

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий
гідрометеорологічний інститут
Кафедра Гідрології суші

Кваліфікаційна робота магістра

на тему: Визначення розрахункових характеристик річного стоку річок в
басейні р. Десна

Виконав студент групи МЗГ-20
спеціальності 103 Науки про Землю
Колеснік Андрій Васильович

Керівник канд. геогр. наук, доц.
Бурлуцька Марія Едуардівна

Консультант

Рецензент канд. геогр. наук, доц.
Романчук Марина Євгенівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра Гідрології суші

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 Науки про Землю

(шифр і назва)

Освітня програма Гідрологія і комплексне використання водних ресурсів
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри гідрології суші

д-р геогр. наук, проф. Шакірманова Ж.Р. 

“ 28 ” жовтня 2021 року

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ МАГІСТРА

студенту Колесніку Андрію Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Визначення розрахункових характеристик річного стоку річок в басейні р. Десна

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

затверджені наказом ОДЕКУ від 18.10.2021 року №216 “С”

2. Строк подання студентом роботи 08.12.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: середньорічні модулі стоку річок басейну р. Десна, опис про фізико-географічну характеристику району, рельєфу, отримані з режимних видань, дані про кліматичну характеристику, отриману з кліматичного кадастру України.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) На підставі отриманих даних за річним стоком розглянутої території виконати статистичну обробку часових рядів, перевірити на однорідність існуючі ряди спостережень за річним стоком, виявити короткі ряди спостережень та привести їх до багаторічного періоду графічним способом. Проаналізувати циклічність у стокових рядах. Визначити норму річного стоку, виявити вплив на неї місцевих факторів та широтного положення в басейні р. Десна. Просторово узагальнити головні характеристики річного стоку (норму та мінливість).

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

Карта-схема розташування гідрологічних постів, графік різницевої інтегральних кривих, залежності середньорічних модулів річного стоку від широтного положення, від лісистості, коефіцієнтів варіації від широтного положення та площ водозборів річок басейну р. Десна.

АНОТАЦІЯ

Актуальність теми. В сучасних умовах формування стоку на річках досліджуваної території знаходяться під впливом змін клімату, як й увесь світ в цілому. Оскільки нормативний документ, розроблений ще за часів Радянського Союзу, базуються на узагальненні даних до 1975 року. При відсутності або недостатності гідрологічної інформації фахівці звертаються до карт ізоліній гідрологічних величин, узагальнених більш ніж 35 років тому. Отже уточнення розрахункових характеристик річного стоку для невивчених річок басейну р.Десна з використанням сучасних матеріалів є необхідною практичною задачею.

Метою досліджень є аналіз сучасних умов формування стоку і уточнення розрахункових характеристик часових рядів річного стоку для басейну р. Десна. Оцінка просторово-часової мінливості параметрів стоку, аналіз ступеня впливу місцевих факторів на його параметри та узагальнення розрахункових характеристик по території базуючись на сучасних даних.

Об'єкт дослідження. Модулі середньорічного стоку в басейні р. Десна за багаторічний період.

Методи дослідження. Статистичний, узагальнення, оцінка, графічний.

Теоретичне та практичне значення. Виконане дослідження має практичне значення для потреб народного господарства, яке дозволяє надійно оцінити водність річок в басейні р.Десна.

Запропоновану методику можна використовувати для визначення міри оцінки коливань річного стоку відносно його норми, за відсутності даних спостережень в басейні р. Десна

Вихