих річках характеризується стійкістю, маловодністю і значною тривалістю; осінні підйоми спостерігаються після

обложних дощів. Інколи межінь порушується невеликими дощовими паводками. Річний хід рівня на річках різних гідрологічних районів неоднаковий. Ранні терміни початку підйому рівня весняного водопілля випереджають середні на 1 – 1.5 місяця, а пізні запізнюються всього на одиндва тижні.

Водопілля не рідко проходить декількома хвилями, особливо при ранньому скресанні річки і поверненнях холодів. Інколи водопілля ускладнюється і посилюється весняними дощами, і в таких випадках другий пік водопілля значно перевищує перший. Найчастіше найвищими за рік є рівні дощових паводків, і лише в роки із значними снігозапасами і в посушливі роки, коли влітку опадів випадає менше норми, весняний максимум перевищує максимум дощових паводків. Найвищі рівні на малих річках зазвичай у другій - третій декаді березня, на середніх і великих — у 32 кінці березня - початку квітня.

Середня інтенсивність підйому рівня при високому водопіллі на великих і середніх річках досягає 40-150 см/добу, на малих річках - 10-15 см/добу, а при низькому водопіллі всього 5-10 см/добу, весняним водопіллям, що продовжується в середньому близько 1,5-2 місяці, слідують літні паводки. Водність водопілля по роках різна і коливається у великих межах.

Виключно висока повінь спостерігалося в 1932, 1941 і 1956 роках, виключно низьке - в 1936, 1954, 1972, 1975 та 2007 роках [3]. За остаточним спадом рівнів настає період стійкої межені, переривається підйомом рівнів під час проходження літньо-осінніх зливових паводків. В басейні річки Південний Буг спостерігаються зимові паводки, які є наслідком сніготанення та розтину річок під час зимових відлиг. Підйом рівнів у період літніх паводків в окремі роки перевищує їх підйоми в період весняного водопілля [6,7,8].

2 СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Відповідно рекомендаціям СНіП 2.01.14.83, статистичну обробку рядів максимальних витрат води весняного водопілля виконують з використанням методу найбільшої правдоподібності і методу моментів [9].

У гідрології при розрахунках імовірнісних значень статистичних рядів найчастіше спираються на біноміальний і трьохпараметричний гама-розподіл. І той, й інший передбачають наявність трьох статистичних параметрів: середнього значення вибірки, коефіцієнтів варіації і асиметрії. Моменти вищих порядків, через великі похибки їх обчислення, при коротких рядах зазвичай не використовуються.

Оскільки матеріали вимірювання стоку завжди обмежені, а, згідно граничних теорем розподілу, для отримання параметрів потрібні нескінченно довгі сукупності, то в практичних розрахунках обчислюються не самі параметри, а їх наближені значення – оцінки [10].

2.1 Метод моментів

При описанні властивостей статистичних сукупностей використовуються моменти двох видів: початкові та центральні.

Початковим моментом s-го порядку α дискретної випадкової величини X є сума

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^{n} x_i^s p_i \,. \tag{2.1}$$

Для безперервної випадкової величини сума (2.1) виражається через інтеграл

$$\alpha_s = \int_{-\infty}^{\infty} x^s f(x)dx. \qquad (2.2)$$

Якщо прийняти $s = 1$, то (2.1) набуде вигляду

$$\alpha_1 = m_x = \sum_{i=1}^{n} x_i p_i . \qquad (2.3)$$

Центральним моментом дискретних випадкових величин називається математичне очікування

$$\beta_s = \frac{\sum_{i}^{n} (x_i - m_x)^s p_i}{n}. \qquad (2.4)$$

Для емпіричних розподілів замість m_x використовується $\bar{x}$, а

$$\beta_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^s . \qquad (2.5)$$

При $s = 1$

$$\beta_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \bar{x} = 0, \qquad (2.6)$$

тобто перший центральний момент дорівнює нулю.

При $s = 2$

$$\beta_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^2 . \qquad (2.7)$$

Другий центральний момент характеризує розсіювання випадкової величини відносно середнього та носить назву дисперсії D_x. Квадратний корінь з дисперсії, співпадаючий за розмірністю з ознакою випадкової величини, називається середнім квадратичним відхиленням або стандартом:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}} . \qquad (2.8)$$

За наявності обмежених вибірок, а вони найчастіше в гідрології не виходять за межі 40-50 років другий центральний момент має від′ємний зсув (систематичне заниження). Для його усунення в (2.8) вводиться поправка, з урахуванням якої отримують більш загальний вираз для σ_x

$$\sigma_x = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2 /(n-1)} . \qquad (2.9)$$

Для порівняння мінливості різномасштабних випадкових величин приймають безрозмірний параметр, що отримав назву коефіцієнта варіації або мінливості:

$$C_v = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(K_i - 1)^2 /(n-1)} . \qquad (2.10)$$

При $s = 3$

$$\beta_3 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3 . \qquad (2.11)$$

Третій центральний момент характеризує ступінь несиметричності розподілу випадкової величини відносно математичного очікування. Будучи непарним, третій центральний момент може бути як додатним, так і від′ємним. Якщо β_3=0, то крива стає симетричною [11].

Нормування дозволяє отримати безрозмірний параметр статистичного розподілу, названий коефіцієнтом асиметрії.

$$C_s = \beta_3 / \sigma_x^3 = \left[\sum_{i=1}^{n} (x_i - \bar{x})^3 \right] / (n\sigma_x^3). \qquad (2.12)$$

Винісши за дужки x^3 та поділив на цю величину чисельник і знаменник, отримаємо

$$C_s = \frac{\left[\sum_{i=1}^{n} (K_i - 1)^3 \right]}{nC_v^3}. \qquad (2.13)$$

Як і C_v, параметр C_s є зміщеною оцінкою. У простому випадку від′ємна зміщеність може бути усунена шляхом введення в (2.13) поправки, запропонованої Є.Г. Блохіновим: $\delta_s = n^2 / [(n-1)(n-2)]$.

При $C_s > 0$ крива розподілу випадкової величини має додатну асиметрію, при $C_s < 0$ - від′ємну, а при $C_s = 0$ розподіл є симетричним.

2.2 Метод найбільшої правдоподібності

Метод найбільшої правдоподібності був запропонований С.Н. Крицьким та М.Ф. Менкелем. Розрахунок статистичних параметрів за цим

методом більш складний. Тому для спрощення розрахунків Є.Г. Блохінов запропонував спочатку обчислювати параметри:

$$\lambda_1 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i; \tag{2.14}$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} lg\, K_i; \tag{2.15}$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} K_i\, lg\, K_i\,. \tag{2.16}$$

Як видно з рівняння (2.15), параметр λ повністю співпадає з середнім арифметичним $\bar{x}$ в методі моментів. Коефіцієнти мінливості C_v та асиметрії C_s встановлюються за спеціально складеними для цих цілей номограмами. Метод найбільшої правдоподібності рекомендується для визначення параметрів, коли використовується крива трипараметричного гама-розподілу, а також заслуговує на перевагу при $C_v > 0.5$. При $C_v < 0.5$ метод найбільшої правдоподібності та моментів приводять практично до однакових результатів [12].

2.3 Оцінка точності вихідних даних по максимальному стоку

Для об’єктивної оцінки точності обчислення максимальних витрат Qp необхідно визначити їх середню квадратичну похибку. Середня квадратична похибка квантилів визначена за допомогою кривої Пірсона III типу, виходячи з двох перших вибіркових статистичних моментів і заданого співвідношення між коефіцієнтами варіації і асиметрії по методиці Г.А. Алексєєва [10].

$$\sigma_{Q_{1\%}} = \frac{100}{Q_{1\%}} \sqrt{\left(1 + C_v \Phi_{p1\%}\right)^2 \frac{C_v{}^2 Q_m^2}{n} + \left(\Phi_{p1\%} + C_s \frac{\partial \Phi_{p1\%}}{\partial C_s}\right. \cdot Q_m^2 C_v^2 \cdot \left(\frac{C_v^2}{n} + \frac{1+0{,}75 C_s^2}{2n} - \frac{C_s C_v}{n}\right)} \quad (2.17)$$

де n – кількість років спостережень

$\frac{\partial \Phi_{p1\%}}{\partial C_s}$ – похідна, яка приблизно може бути обчислена за формулою

$$\frac{\partial \Phi_{p1\%}}{\partial C_s} = \frac{\Phi_{p1\%}(P, C_s + \partial C_s) - \Phi_{p1\%}(P, C_s)}{\partial C_s} \quad (2.18)$$

З допомогою сусідніх значень Ф(P, Cs) і Ф(P,Cs + ∂Cs) в таблиці нормованих квантилів кривої Пірсона III типу для гама-розподілу при використанні методу моментів середню квадратичну похибку квантилів визначають за формулою:

$$\sigma_{Q_p} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{K_p^2 + \frac{1+3C_v}{2} \left(\frac{\partial K_p}{\partial C_v}\right)^2} \quad (2.19)$$

У разі використання методу найбільшої правдоподібності:

$$\sigma_{Q_p} = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \sqrt{K_p^2 + \frac{3}{2C_v + 3C^2{}_v} \left(\frac{\partial K_p}{\partial C_v}\right)^2} \quad (2.20)$$

Кр – нормовані ординати кривої розподілу вірогідністю перевищення Р, в %;

С.Н. Крицький і М.Ф. Менкель розробили номограми для визначення ідносної стандартної похибки квантилів трипараметричного гама-розподілу із закріпленими відношеннями Cs/Cv [12]. Таким чином, визначивши величину Еσ по номограмі, знайдемо відносну середню квадратичну похибку квантилів Q_p по формулі:

$$\frac{\sigma}{Q_p} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} * 100 \quad (2.22)$$

3 СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА ЧАСОВИХ РЯДІВ ДАНИХ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

Визначення числових характеристик випадкових величин є найважливішим етапом статистичного аналізу. Перед початком подальших досліджень необхідно виконати статистичну обробку часових рядів даних максимального стоку весняного водопілля.

3.1 Визначення статистичних характеристик стоку в басейні р. Південний Буг від початку спостережень до 2015 р.

На першому етапі дослідження були розраховані статистичні параметри характеристик максимального стоку весняного водопілля для басейну р. Південний Буг, а саме: кількість років спостережень (n), шари стоку ($\bar{Y}$, мм) та витрати води (Q, м^3/с), коефіцієнти варіації (Cv) і коефіцієнти асиметрії (Cs).

Статистичні параметри були розраховані за методом моментів і методом найбільшої правдоподібності.

Розраховані статистичні параметри для витрат води за весь період спостережень наведені в дод. А1.

Коефіцієнти варіації (Cv), розраховані за методом моментів, коливаються від 0,90 (р. Ров – с. Демидівка) до 2,29 (р. Кодима – с. Катеринка); коефіцієнти асиметрії (Cs) коливаються від 1,77 (р. Ров – с. Демидівка) до 4,95 (р. Кодима – с. Катеринка). Коефіцієнти варіації (Cv), розраховані за методом найбільшої правдоподібності, коливаються від 0,91 (р. Ров – с. Демидівка) до 1,76 (р. Ятрань – с. Покотилово). Середнє значення коефіцієнту варіації (Cv) складає 1,30 за методом моментів і 1,35 за методом найбільшої правдоподібності.

Розраховані статистичні параметри для шарів стоку за весь період спостережень наведені в дод. А2.

Коефіцієнти варіації (Cv), розраховані за методом моментів, коливаються від 0,57 (р. Південний Буг – с. Пирогівці) до 1,24 (р. Кодима – с. Катеринка); коефіцієнти асиметрії (Cs) коливаються від 0,69 (р. Південний Буг – с. Сабарів) до 4,08 (р. Кодима – с. Катеринка). Коефіцієнти варіації (Cv), розраховані за методом найбільшої правдоподібності, коливаються від 0,58 (р. Південний Буг – с. Пирогівці) до 1,30 (р. Кодима – с. Катеринка). Середнє значення коефіцієнту варіації (Cv) складає 0,84 за методом моментів і 0,85 за методом найбільшої правдоподібності.

Як видно з дод. А1 і А2, розраховані статистичні параметри відрізняються незначно, але за рекомендаціями СНіП 2.01.14.83 при Cv > 0,5 для подальших розрахунків використовуємо статистичні параметри, розраховані за методом найбільшої правдоподібності [13].

3.2 Визначення можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля за різні часові періоди р. Південний Буг. Порівняння статистичних характеристик стоку в басейні р. Південний Буг розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989р. та від початку спостережень до 2015 р.

Гідрологічна вивченість водних ресурсів України а також басейну р. Південний Буг в умовах кліматичних змін недостатня для прийняття обґрунтованих рішень які стосуються розрахунків характеристик максимального стоку.

Вперше просторово-часове узагальнення змін кліматичних та гідрологічних характеристик у межах усієї України виконав В.В. Гребінь на основі проведеного ним ландшафтно-гідрологічного районування. Також В.В. Гребінь виділив 1989 рік як межу, з якої почалися значущі зміни у коливаннях стоку. Відомо, що для річок Причорноморської низовини з 1989 по 2008 рр. відбулося збільшення середніх багаторічних величин опадів на

3%, середні багаторічні температури повітря зросли на 0,8 ºС [14]. При цьому визначено зменшення середніх багаторічних величин річного стоку до 10% та максимального стоку до 60-70%. Показники мінімального стоку річок навпаки зростають у 1,5-2,0 рази [15].

Безумовний інтерес представляє аналіз можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг. Важливе питання полягає в тому, якою мірою відрізняються результати статистичної обробки даних по рядах спостережень (за витратами води і шарами стоку) до 1989 р. і до 2015р. Це дозволить визначити, як ці розбіжності можуть вплинути на характеристики максимального стоку весняного водопілля, а саме максимальні витрати води і шари стоку [14].

Була проведена статистична обробка даних шарів стоку і витрат води весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р. Результати статистичної обробки часових рядів даних витрат води наведені в дод. А3, а шарів стоку – в дод. А4.

Графік порівняння середніх багаторічних шарів стоку весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р. наведений в дод. А5.

Рівняння кореляційного зв’язку має вигляд:

$$Y_{2015} = 0{,}84Y_{1989} \tag{3.1}$$

З формули (3.1) видно, що значення шарів стоку, розрахованих по 2015 менші за значення шарів стоку, що розраховані по 1989 р. на 16 %.

Далі виконане порівняння коефіцієнтів варіації шарів стоку весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р. Графік наведений у дод. А6.

Рівняння кореляційного зв’язку має вигляд:

$$Cv_{2015} = 1{,}19Cv_{1989} \tag{3.2}$$

З формули (3.2) видно, що значення коефіцієнтів варіації шарів стоку, розрахованих по 2015 р. більші за значення коефіцієнтів варіації шарів стоку, що розраховані по 1989 р. на 19 %.

Також був побудований графік порівняння витрат води, розрахованих до 1989 р. і до 2015 р. Графік наведений у дод. А7.

Рівняння кореляційного зв'язку має вигляд:

$$Q_{2015} = 0{,}80Q_{1989} \tag{3.3}$$

Очевидно, що значення витрат води, розрахованих по 2015 р. менші за значення шарів стоку, що розраховані по 1989 р. на 20 %.

Як і для коефіцієнтів варіації шарів стоку, для коефіцієнтів варіації витрат води весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р. був побудований графік порівняння, наведений в дод. А8.

Рівняння кореляційного зв'язку має вигляд:

$$Cv_{2015} = 1{,}11Cv_{1989} \tag{3.4}$$

З формули (3.4) видно, що значення коефіцієнтів варіації витрат води, розрахованих по 2015 р. більші за значення коефіцієнтів варіації витрат води, що розраховані по 1989 р. на 11%. Проаналізувавши рівняння кореляційного зв'язку (3.1 – 3.4) можна зробити висновок, що для подальших розрахунків можна використовувати дані про шари стоку, витрати води, коефіцієнти варіації шарів стоку і витрат води як до 1989 р. так і до 2015 р. [14].

3.3. Розрахунок максимальних шарів стоку весняного водопілля басейна р. Південний Буг різної забезпеченості (P=1,3,5,10%)

Розрахунок максимальних шарів стоку весняного водопілля різної забезпеченості (P=1,3,5,10%) виконується за допомогою кривої

трипараметричного гама розподілу. Дана крива представляє більш загальний випадок розподілу, який відповідає стоковим рядам при будь-яких відношеннях C_v та C_s. Така властивість трипараметричного гамма-розподілу виключає область від'ємних значень при екстраполяції емпіричних кривих забезпеченості в нижній частині. Відмічена універсальність досягається завдяки заміни признака розподілу x через нову перемінну Z [12].

$$Z=bx^{c}, \tag{3.5}$$

де b та c- параметри функції.

При C_s=2Cv криві Пірсона III типу та трипараметричного розподілу співпадають, при цьому новий закон називається гамма-розподілом та описується рівнянням

$$F(z)=a^{\alpha}z^{\alpha-1}-\frac{e^{-az}}{\Gamma(\alpha)}, \tag{3.6}$$

де *a*- параметр,який дорівнює I/C_{vz}^{2}, а *Г(a)*- гамма-функція, або інтеграл Ейлера другого роду:

$$\Gamma(a)=\int_{0}^{\infty} z^{\alpha-1}\, e^{-z} dz. \tag{3.5}$$

Різниця між (3.2) та (3.3) при C_s=2C_v пояснюється тільки тим, що при виводі рівняння (3.1) відлік ведеться не від модального значення, а від початку кривої розподілу, тобто при цьому признак розподілу завжди знаходиться в області плюсових значень [13].

Якщо C_s відрізняється від 2C_v, то (3.1) перетворюється в рівняння трипараметричного гамма-розподілу

$$f(z) = \frac{\beta^{\alpha} z^{\alpha-1} e^{-\beta z}}{\Gamma(\alpha)}, \tag{3.6}$$

Параметри β та a зв'язані з параметрами C_S та C_V

$$\alpha = 4/C_{vz}^2 \text{ и } \beta = \frac{2}{C_{sz} C_{vz}}. \tag{3.7}$$

При $\alpha = \beta$, що є C_s=2C_v, рівняння (3.5) зводиться до (3.7).

За допомогою СНіП 2.01.14.83 були визначені модульні коефіцієнти $k_{1\%}$, $k_{3\%}$, $k_{5\%}$, $k_{10\%}$ і розраховані шари стоку забезпеченістю 1%, 3%, 5%, 10%. Розрахунок максимальних шарів стоку весняної повені басейна р. Південний Буг різної забезпеченості (P=1,3,5,10%) для трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля [13] наведені в дод. Б1.

Ці визначені шари стоку різної забезпеченості можуть використовуватись в подальшому для розрахунків максимальних шарів стоку весняного водопілля.

3.4 Порівняння максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості в басейні річки Південний Буг, розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989 р. та від початку спостережень до 2015 р.

Для подальших розрахунків було виконане порівняння 1%-х шарів стоку весняного водопілля, розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989 р. та від початку спостережень до 2015 р. (Дод. Б2).

Графік порівняння наведений в дод. Б3.

Рівняння кореляційного зв’язку має вигляд:

$$Y_{1\%\ 2015} = 0{,}80 Y_{1\%\ 1989} \tag{3.8}$$

З формули (3.8) видно, що значення 1%-х шарів стоку весняного водопілля, розрахованих по 2015р. менші за значення шарів стоку, що розраховані по 1989р. на 20%.

Як відомо, для максимального стоку допустима похибка складає 15-20%, що пояснюється недостатньою точністю вхідних даних, тому, для подальших розрахунків можна використовувати дані про 1%-і шари стоку весняного водопілля як до 1989 р. так і до 2015 р. [13].

4 ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Всі сучасні методи, формули і розрахункові схеми для розрахунків максимальних характеристик стоку можна умовно розділити на дві групи.

До першої відносяться ті, які побудовані на основі схематизації гідрографів схилового та руслового стоку. Другу групу складають методи, що спираються на спрощену гідромеханічну теорію формування максимального стоку. На практиці, при розрахунку максимальних витрат води весняної повені найбільше розповсюдження знайшли формули першої групи. Вихідним є рівняння, яке витікає з гідрометричної схематизації гідрографів стоку по нелінійному трикутнику:

$$Q_{max} = \frac{K_{\text{ф}} W_n}{T_n}, \tag{4.1}$$

де Q_{max} – максимальна витрата води;

$K_{\text{ф}}$ – коефіцієнт, що залежить від форми руслового гідрографа;

T_n – тривалість повені;

W_n – об’єм руслового стоку.

Спочатку приведемо його до вигляду:

$$Q_{max} = \frac{K_{\text{ф}}}{K'_{\text{ф}}} \cdot \frac{K'_{\text{ф}}}{T_0} \cdot \frac{Y_{max}}{\left(1+\frac{tp}{T_0}\right)} K_n, \tag{4.2}$$

де Y_{max} – шар стоку за водопілля;

$K_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}$ – коефіцієнт трансформації водопілля під впливом tp;

T_0 – тривалість схилового припливу.

Далі праву частину (4.2) ділимо на F, тоді

$$q_{max} = \frac{K_{\Phi}}{K'_{\Phi}} \cdot \frac{K'_{\Phi}}{T_0} \cdot \frac{Y_{max}}{\left(1+\frac{tp}{T_0}\right)} K_n, \tag{4.3}$$

З (4.3) в окремих допущеннях можна отримати відомі структурні вирази.

Якщо тривалість припливу води з схилів в руслову мережу T_0 по території змінюється незначно і її можна усереднити, то редукційні коефіцієнти $\frac{K_{\Phi}}{K'_{\Phi}} \cdot \frac{Y_{max}}{\left(1+\frac{tp}{T_0}\right)}$ можна інтегрально описати розмірами водозборів, тобто:

$$\frac{K_{\Phi}}{K'_{\Phi}} \frac{1}{\left(1+\frac{tp}{T_0}\right)} K_n = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}, \tag{4.4}$$

З урахуванням (4.3):

$$q_{max} = \frac{K'_{\Phi}}{T_0} \cdot \frac{Y_{max}}{(F+1)^{n_1}}, \tag{4.5}$$

Відношення $\frac{K'_{\Phi}}{T_0}$ характеризує ступінь трансформації гідрографа схилу. Позначивши його через K_0, запишемо (4.5) у вигляді:

$$q_{max} = \frac{K_0 Y_{max}}{(F+1)^{n_1}}, \tag{4.6}$$

Параметри формули (4.6) таким чином фізично достатньо чітко визначені і можуть бути отримані безпосередньо по матеріалам гідрометричних вимірювань. Для цього необхідно ліву і праву частину розділити на Y_{max}, а потім прологарифмувати. За умови, що рівняння (4.6) повною мірою описує закономірність убування максимального модуля стоку зі збільшенням водозбірної площі, параметри K_0 і n_1 визначаються

графічним шляхом на основі лінійних зв'язків $\lg\left(\frac{q_{max}}{Y_{max}}\right) = f[\lg(F+1)]$. Причому, n_1 є тангенсом кута нахилу лінії зв'язку до осі абсцис, а K_0 – відрізок, що відсікається на осі ординат при F$\rightarrow 0$.

Проте, рівняння (4.6) не повною мірою задовольняє наявним матеріалами при одному фіксованому n_1. Має місце різний характер редукції на малих і великих водозборах. Щоб додати рівнянню (4.6) більшу універсальність, проводиться диференціація степеневого показника, починаючи з деякої величини F_0. Можливий і інший спосіб врахування уповільнення редукції відношення q_{max}/Y_{max} в області малих площ, пов'язаний з введенням в знаменник F_0. Додаткова площа підбирається з таким розрахунком, щоб логарифмічна залежність у всьому діапазоні вирівнювала емпіричну редукційну криву [9,15].

Якщо по теорії, окрім T_0, несуттєво змінюється і шар стоку Y_{max}, то вираз (4.6) спроститься до рівня:

$$q_{max} = q'_{max}(F+1)^{n_1}, \tag{4.7}$$

4.1 Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості у просторі

У гідрологічних розрахунках використовується велика кількість методик визначення характеристик стоку при відсутності даних спостережень. Всі ці методики спираються на просторові узагальнення параметрів розрахункових формул. Обмеженість у часі наявних спостережень по більшості рядів стоку річок України породжує статистичну нестійкість параметрів, яку можна ефективно компенсувати за рахунок додаткової інформації про просторові закономірності розподілу розглядуваних характеристик річного стоку. Для підвищення надійності оцінок статистичних параметрів за вибірковими даними рекомендується

виконувати їх просторове узагальнення – це побудова карти ізоліній досліджуваної величини або побудова карти районів. Будуються карти за даними вивчених річок з вимогами точності обчислювання стоку. Враховуючи істотний вплив на річковий стік малих річок місцевих та антропогенних факторів, при складанні карт використовують тільки репрезентативні матеріали [16].

Принципова можливість побудови карт річного стоку випливає безпосередньо з рівняння водного балансу. Кліматичні фактори: опади, температура та вологість повітря до 80-х років минулого сторіччя не підлягали антропогенній дії у масштабах річкових водозборів. На відміну від метеорологічних величин, які належать до тієї точки простору, в якій вони виміряні, стокові величини мають інтегральний характер. Вони відносяться не до місця вимірювання стоку, а до центра ваги водозбору:

$$\bar{Y} = \frac{\bar{Y}_1 f_1 + \bar{Y}_2 f_2 + \ldots + \bar{Y}_n f_n}{f_1 + f_2 + \ldots + f_n}, \qquad (4.8)$$

де $\overline{Ym}$ – середньозважене значення шару стоку для досліджуваного водозбору;

$\bar{Y}_1, \bar{Y}_2 \ldots \bar{Y}_n$ – середні значення шару стоку між суміжними ізолініями;

$f_1, f_2 \ldots f_n$ – площі між відповідними ізолініями стоку.

Для врахування місцевих факторів (розмір водозбору, лісистість, заболоченість та ін.) запропоновані таблиці відповідних поправок. У гірських районах, де, як правило, має місце висотна поясність у зміні річного стоку, спостерігається зростання шарів стоку з висотою, тому розрахункові схеми базуються на залежності $\overline{Ym}$ від середньої висоти $H_{сер}$ водозбору. Таким чином, при відсутності даних спостережень СНіП 2.01.14-83 рекомендує для рівнинних територій використовувати карти ізоліній річного стоку, а для гірських – залежності виду $\overline{Ym} = f(H)$. Якщо досліджуваній водозбір розміщується між двома ізолініями, то шар стоку визначається шляхом інтерполяції між значеннями двох ізоліній. Можливе

використання регіональних методик, в яких шар стоку розраховується за рівнянням парної або множинної регресії, де в якості аргументів виступають показники стокоформуючих факторів (координати центру тяжіння водозбору, площа водозбору, залісеність, заболоченість, середня висота водозбору) [17].

4.1.1 Вплив місцевих факторів і географічної широти центрів тяжіння водозборів на 1%-і шари стоку в весняного водопілля басейні р. Південний Буг

Для визначення впливу місцевих факторів та висоти водозборів необхідно спочатку виключити вплив широтного положення водозборів. Для цього будується залежність $Y_{1\%} = f(\varphi = 49°)$, показана в дод. В1.

З дод. В1 видно, що 1%-і шари стоку водопілля підкорюються досить чіткій широтній закономірності (r = 0,71), причому, зі збільшенням широтного положення водозборів, 1%-і шари стоку також збільшуються:

$$Y_{1\%} = Y_{\varphi=49°} + 30{,}2(\varphi° - 49) \tag{4.9}$$

Отримана залежність дозволяє привести всі ці дані до однієї широти (49° пн.ш.), тобто

$$Y_{1\%\,\varphi=49} = Y_{1\%} + 30{,}2(\varphi° - 49) \tag{4.10}$$

Де $Y_{1\%\,\varphi=49}$ – приведені до широти 49° пн.ш. значення 1%-го шару стоку. Розрахунок $Y_{1\%\,\varphi=49}$ наведений в дод. В7.

Далі значення $Y_{1\%\,\varphi=49}$ використовуються для побудови залежності 1%-х шарів стоку від середньої висоти водозборів $Y_{1\%\,\varphi=49} = f(\text{Hср})$, наведеної у дод. В2. Як видно з графіку, залежність 1%-х шарів стоку від середньої висоти водозборів незначна, про що свідчить коефіцієнт кореляції r = 0,02. Також

значення $Y_{1\%\,\varphi=49}$ використовуються для побудови залежності 1%-х шарів стоку від залісеності $Y_{1\%\,\varphi=49} = f(\log(f_л + 1))$, наведеної у дод. В3. Як видно з графіку, залежність 1%-х шарів стоку від залісеності водозборів також незначна, про що свідчить коефіцієнт кореляції r = 0,17 [18,19].

Також була побудована залежність 1%-х шарів стоку від заболоченості водозборів $Y_{1\%\,\varphi=49} = f(\log(f_б + 1))$, наведена у дод. В4. Як видно з графіку, залежність 1%-х шарів стоку від заболоченості водозборів також незначна, про що свідчить коефіцієнт кореляції r = 0,11.

За допомогою графіків залежності визначено, що спостерігається залежність 1%-их шарів стоку від географічної широти центрів тяжіння водозборів. Коефіцієнт кореляції статистично значущий, і складає r = 0,72 що дозволяє будувати карти ізоліній стоку [20].

4.1.2 Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості в басейні річки Південний Буг

Враховуючи доволі чітку залежність 1%-их шарів стоку весняного водопілля ($Y_{1\%}$, мм) від географічної широти центрів тяжіння водозборів (φ° пн.ш), побудована карта ізоліній 1%-их шарів стоку весняного водопілля, наведена на рис. 4.1. Ізолінії проведені через 20 мм. Шари стоку зменшуються з півночі на південь від 120 мм до 60 мм, що відповідає загальній географічній зональності. Точність розрахунку максимальних шарів стоку за картою ізоліній можна визначити за методикою наданою у СНіП 2.01.14-83, як відносне середнє відхилення розрахункових значень від фактичних за формулою [19]:

$$\Delta = \frac{|Y_{1\%\,р} - Y_{1\%\,ф}|}{Y_{1\%\,ф}} \cdot 100\% \qquad (4.11)$$

Розраховані значення були порівняні з фактичними, знятими з карти. Відхилення розрахункових значень від фактичних були зведені до дод. В5. Середня похибка карти 1%-х шарів стоку весняного водопілля дорівнює 5,67%, завдяки чому можна зробити висновок, що побудовані карти можна використовувати для визначення 1%-х шарів стоку при відсутності спостережень [13].

4.2 Розрахунок модулів максимального стоку весняного водопілля

Наступним етапом роботи було визначення параметрів часових рядів спостережень. За статистичними даними за допомогою СНіП 2.01.14-83 були розраховані перехідні коефіцієнти і витрати води одновідсоткової забезпеченості, максимальні модулі стоку та інші параметри.

Розрахунок параметрів часових рядів спостережень наведений в дод. Г1. За даними дод. Г1 побудована залежність $lg_{q1\%}$ = flg (F+1) (дод. Г2).

По залежності, наведеній в дод. Г2 визначили коефіцієнт n_1 = 0,29 [13].

Після визначення коефіцієнта n_1 можливо скористатися формулою (4.7), за допомогою якої були розраховані максимальні модулі схилового припливу $q'_{1\%}$, м^3/с км^2 для кожного часового ряду спостережень. Розраховані модулі схилового припливу занесені в дод. Г3.Наступним етапом була проведена оцінка модулів максимального стоку, розрахованих, користуючись даними про модулі схилового припливу. Як видно з дод. Г4, спостерігається надзвичайно висока похибка при розрахунку ($\Delta q_{1\%\,сер}$ = 48 %).

Щоб визначити причину такої похибки була побудована залежність максимальних модулів схилового припливу від географічної широти водозборів, наведена в дод. Г5. Як видно з графіка, наведеного в дод. Г5, залежність модулів схилового припливу від географічної широти центру тяжіння водозборів відсутня, тому спостерігається така похибка розрахунку, і тому неможливо провести картування максимальних модулів схилового припливу 1%-ї забезпеченості.

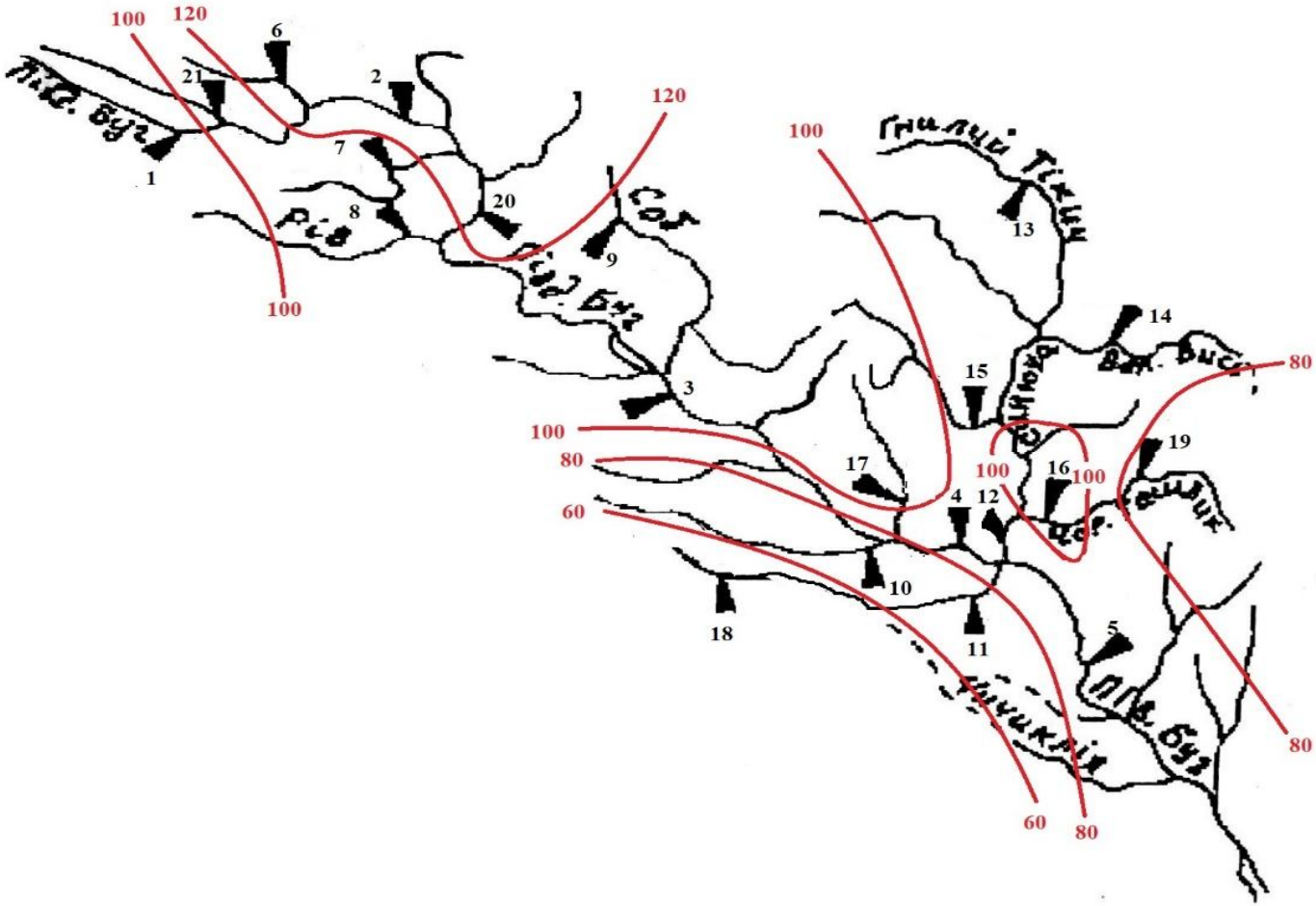

Рисунок 4.1 – Карта ізоліній шарів стоку 1%-ї забезпеченості в басейні р. Південний Буг

4.3 Просторове узагальнення модулів схилового припливу весняного водопілля річок басейну р. Південний Буг 1%-ї забезпеченості

Можливі два підходи до просторового узагальнення модулів схилового припливу весняного водопілля (дощових паводків): картування або районування. У гідрологічній практиці, у тому числі й у нормативних документах головним чином використовується перший підхід. Оскільки розподіл тепла і вологи в рівнинних умовах визначається широтним положенням об'єктів, спочатку досліджується залежність розрахункових модулів схилового припливу від широти геометричних центрів водозборів.

Через те, що неможливо з достатньою точністю визначити розрахункові модулі стоку за розрахунковою формулою і за допомогою модулів схилового припливу, знятих з карти, було прийняте рішення визначати модулі стоку за допомогою двох параметрів – розрахункових шарів стоку $Y_{1\%}$і коефіцієнтів K_0, користуючись формулою (4.6).

Одновідсоткові шари стоку таким чином можуть бути визначені за допомогою карти, а коефіцієнти K_0, визначаються за формулою (4.12).

$$K_0 = \frac{q_{ф1\%}}{Y_{1\%}}(F+1)^{0,29} \qquad (4.12)$$

Де $q_{ф1\%}$ - фактичні значення одновідсоткового модуля стоку;

$Y_{1\%}$ - шари стоку, зняті з карти.

Розрахунок модулів стоку за двома параметрами наведений в формулі 4.3.

$$q_{1\%} = \frac{1,27\,Y_{1\%}}{(F+1)^{0,29}} \qquad (4.13)$$

Де 1,27 – загальний коефіцієнт трансформації стоку для всього басейну, визначається як антилогарифм степеня 0,29;

$Y_{1\%}$ - шари стоку, зняті з карти.

Розрахунок K_0 і модулів стоку наведений в дод. Г6.

Для можливості подальшого використання коефіцієнту K_0 потрібно визначити його залежність від географічної широти центрів тяжіння водозборів. Графік залежності наведений в дод. Г7.

Як видно з дод. Г7, спостерігається більша залежність коефіцієнту K_0 від географічної широти центрів тяжіння водозборів (r = 0,40), ніж модулів схилового припливу.

Для визначення модулів стоку 1%-ї забезпеченості за допомогою двох параметрів – 1%-х шарів стоку і коефіцієнту K_0 для недосліджених річок потрібно побудувати карту ізоліній коефіцієнту K_0. Побудована карта наведена на рис. 4.2.

Ізолінії проведені через 0,005 і збільшуються з заходу на південний схід від 0,005 до 0,030.

Точність розрахунку коефіцієнтів трансформації стоку за картою ізоліній можна визначити, як відносне середнє відхилення розрахункових значень від фактичних за формулою [4.14]:

$$\Delta = \frac{\left| K_{0\,р} - K_{0\,ф} \right|}{K_{0\,ф}} \cdot 100\% \qquad (4.14)$$

Розраховані значення були порівняні з фактичними, знятими з карти. Відхилення розрахункових значень від фактичних були зведені до дод. Г8. Середня похибка карти ізоліній коефіцієнтів трансформації стоку дорівнює 12,9 %, завдяки чому можна зробити висновок, що побудовану карту можна використовувати для визначення коефіцієнтів трансформації стоку при відсутності спостережень

Таким чином, для розрахунку максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості можливо скористатися формулою (4.6), підставивши в чисельник коефіцієнт трансформації стоку (K_0) і

максимальні шари стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості ($Y_{1\%}$, мм) зняті з карти.

4.4. Оцінка методики розрахунків максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-імовірності перевищення

Для виконання оцінки методики і перевірки розрахунків потрібно зняти з карти ізоліній шарів стоку 1%-ї забезпеченості і з карти ізоліній коефіцієнту трансформації стоку значення шарів стоку ($Y_{1\%}$, мм) і коефіцієнтів трансформації стоку (K_0) відповідно для кожного поста.

Ці зняті значення підставляються в формулу (4.6). Ступінь редукції приймається з дод. Г2 (n_1 = 0,29).

Виконаний розрахунок наведений в дод. Г9.

Як видно з дод. Г9, середня похибка розрахунку ($\Delta q_{1\%}$) = 12,9 %. Похибка становить менше 15-20 %, що дозволяє користуватися запропонованою методикою [13].

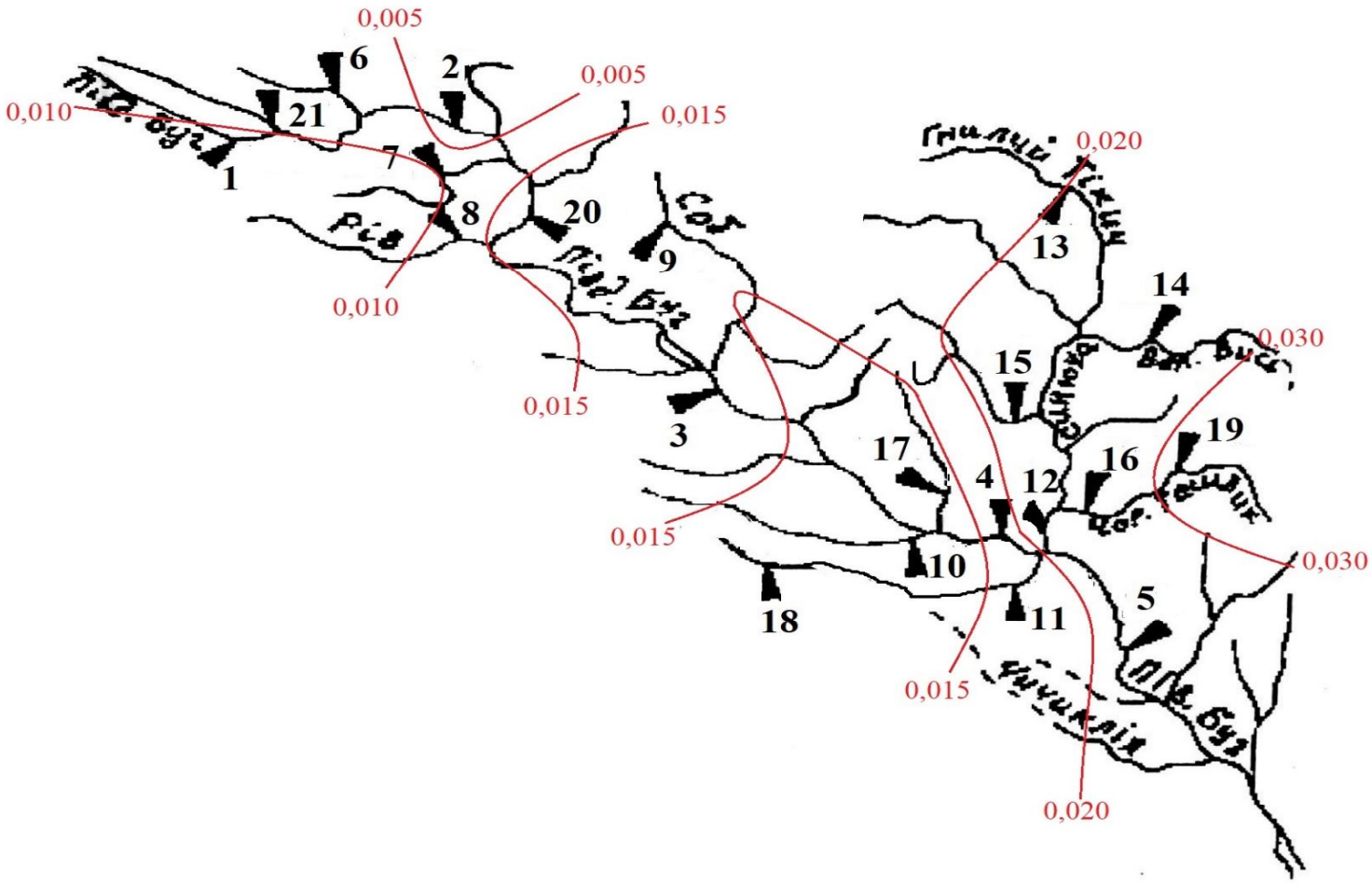

Рисунок 4.2 – Карта ізоліній коефіцієнту трансформації стоку

ВИСНОВКИ

При виконанні магістерської кваліфікаційної роботи було виконане узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості і розроблена методика розрахунку максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості.

Були обрані дані максимальних шарів стоку і витрат води весняного водопілля по 21 гідрологічному посту, розташованому у басейні р. Південний Буг.

Були визначені статистичні характеристики максимальних шарів стоку і витрат води весняного водопілля від початку спостережень до 2015р.

Було проведено визначення змін характеристик максимального стоку за різні часові періоди. Виконане порівняння статистичних характеристик, розрахованих від початку спостережень до 1989 р., та від початку спостережень до 2015 р. Різниця складає 15-20%. Також було виконане порівняння 1%-х витрат води та шарів стоку до 1989 р. та до 2015 р. Різниця також не перевищила 20%, тому було прийняте рішення про використання цілого ряду спостережень за витратами води та шарами стоку.

Визначені шари стоку забезпеченістю 1%, 3%, 5%, 10%.

Проведене узагальнення шарів стоку у просторі, для чого спочатку був виключений вплив широтного положення водозборів і приведення 1%-х шарів стоку до однієї широти (49° пн.ш.).

Наступним етапом було виконане визначення впливу висоти водозборів, залісеності і заболоченості на 1%-і шари стоку, приведені до однієї широти. Через значну залежність 1%-х шарів стоку ($Y_{1\%}$, мм) від географічної широти, була побудована карта ізоліній 1%-х шарів стоку. Ізолінії проведені через 20 мм. Середня похибка карти 1%-х шарів стоку весняного водопілля склала 6%, завдяки чому можна зробити висновок, що

побудована карта може бути використана для визначення 1%-х шарів стоку за відсутності спостережень.

Наступним етапом був проведений розрахунок максимальних модулів стоку з метою їх подальшого узагальнення. Спочатку були розраховані перехідні коефіцієнти і витрати води одновідсоткової забезпеченості, максимальні модулі стоку та інші параметри. За цими даними була визначена ступінь редукції n_1 = 0,29, після чого, за редукційною формулою були розраховані максимальні модулі схилового припливу. Через те, що при розрахунку визначені надзвичайно високі похибки і максимальні модулі схилового припливу не мали чіткої залежності від географічної широти водозборів, була прийнята методика узагальнення модулів максимального стоку за двома параметрами: коефіцієнту трансформації стоку і максимальних шарів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості.

Так були розраховані коефіцієнти трансформації стоку і побудована карта ізоліній коефіцієнтів трансформації стоку.

Ізолінії проведені через 0,005 і зростають з заходу на схід від 0,005 до 0,030.

Виконана оцінки методики, середня похибка розрахунку склала 12,9 %, що дозволяє користуватися запропонованою методикою.

Отже, результатом дослідження стала побудова двох карт ізоліній - максимальних шарів стоку 1%-ї забезпеченості і коефіцієнтів трансформації стоку, якими можна користуватися для визначення максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості для недосліджених ділянок басейну р. Південний Буг.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Основные гидрологические характеристики, Т.6, выпуск 1, Украина и Молдавия, Ленинград 1975 г. 384 с.

2. Хромов С.П., Петросянц М.А. Метеорология и климатология. Москва: Издательство МГУ, Наука, 2006. 582 с.

3. Гребінь В.В., Хільчевський В.К. Ретроспективний аналіз досліджень річкової мережі України та застосування типології річок Водної рамкової директиви ЄС на сучасному етапі // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2016. Т. 2. 32-47 с.

4. Родевич В.М. К вопросу классификации рек. Изв. ГГИ, №35, 1931, 22-35 с.

5. Гребінь В.В., Мокін В.Б., Сташук В.А., Хільчевський В.К., Яцюк М.В., Чунарьов О.В., Крижановський Є.М, Бабчук В.С., Ярошевич О.Є.. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу Київ: Інтерпрес ЛТД, 2013, 55 с.

6. Hall J. A European Flood Database: facilitating comprehensive flood research beyond administrative boundaries / J. Hall, B. Arheimer, G. T Aronica, L. Gorbachova et al. // Proc. IAHS. Vol. 370. 2015. 8995 p.

7. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр. 2003. 324 с.

8. Yanko-Hombach V., Gilbert As., Panin N, Dolukhanov P. The Black Sea Flood Question Changes in Coastline, Climate and Human Settlement. Springer, 1st ed. 2007. 971 p.

9. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации Ленинград: Гидрометеоиздат, 1989 г. 295 с.

10. Рождественський А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1974 г. 424 с.

11. Helsel D.R. Statistical Methods in Water Resources / D.R. Helsel and R.M. Hirsch. New-York: Elsevier, 1992. 522 p.

12. Соколовский Д.Л. Речной сток, Ленинград: Гидрометеоиздат, 1968. 320 с.

13. Бурлуцька М.Е., Мартинюк М.О. Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг // Таврійський науковий вісник (прийнято до друку), 2019.

14. Giorgi F. Introduction to special issue: Regional climate modeling revisited / F. Giorgi, L.O Mearns. // Journal of Geophysical Research. 1999. Vol. 104. 6335-6352 p.

15. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Нікацентр, 2010. 316 с.

16. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

17. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. Київ: КНТ, 2005, 148 с.

18. Гопченко Є.Д., Романчук М.Є. Нові підходи до нормування розрахункових характеристик максимального стоку // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. Київ, 2000. Т.3. 144-149 с.

19. Огиевський А.В. Гидрология суши (общая и инженерная): учебник для гидромелиоративных институтов и факультетов. Москва: Гос. изд-во с.-х. литературы, 1952. 515 с.

Додатки

Додаток А1 - Статистична обробка часових рядів витрат води весняного водопілля в басейні р.Південний Буг

№ поста	Річка – пост	F, км^2	n, років	Qm, м^3/с	Метод моментів		Метод найбільшої правдоподібності	
					Cv	Cs	Cv	Cs/Cv
1	2	3	4	5	6	7	10	11
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47	15,8	0,92	3,06	0,96	4,50
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	67	108	1,23	3,37	1,30	3,50
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	76	376	0,98	1,91	0,99	2,20
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	71	403	1,07	2,55	1,08	2,90
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	97	737	1,15	2,90	1,19	2,90
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	63	15,6	1,10	2,39	1,11	2,60
7	р. Згар - смт Літін	692	78	23,1	1,06	1,98	1,07	2,10
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	87	42,5	0,90	1,77	0,91	2,20
9	р. Соб - Зозів	92,5	62	5,91	1,44	3,60	1,56	3,30
10	р. Савранка - с. Осички	1740	72	20,8	1,61	4,87	1,75	4,20
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	76	31,2	2,29	4,95	2,40	3,10
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	83	355	1,27	2,13	1,30	1,90
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	66	47,4	1,41	3,12	1,44	2,80

Продовження додатку А1

№ поста	Річка – пост	F, км^2	n, років	Qm, м^3/с	Метод моментів		Метод найбільшої правдоподібності	
					Cv	Cs	Cv	Cs/Cv
1	2	3	4	5	6	7	10	11
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	82	64,2	1,62	3,11	1,67	2,40
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	56	58,4	1,70	2,69	1,76	2,00
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76	92,4	1,40	2,04	1,43	1,60
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	42	27,7	0,99	1,98	1,01	2,50
18	р. Кодима - с. Обжила	145	43	2,31	1,26	2,49	1,29	2,70
19	р. Чорний Ташлик – с. Піщаний Брід	1830	24	54,7	1,96	3,46	2,16	3,20
20	р. Південний Буг – с. Сабарів	9010	56	293	0,98	2,42	1,00	3,10
21	Р. Бужок – смт. Меджибож	698	37	22,6	1,00	2,35	1,02	3,20

Додаток А2 - Статистична обробка часових рядів шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Південний Буг

№ поста	Річка – пост	F, км^2	n, років	$\bar{Y}_m$ мм	Метод моментів		Метод найбільшої правдоподібності	
					Cv	Cs	Cv	Cs/Cv
1	2	3	4	5	6	7	10	11
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47	31,6	0,58	0,92	0,58	1,70
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	67	38,2	0,75	1,59	0,76	2,30
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	76	30,3	0,73	1,51	0,73	2,20
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	71	26,5	0,69	1,40	0,69	2,20
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	97	26,4	0,68	1,23	0,68	1,90
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	63	35,8	0,83	1,59	0,82	2,10
7	р. Згар - смт Літін	692	78	37,0	0,68	0,96	0,68	1,50
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	87	33,0	0,75	1,28	0,75	1,80
9	р. Соб - Зозів	92,5	62	32,2	0,75	1,08	0,76	1,50
10	р. Савранка - с. Осички	1740	72	16,7	0,90	2,18	0,91	2,80
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	76	13,1	1,24	4,08	1,30	4,40
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	83	24,3	0,86	1,41	0,87	1,70
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	66	20,5	1,02	2,32	1,03	2,70

Продовження додатку А2

№ поста	Річка – пост	F, км^2	n, років	$\bar{Y}_m$ мм	Метод моментів		Метод найбільшої правдоподібності	
					Cv	Cs	Cv	Cs/Cv
1	2	3	4	5	6	7	10	11
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	82	20,0	0,93	1,91	0,94	2,30
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	56	19,2	1,06	2,40	1,08	2,80
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76	23,7	1,04	1,75	1,05	1,90
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	42	28,9	0,81	1,31	0,82	1,80
18	р. Кодима - с. Обжила	145	43	12,3	0,79	2,90	0,85	5,00
19	р. Чорний Ташлик – с. Піщаний Брід	1830	24	13,6	1,20	2,00	1,26	2,40
20	р. Південний Буг – с. Сабарів	9010	56	43,5	0,60	0,69	0,60	1,20
21	Р. Бужок – смт. Меджибож	698	37	30,4	0,75	1,32	0,76	2,00

Додаток А3 - Результати статистичної обробки витрат води весняного водопілля в басейні р. Південний Буг за періоди спостережень до 1989р. і до 2015р.

№ п/п	Річка-пост	F, км	Q_{1989}, мм	Cv_{1989}	Q_{2015}, мм	Cv_{2015}
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	22,3	0,81	15,8	0,92
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	143	1,06	108	1,23
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	487	0,80	376	0,98
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	537	0,87	403	1,07
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	893	1,01	737	1,15
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	21,2	0,88	15,6	1,10
7	р. Згар - смт Літін	692	29,2	0,91	23,1	1,06
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	54,2	0,71	42,5	0,90
9	р. Соб - Зозів	92,5	8,16	1,15	5,91	1,44
10	р. Савранка - с. Осички	1740	28,2	1,38	20,8	1,61
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	41,8	2,02	31,2	2,29
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	451	1,08	355	1,27
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	68,6	1,09	47,4	1,41
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	85,6	1,36	64,2	1,62
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	86,4	1,35	58,4	1,70
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	126	1,13	92,4	1,40

Додаток А4 - Результати статистичної обробки шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг за періоди спостережень до 1989р. і до 2015р.

№ п/п	Річка-пост	F, км	Y_{1989}, мм	Cv_{1989}	Y_{2015}, мм	Cv_{2015}
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	35,9	0,59	31,6	0,58
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	44,1	0,71	38,2	0,75
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	36,4	0,64	30,3	0,73
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	31,9	0,61	26,5	0,69
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	30,3	0,61	26,4	0,68
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	44,8	0,72	35,8	0,83
7	р. Згар - смт Літін	692	42,8	0,61	37,0	0,68
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	37,9	0,69	33,0	0,75
9	р. Соб - Зозів	92,5	39,2	0,63	32,2	0,75
10	р. Савранка - с. Осички	1740	20,8	0,80	16,7	0,90
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	15,7	1,19	13,1	1,24
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	29,1	0,76	24,3	0,86
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	27,4	0,82	20,5	1,02
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	24,1	0,83	20,0	0,93
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	24,4	0,95	19,2	1,06
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	29,6	0,91	23,7	1,04

Додаток А5

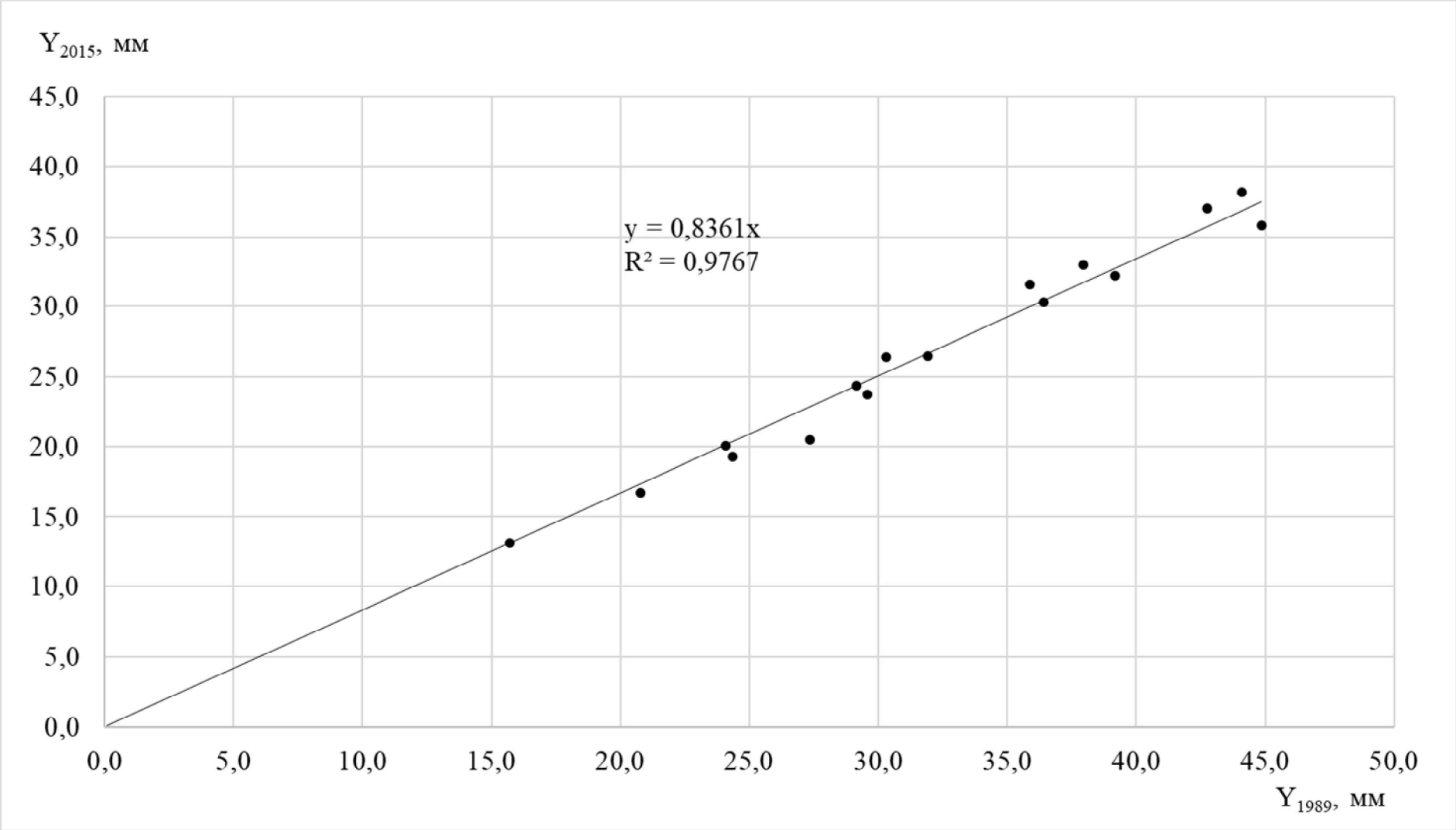

Рисунок - Графік порівняння середніх багаторічних шарів стоку весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р.

Додаток А6

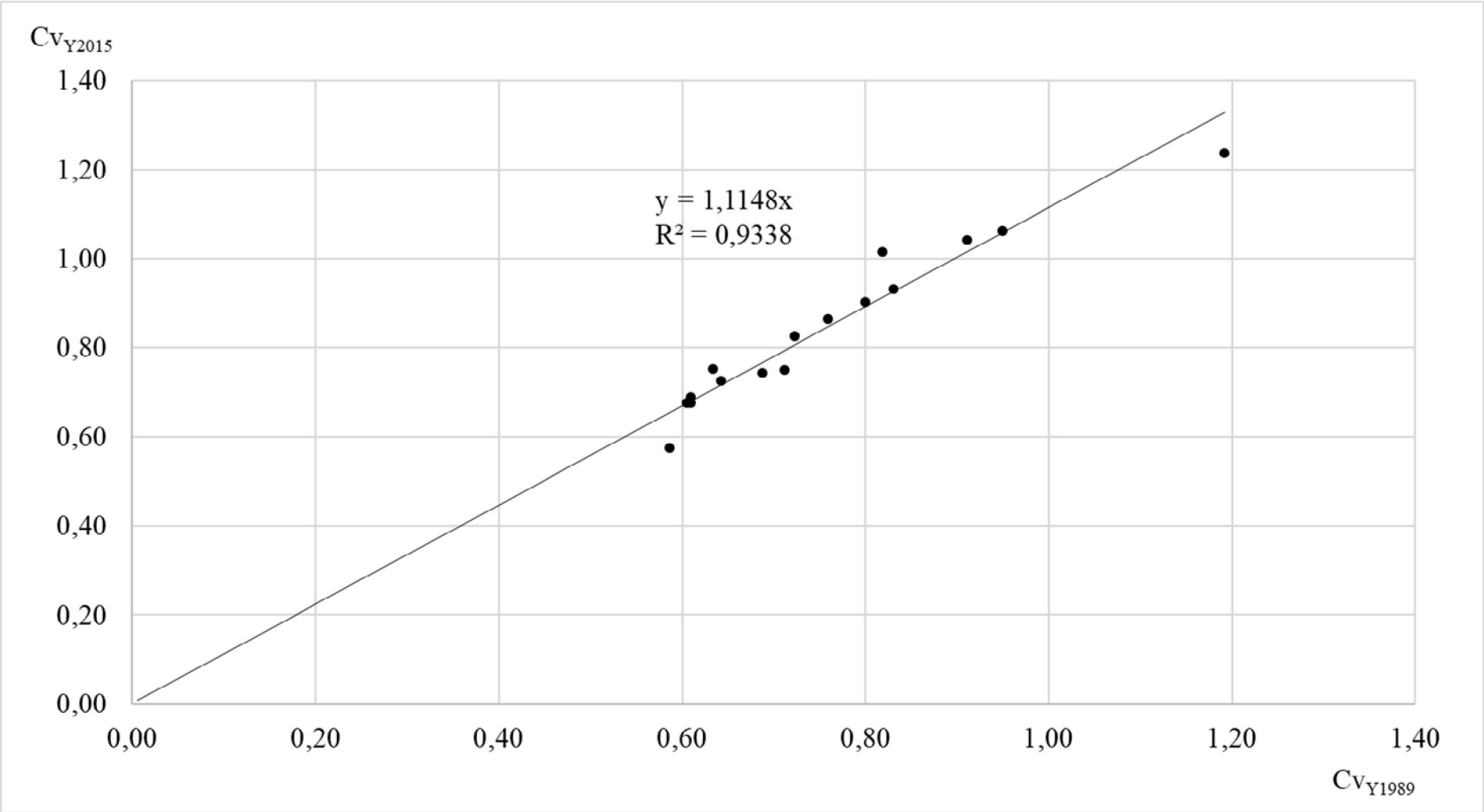

Рисунок - Графік порівняння коефіцієнтів варіації середніх багаторічних шарів стоку весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р.

Додаток А7

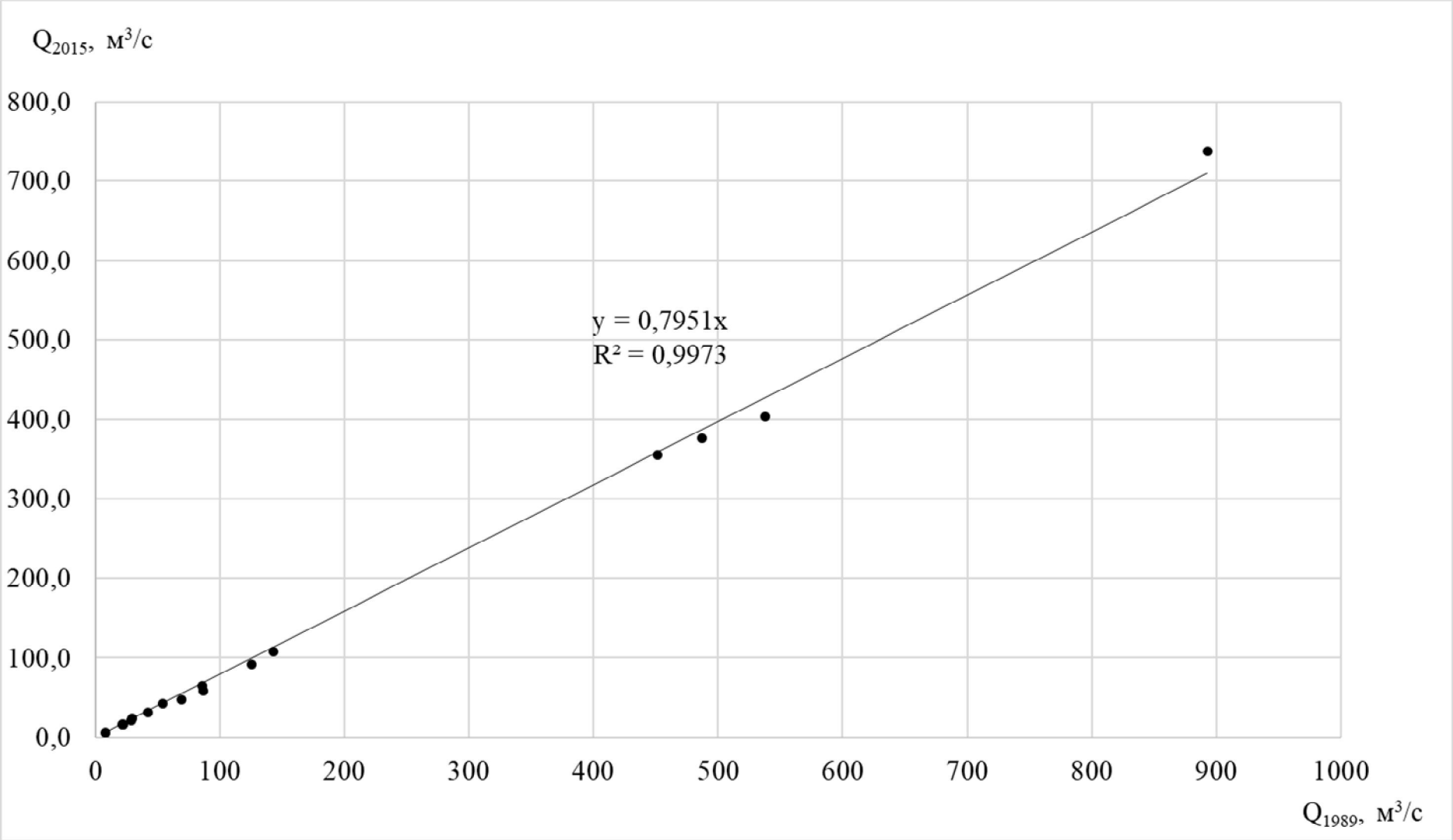

Рисунок - Графік порівняння середніх багаторічних витрат води весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р.

Додаток А8

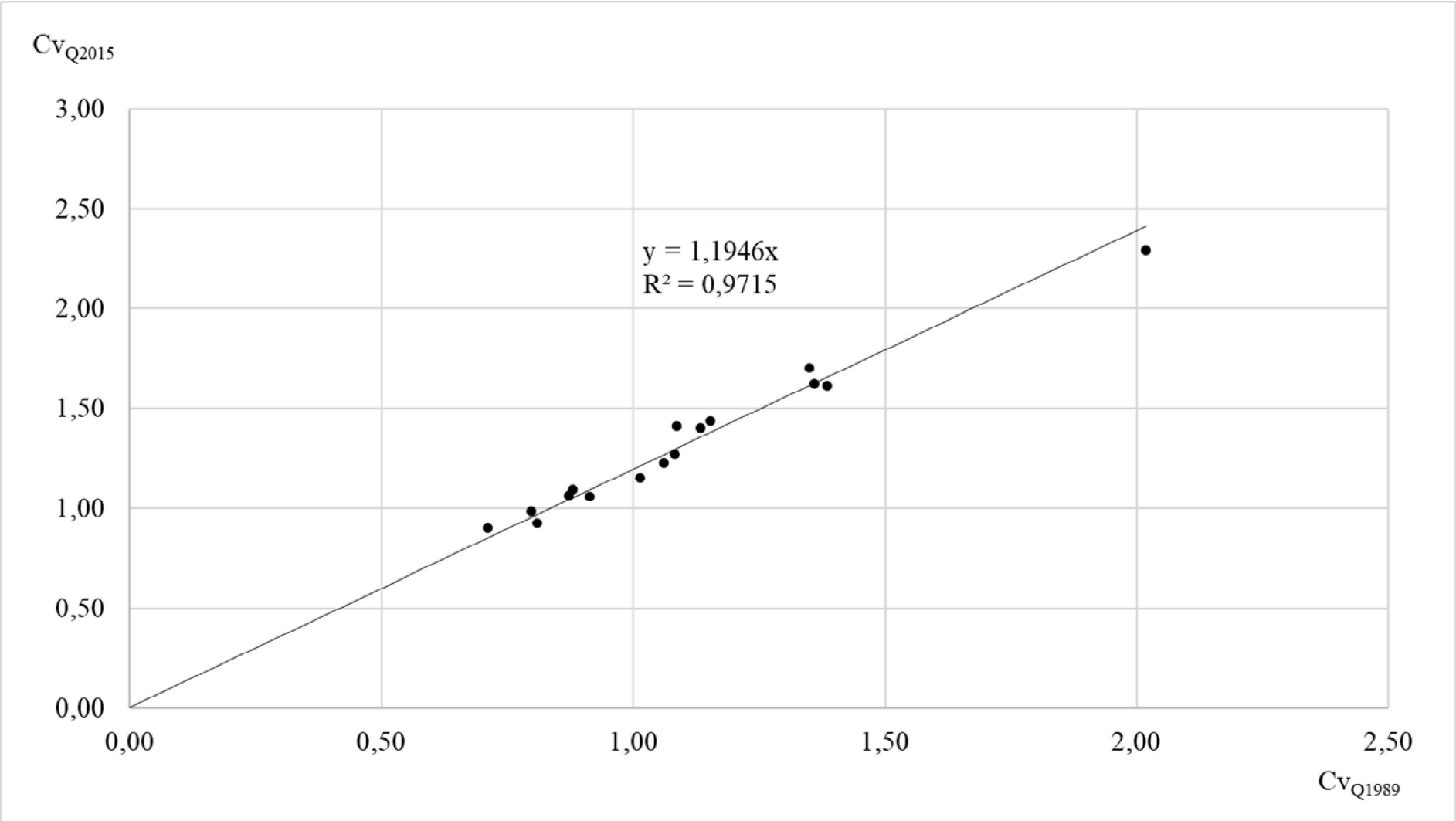

Рисунок - Графік порівняння коефіцієнтів варіації середніх багаторічних витрат води весняного водопілля до 1989 р. і до 2015 р.

Додаток Б1 - Розрахунок максимальних шарів стоку весняної повені басейна р. Південний Буг різної забезпеченості (Р=1,3,5,10%)

№ п/п	Річка-пост	F, км^2	Cv	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}$ мм	$K_{3\%}$	$Y_{3\%}$ мм	$K_{5\%}$	$Y_{5\%}$ мм	$K_{10\%}$	$Y_{10\%}$ мм
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	0,54	2,66	88,6	2,23	74,3	2,02	67,3	1,72	57,3
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	0,75	3,50	137	2,80	110	2,47	96,8	2,00	78,4
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	0,71	3,33	105	2,68	84,2	2,38	74,7	1,95	61,2
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	0,67	3,17	87,2	2,57	70,7	2,30	63,3	1,90	52,3
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	0,66	3,13	85,1	2,55	69,4	2,28	62,0	1,88	51,1
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	0,80	3,71	139	2,94	110	2,57	96,1	2,06	77,0
7	р. Згар - смт Літін	692	0,65	3,09	119	2,53	97,2	2,26	86,8	1,87	71,8
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	0,73	3,42	116	2,74	92,9	2,42	82,0	1,98	67,1
9	р. Соб - Зозів	92,5	0,73	3,42	115	2,74	92,1	2,42	81,3	1,98	66,5
10	р. Савранка - с. Осички	1740	0,88	4,06	70,6	3,16	55,0	2,74	47,7	2,16	37,6
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	1,22	5,63	76,6	4,18	56,8	3,44	46,8	2,51	34,1
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	0,84	3,89	98,8	3,05	77,5	2,65	67,3	2,11	53,6
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	0,97	4,47	97,0	3,42	74,2	2,93	63,6	2,27	49,3

Продовження додатку Б1

№ п/п	Річка-пост	F, км^2	Cv	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}$ мм	$K_{3\%}$	$Y_{3\%}$ мм	$K_{5\%}$	$Y_{5\%}$ мм	$K_{10\%}$	$Y_{10\%}$ мм
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	0,91	4,19	87,6	3,24	67,7	2,80	58,5	2,20	46,0
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	1,05	4,83	97,6	3,66	73,9	3,11	62,8	2,35	47,5
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	1,01	4,64	115	3,54	87,8	3,02	74,9	2,31	57,3
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	0,82	3,79	110	2,99	86,4	2,61	75,4	2,09	60,4
18	р. Кодима - с. Обжила	145	0,85	3,93	48,3	3,08	37,9	2,68	33,0	2,13	26,2
19	р. Чорний Ташлик – с. Піщаний Брід	1830	1,26	5,82	79,2	4,30	58,5	3,52	47,9	2,54	34,5
20	р. Південний Буг – с. Сабарів	9010	0,60	2,89	126	2,39	104	2,15	93,5	1,80	78,3
21	Р. Бужок – смт. Меджибож	698	0,76	3,54	108	2,83	86,0	2,49	75,7	2,01	61,1

Додаток Б2 - Порівняння 1%-х шарів стоку, розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989р. та від початку спостережень до 2015р.

№ п/п	Річка-пост	F, км	$K_{1\%\ 1989}$	$Y_{1\%\ 1989}$, мм	$K_{1\%\ 2015}$	$Y_{1\%\ 2015}$, мм
1	2	3	5	6	8	9
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	2,89	106	2,66	88,6
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	3,29	150	3,5	137
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	2,97	110	3,33	105
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	2,89	94,8	3,17	87,2
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	2,85	88,4	3,13	85,1
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	3,25	153	3,71	139
7	р. Згар - смт Літін	692	2,93	126	3,09	119
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	3,29	125	3,42	116
9	р. Соб - Зозів	92,5	2,93	120	3,42	115
10	р. Савранка - с. Осички	1740	3,17	60,9	4,06	70,6
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	4,6	62,1	5,63	76,6
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	3,5	105	3,89	98,8
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	3,71	111	4,47	97,0

Продовження додатку Б2

№ п/п	Річка-пост	F, км	$K_{1\%\ 1989}$	$Y_{1\%\ 1989}$, мм	$K_{1\%\ 2015}$	$Y_{1\%\ 2015}$, мм
1	2	3	5	6	8	9
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	3,84	94,8	4,19	87,6
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	4,33	110	4,83	97,6
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	3,37	128	4,64	115

Додаток Б3

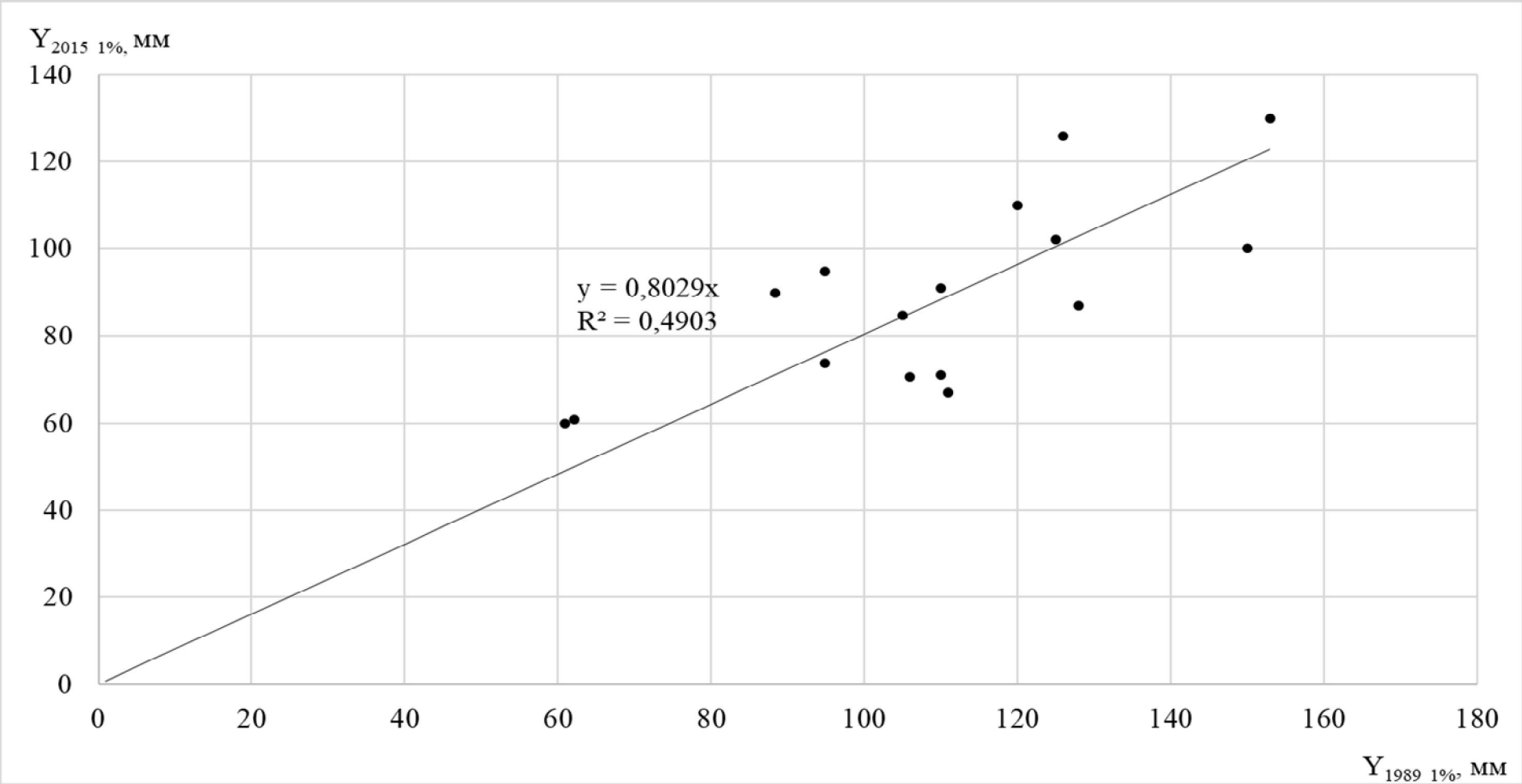

Рисунок - Графік порівняння1%-х шарів стоку, розрахованих для періодів від початку спостережень до 1989 р. та від початку спостережень до 2015 р.

Додаток В1

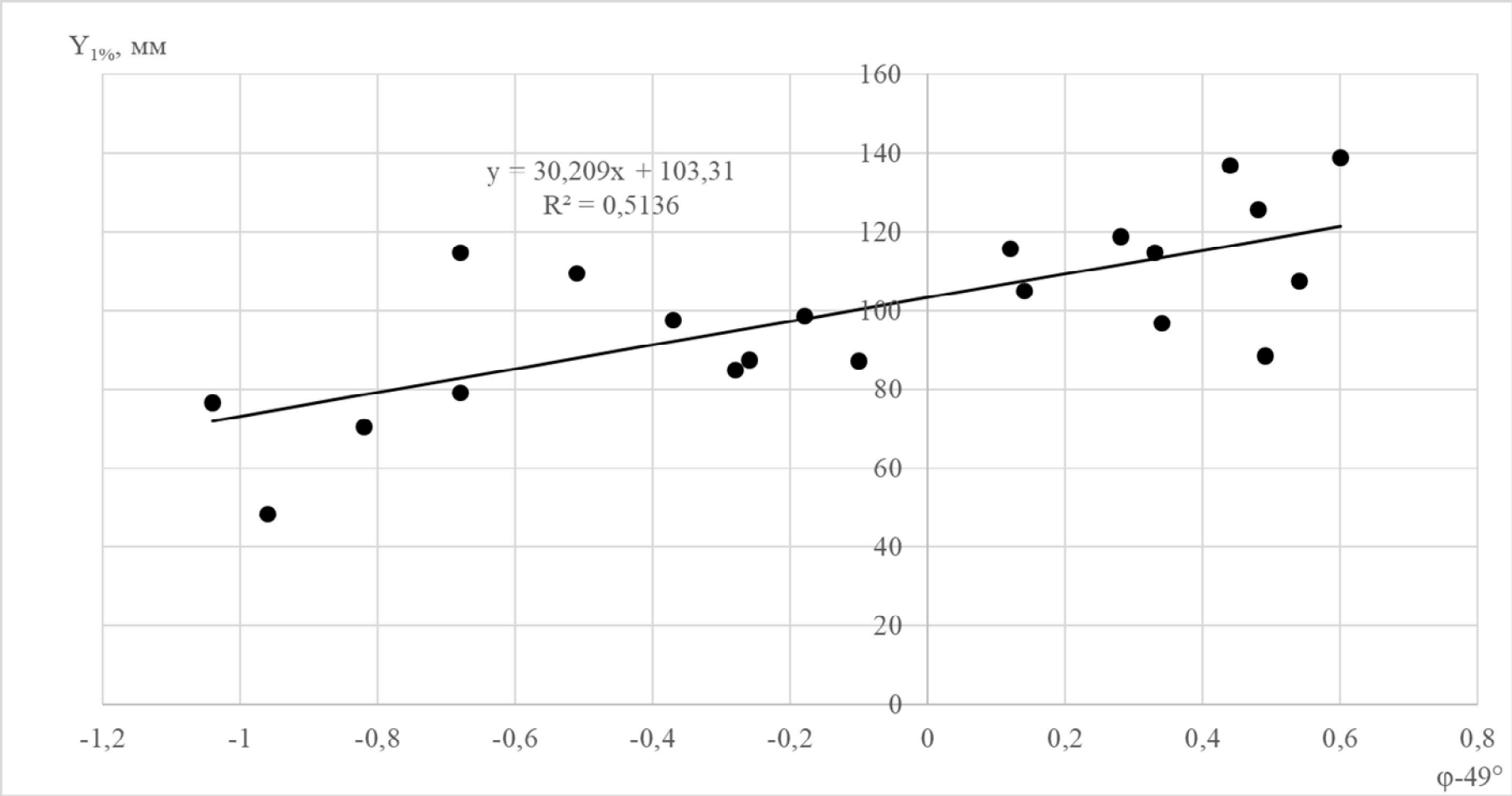

Рисунок – Графік залежності 1%-х шарів стоку ($Y_{1\%}$, мм) від географічної широти центрів тяжіння водозборів (φ-49°)

Додаток В2

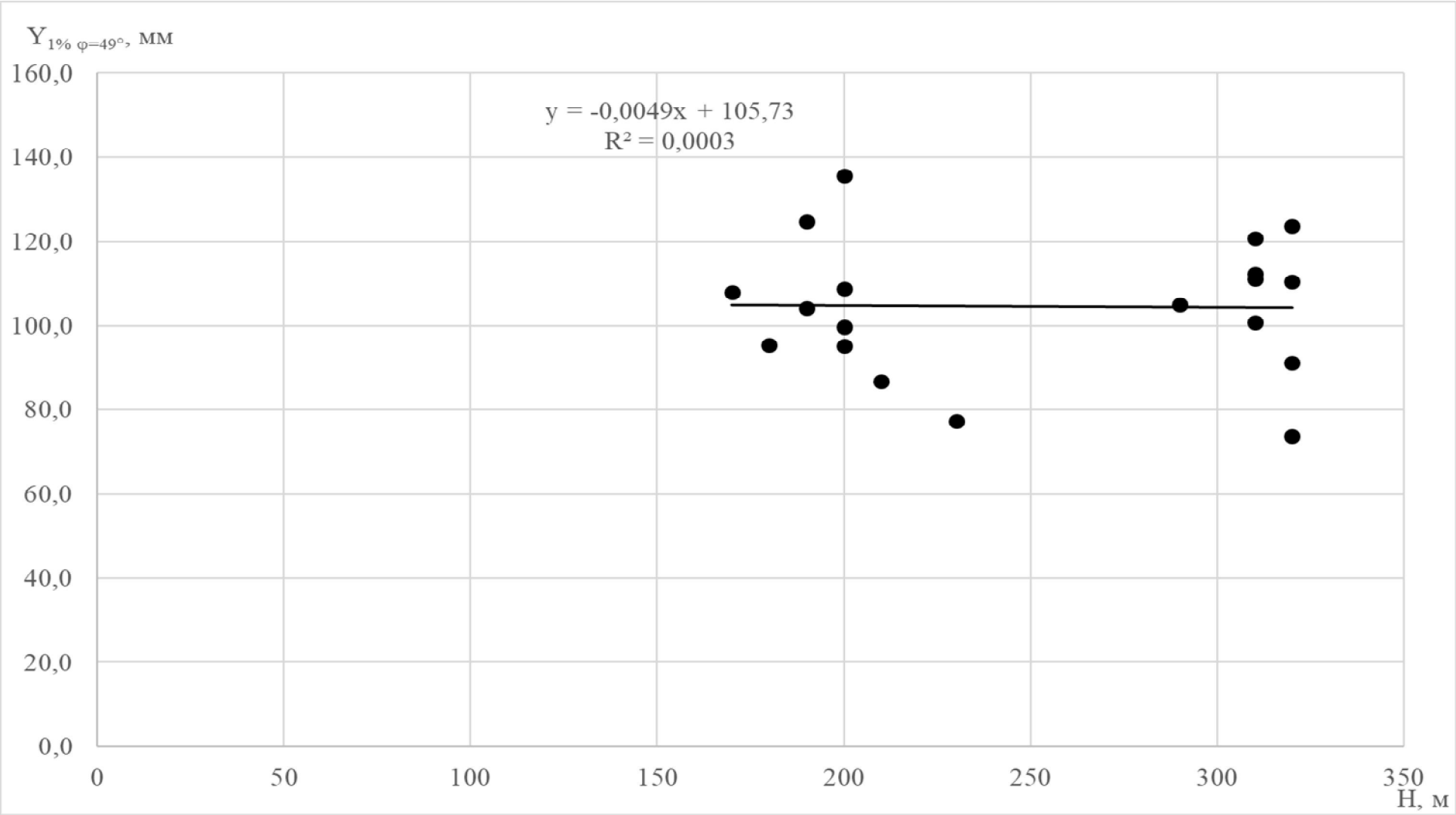

Рисунок – Графік залежності 1%-х шарів стоку ($Y_{1\%\varphi=49°}$, мм) від висоти водозбору (Н, м)

Додаток В3

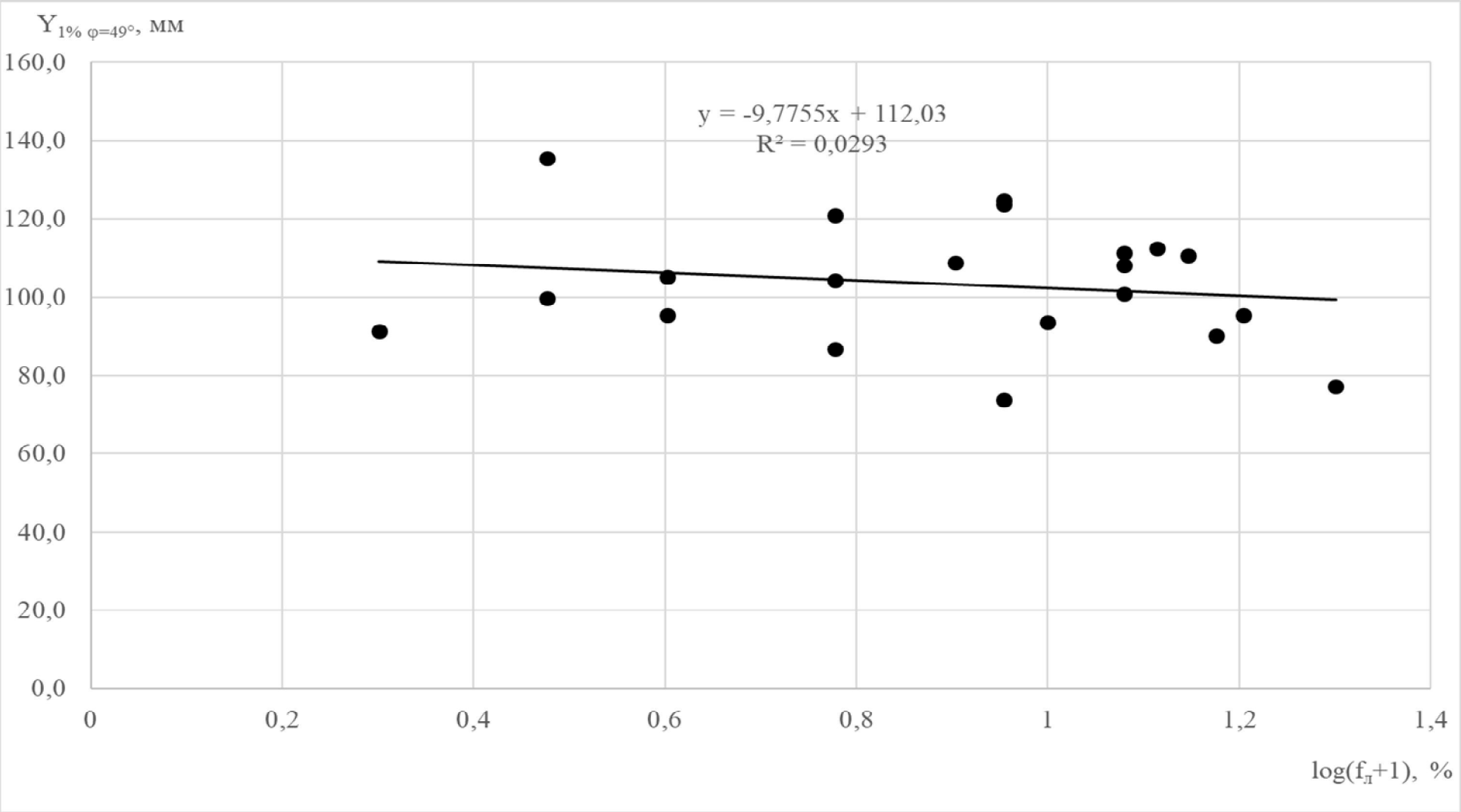

Рисунок – Графік залежності 1%-х шарів стоку ($Y_{1\%\ \varphi=49°}$, мм) від лісистості водозбору $\log(f_л+1)$, %

Додаток В4

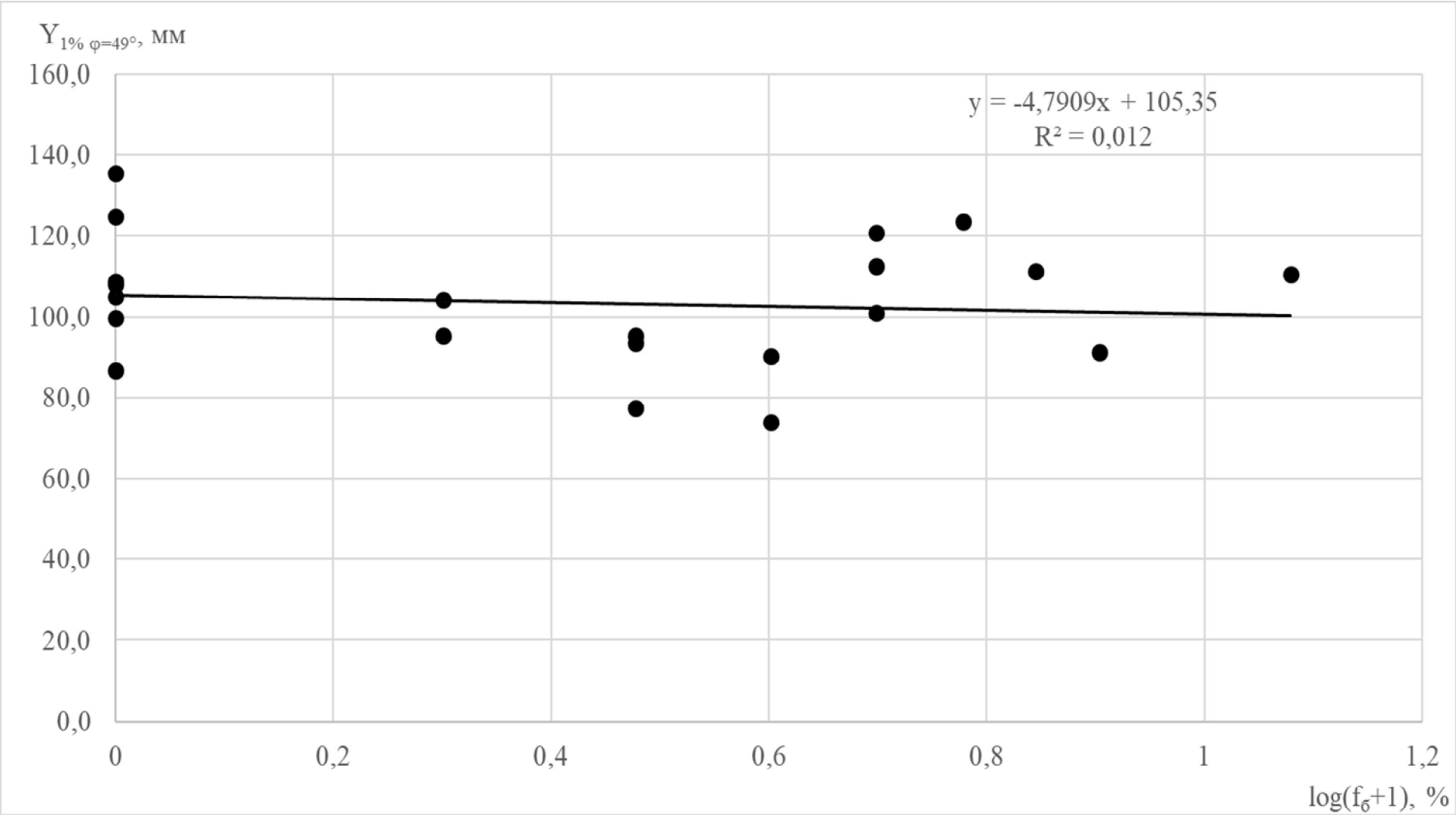

Рисунок – Графік залежності 1%-х шарів стоку ($Y_{1\%\ \varphi=49°}$, мм) від заболоченості водозборів $\log(f_б+1)$, %

Додаток В5 – Визначення похибки карти ізоліній стоку 1%-ї забезпеченості в басейні р. Південний Буг

№ поста	Річка – пост	$Y_{1\%\ розр,}$ мм	$Y_{1\%\ к,}$ мм	|Δ|, %
1	2	3	4	5
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	88,6	100	11,4
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	137	120	14,2
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	105	103	1,94
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	87,2	89	2,02
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	85,1	80	6,36
6	р. Іква - смт Стара Синява	139	120	15,8
7	р. Згар - смт Літін	119	116	2,59
8	р. Ров - с. Демидівка	116	116	0,00
9	р. Соб - Зозів	115	117	1,71
10	р. Савранка - с. Осички	70,6	73	3,29
11	р. Кодима - с. Катеринка	76,6	75	2,13
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	98,8	97	1,86
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	97,0	93	4,30
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	87,6	87	0,69
15	р. Ятрань - с. Покотилово	97,6	96	1,67

Продовження додатку В5

№ поста	Річка – пост	$Y_{1\%\ розр}$, мм	$Y_{1\%\ к}$, мм	|Δ|, %
1	2	3	4	5
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	115	100	15,0
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	109,5	101	8,42
18	р. Кодима - с. Обжила	48,3	60	19,5
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	79,2	80	1,00
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	125,7	120	4,75
21	р. Бужок - смт. Меджибож	107,6	108	0,37
				$\overline{\Delta}$ = 5,67%

Додаток В6 – Приведення шарів стоку водопілля 1%-ї забезпеченості $Y_{1\%}$ до однієї географічної широти φ=49°

№ поста	Річка – пост	F, км²	n, років	$Y_{1\%}$, мм	φ°п.ш.	(φ°-49)	$Y_{1\%(\varphi°-49)}$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47	88,6	49,49	0,49	73,8
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	4000	67	137	49,44	0,44	124
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	76	105	49,14	0,14	101
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	71	87,2	48,90	-0,1	90,2
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	97	85,1	48,72	-0,28	93,6
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	63	139	49,60	0,6	121
7	р. Згар - смт Літін	692	78	119	49,28	0,28	111
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	87	116	49,12	0,12	112
9	р. Соб - Зозів	92,5	62	115	49,33	0,33	105
10	р. Савранка - с. Осички	1740	72	70,6	48,18	-0,82	95,4
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	76	76,6	47,96	-1,04	108
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	83	98,8	48,82	-0,18	104
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	66	97,0	49,34	0,34	86,7
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	82	87,6	48,74	-0,26	95,5
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	56	97,6	48,63	-0,37	109

Продовження додатку В6

№ поста	Річка – пост	F, км²	n, років	$Y_{1\%\ розр}$, мм	φ°п.ш.	(φ°-49)	$Y_{1\%(φ°-49)}$, мм
1	2	3	4	5	6	7	8
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76	115	48,32	-0,68	136
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	42	109,5	48,49	-0,51	125
18	р. Кодима - с. Обжила	145	43	48,3	48,04	-0,96	77,3
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	1830	24	79,2	48,32	-0,68	99,7
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	9010	56	125,7	49,48	0,48	111
21	р. Бужок - смт. Меджибож	698	37	107,6	49,54	0,54	91,3

Додаток Г8 – Визначення похибки карти ізоліній коефіцієнтів трансформації стоу в басейні р. Південний Буг

№ поста	Річка – пост	$K_{0\ розр}$	$K_{0\ к}$	|Δ|, %
1	2	3	4	5
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	0,007	0,006	14,3
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	0,003	0,005	66,7
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	0,017	0,017	0,00
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	0,019	0,018	5,26
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	0,024	0,023	4,17
6	р. Іква - смт Стара Синява	0,008	0,009	12,5
7	р. Згар - смт Літін	0,010	0,01	0,00
8	р. Ров - с. Демидівка	0,011	0,012	9,09
9	р. Соб - Зозів	0,016	0,016	0,00
10	р. Савранка - с. Осички	0,013	0,013	0,00
11	р. Кодима - с. Катеринка	0,016	0,017	6,25
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	0,023	0,022	4,35
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	0,020	0,022	10,0
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	0,021	0,022	4,76
15	р. Ятрань - с. Покотилово	0,023	0,022	4,35

Продовження додатку Г8

№ поста	Річка – пост	$K_{0\ розр}$	$K_{0\ к}$	$\lvert\Delta\rvert$, %
1	2	3	4	5
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,024	0,023	4,17
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	0,011	0,012	9,09
18	р. Кодима - с. Обжила	0,009	0,008	11,1
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	0,032	0,003	90,6
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	0,018	0,017	5,56
21	р. Бужок - смт. Меджибож	0,010	0,011	10,0
				$\bar{\Delta} = 12{,}9\%$

Додаток Г1 – Визначення параметрів часових рядів спостережень в басейні р. Південний Буг (при $C_s = 3{,}0C_v$)

№ п/п	Річка - пост	F,км^2	$\bar{Q}_m$, м^3/с	Cv	Cs/Cv	$K_{1\%}$	$Q_{1\%}$, м^3/с	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$lg_{q1\%}$	lg(F+1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	15,8	0,96	4,50	4,5	76,1	0,09	-1,04	2,92
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	108	1,30	3,50	6,07	687,1	0,02	-1,77	4,60
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	376	0,99	2,20	4,69	1848,8	0,11	-0,97	4,24
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	403	1,08	2,90	5,05	2142,2	0,09	-1,06	4,39
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	737	1,19	2,90	5,56	4265,6	0,09	-1,03	4,66
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	15,6	1,11	2,60	5,19	85,6	0,20	-0,71	2,64
7	р. Згар - смт Літін	692	23,1	1,07	2,10	5,01	121,2	0,18	-0,76	2,84
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	42,5	0,91	2,20	4,28	190,5	0,17	-0,77	3,05
9	р. Соб - Зозів	92,5	5,91	1,56	3,30	7,16	44,9	0,49	-0,31	1,97
10	р. Савранка - с. Осички	1740	20,8	1,75	4,20	8,14	179,1	0,10	-0,99	3,24
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	31,2	2,40	3,10	9,53	314,5	0,13	-0,88	3,38

Продовження додатку Г1

№ п/п	Річка - пост	F,км^2	$\bar{Q}_m$, м^3/с	Cv	Cs/Cv	$K_{1\%}$	$Q_{1\%}$, м^3/с	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$lg_{q1\%}$	lg(F+1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	355	1,30	1,90	6,03	2253,4	0,13	-0,87	4,22
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	47,4	1,44	2,80	6,6	335,3	0,23	-0,64	3,16
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	64,2	1,67	2,40	7,73	524,1	0,19	-0,73	3,45
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	58,4	1,76	2,00	8,09	508,9	0,24	-0,62	3,33
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	92,4	1,43	1,60	6,6	646,8	0,29	-0,54	3,35
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	27,7	1,01	2,50	4,92	136,3	0,18	-0,74	2,88
18	р. Кодима - с. Обжила	145	2,31	1,29	2,70	6,21	14,3	0,10	-1,00	2,16
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	1830	54,7	2,16	3,20	9,53	521,3	0,28	-0,55	3,26
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	9010	293	1,00	3,10	4,87	1426,9	0,16	-0,80	3,95
21	р. Бужок - с мт. Меджибож	698	22,6	1,02	3,20	4,96	112,1	0,16	-0,79	2,84

Додаток Г2

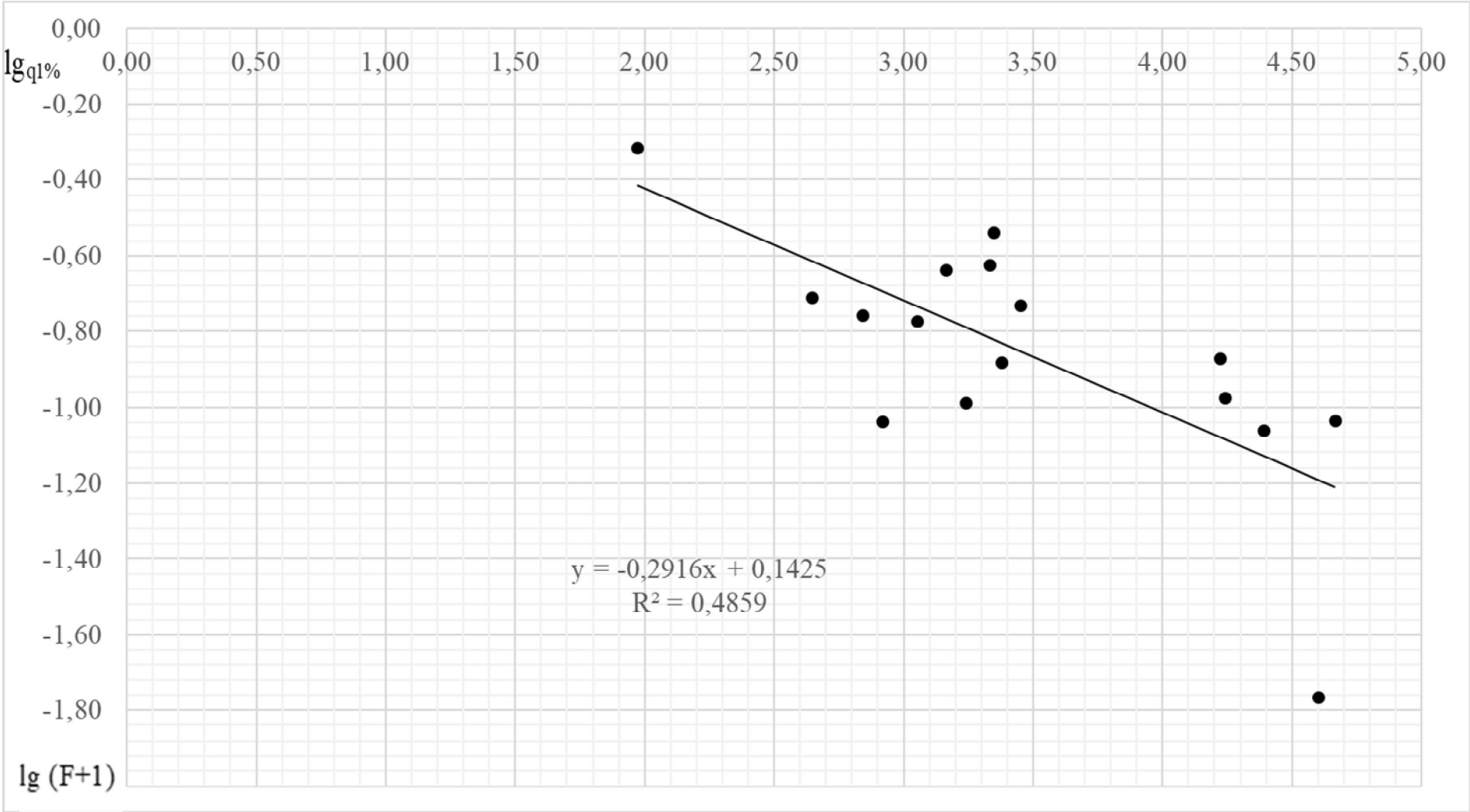

Рисунок – Залежність $lg_{q1\%}$ =flg (F+1)

Додаток Г3 – Розрахунок модулів схилового припливу

№ п/п	Річка - пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$q'_{1\%}$, м^3/с км^2
1	2	3	4	5
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	0,09	0,65
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	0,02	0,37
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	0,11	1,80
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	0,09	1,63
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	0,09	2,08
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	0,20	1,14
7	р. Згар - смт Літін	692	0,18	1,17
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	0,17	1,29
9	р. Соб - Зозів	92,5	0,49	1,81
10	р. Савранка - с. Осички	1740	0,10	0,90
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	0,13	1,26
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	0,13	2,26
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	0,23	1,91
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	0,19	1,86
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	0,24	2,20
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	0,29	2,71
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	0,18	1,24
18	р. Кодима - с. Обжила	145	0,10	0,42
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	1830	0,28	2,52
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	9010	0,16	2,22
21	р. Бужок - смт. Меджибож	698	0,16	1,07

Додаток Г4 – Оцінка розрахованих 1%-х модулів стоку

№ п/п	Річка - пост	F,км^2	$q_{1\%ф}$, м^3/с км^2	$q_{1\%розр}$, м^3/с км^2	$\lvert\Delta q_{1\%}\rvert$
1	2	3	4	5	6
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	0,09	0,16	78,2
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	0,02	0,05	210
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	0,11	0,07	-36,2
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	0,09	0,06	-29,6
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	0,09	0,05	-44,7
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	0,20	0,20	0,90
7	р. Згар - смт Літін	692	0,18	0,17	-1,52
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	0,17	0,15	-11,2
9	р. Соб - Зозів	92,5	0,49	0,31	-36,4
10	р. Савранка - с. Осички	1740	0,10	0,13	28,3
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	0,13	0,12	-8,44
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	0,13	0,07	-49,2
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	0,23	0,14	-39,8
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	0,19	0,11	-38,2
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	0,24	0,12	-47,7
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	0,29	0,12	-57,6
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	0,18	0,17	-7,0

18	р. Кодима - с. Обжила	145	0,10	0,27	174,0
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	1830	0,28	0,13	-54,3
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	9010	0,16	0,08	-48,2
21	р. Бужок - смт. Меджибож	698	0,16	0,17	7,2
$\Delta q_{1\%\ сер} = 48\%$					

Додаток Г5

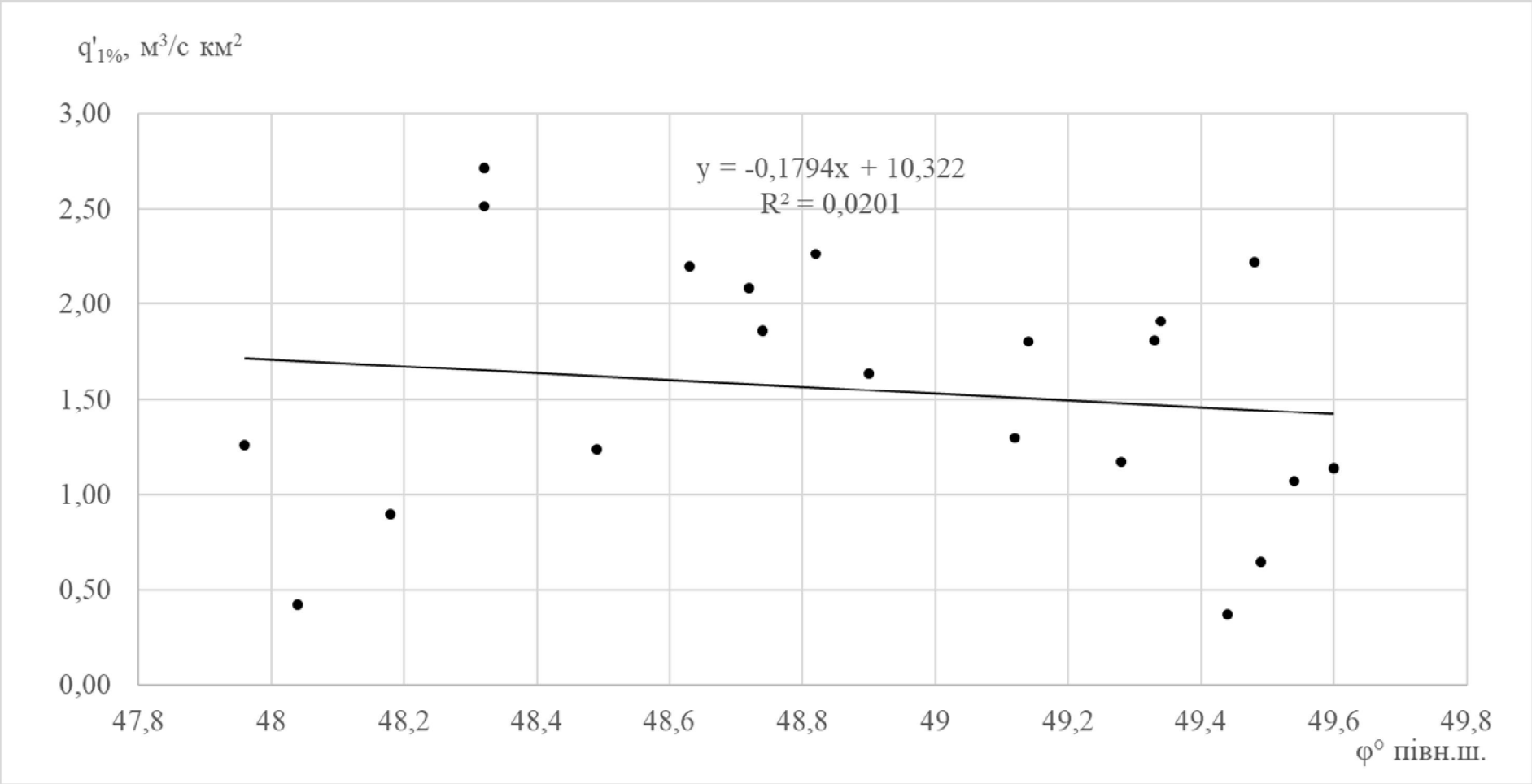

Рисунок - Залежність модулів схилового припливу весняного водопілля 1%-ої забезпеченості від широти геометричних центрів водозборів в басейні р. Південний Буг

Додаток Г6 – Розрахунок K_0 і модулів стоку $q_{1\%розр}$

№ п/п	Річка-пост	$q_{ф1\%}$,	$Y_{1\%}$,	$(q_{1\%}/Y_{1\%})$	$\log(q_{1\%}/Y_{1\%})$	F+1	lg(F+1)	K_0	$q_{1\%розр}$,
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	0,09	88,6	0,0010	-2,98	828	2,92	0,007	0,09
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	0,02	137	0,0001	-3,90	40001	4,60	0,003	0,02
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	0,11	105	0,0010	-2,99	17401	4,24	0,017	0,11
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	0,09	87,2	0,0010	-3,00	24601	4,39	0,019	0,09
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	0,09	85,1	0,0011	-2,96	46201	4,66	0,024	0,09
6	р. Іква - смт Стара Синява	0,20	139	0,0014	-2,85	440	2,64	0,008	0,20
7	р. Згар - смт Літін	0,18	119	0,0015	-2,83	693	2,84	0,010	0,18
8	р. Ров - с. Демидівка	0,17	116	0,0015	-2,84	1131	3,05	0,011	0,17
9	р. Соб - Зозів	0,49	115	0,0042	-2,37	93,5	1,97	0,016	0,49
10	р. Савранка - с. Осички	0,10	70,6	0,0015	-2,84	1741	3,24	0,013	0,10
11	р. Кодима - с. Катеринка	0,13	76,6	0,0017	-2,76	2391	3,38	0,016	0,13
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	0,13	98,8	0,0014	-2,86	16701	4,22	0,023	0,13
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	0,23	97,0	0,0024	-2,62	1451	3,16	0,020	0,23
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	0,19	87,6	0,0021	-2,67	2821	3,45	0,021	0,19

Продовження додатку Г6

№ п/п	Річка-пост	$q_{ф1\%}$,	$Y_{1\%}$,	$(q_{1\%}/Y_{1\%})$	$\log(q_{1\%}/Y_{1\%})$	F+1	lg(F+1)	K_0	$q_{1\%розр}$,
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
15	р. Ятрань - с. Покотилово	0,24	97,6	0,0024	-2,61	2141	3,33	0,023	0,24
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,29	115	0,0025	-2,60	2231	3,35	0,024	0,29
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	0,18	110	0,0017	-2,78	754	2,88	0,011	0,18
18	р. Кодима - с. Обжила	0,10	48,3	0,0020	-2,69	146	2,16	0,009	0,10
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	0,28	79,2	0,0036	-2,44	1831	3,26	0,032	0,28
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	0,16	126	0,0013	-2,90	9011	3,95	0,018	0,16
21	р. Бужок - смт. Меджибож	0,16	108	0,0015	-2,83	699	2,84	0,010	0,16

Додаток Г7

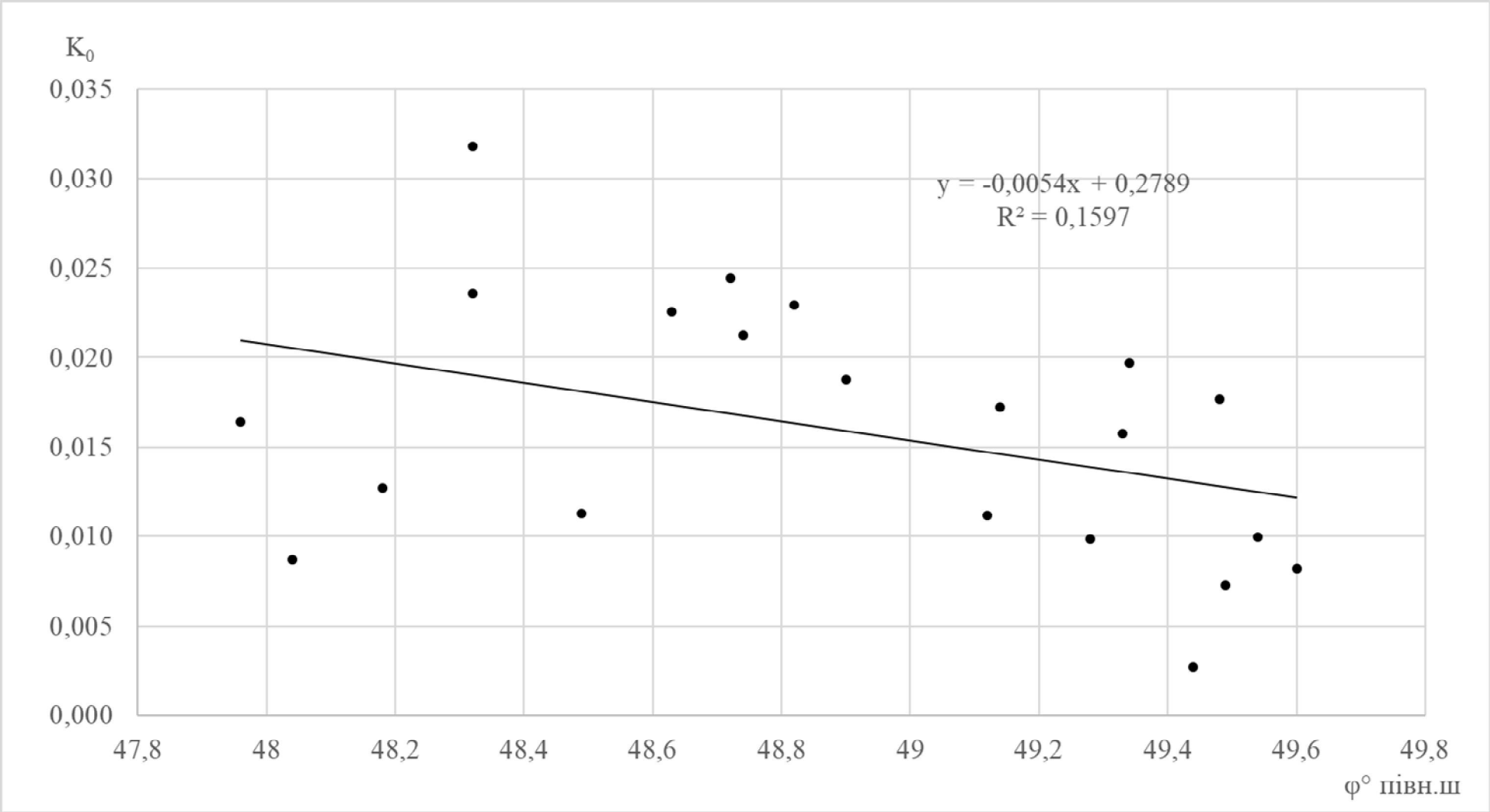

Рисунок - Залежність коефіцієнту K_0 від широти геометричних центрів водозборів в басейні р. Південний Буг

Додаток Г8 – Визначення похибки карти ізоліній коефіцієнтів трансформації стоу в басейні р. Південний Буг

№ поста	Річка – пост	$K_{0\ розр}$	$K_{0\ к}$	|Δ|, %
1	2	3	4	5
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	0,007	0,006	14,3
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	0,003	0,005	66,7
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	0,017	0,017	0,00
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	0,019	0,018	5,26
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	0,024	0,023	4,17
6	р. Іква - смт Стара Синява	0,008	0,009	12,5
7	р. Згар - смт Літін	0,010	0,01	0,00
8	р. Ров - с. Демидівка	0,011	0,012	9,09
9	р. Соб - Зозів	0,016	0,016	0,00
10	р. Савранка - с. Осички	0,013	0,013	0,00
11	р. Кодима - с. Катеринка	0,016	0,017	6,25
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	0,023	0,022	4,35
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	0,020	0,022	10,0
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	0,021	0,022	4,76
15	р. Ятрань - с. Покотилово	0,023	0,022	4,35

Продовження додатку Г8

№ поста	Річка – пост	$K_{0\ розр}$	$K_{0\ к}$	$\lvert\Delta\rvert$, %
1	2	3	4	5
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,024	0,023	4,17
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	0,011	0,012	9,09
18	р. Кодима - с. Обжила	0,009	0,008	11,1
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	0,032	0,003	90,6
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	0,018	0,017	5,56
21	р. Бужок - смт. Меджибож	0,010	0,011	10,0
				$\bar{\Delta} = 12{,}9\%$

Додаток Г9 – Перевірочні розрахунки максимальних модулів стоку весняного водопілля 1%-ї забезпеченості

№ п/п	Річка-пост	F, км	$Y_{1\%\ к}$, мм	$K_{0\ к}$	$q_{1\%\ розр}$, $м^3/с\ км^2$	$q_{1\%\ факт}$, $м^3/с\ км^2$	$\lvert\Delta q_{1\%}\rvert$, %
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	100	0,006	0,09	0,09	7,03
2	р. Південний Буг - с. Лелетка	40000	120	0,005	0,03	0,02	61,6
3	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	103	0,017	0,10	0,11	2,90
4	р. Південний Буг - с. Підгіря	24600	89	0,018	0,09	0,09	1,97
5	р. Південний Буг - с. Олександрівка	46200	80	0,023	0,08	0,09	11,5
6	р. Іква - смт Стара Синява	439	120	0,009	0,18	0,20	5,24
7	р. Згар - смт Літін	692	116	0,01	0,17	0,18	0,67
8	р. Ров - с. Демидівка	1130	116	0,012	0,18	0,17	7,50
9	р. Соб - Зозів	92,5	117	0,016	0,50	0,49	3,45
10	р. Савранка - с. Осички	1740	73	0,013	0,11	0,10	5,91
11	р. Кодима - с. Катеринка	2390	75	0,017	0,13	0,13	1,51
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	97	0,022	0,13	0,13	5,7`
13	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	93	0,022	0,25	0,23	7,15
14	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	87	0,022	0,19	0,19	2,84

Продовження додатку Г9

№ п/п	Річка-пост	F, км	$Y_{1\%\ к}$, мм	$K_{0\ к}$	$q_{1\%\ розр}$, $м^3/с\ км^2$	$q_{1\%\ факт}$, $м^3/с\ км^2$	$\lvert\Delta q_{1\%}\rvert$, %
15	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	96	0,022	0,23	0,24	3,92
16	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	100	0,023	0,25	0,29	15,2
17	р. Синиця - с. Камяний Брід	753	101	0,012	0,18	0,18	1,96
18	р. Кодима - с. Обжила	145	60	0,008	0,11	0,10	14,4
19	р. Чорний Ташлик - с. Піщаний Брід	1830	80	0,003	0,03	0,28	90,7
20	р. Південний Буг - р. Сабарів	9010	120	0,017	0,15	0,16	8,15
21	р. Бужок - смт. Меджибож	698	108	0,011	0,18	0,16	10,7
							$\Delta q_{1\%\ сер}$ = 12,9 %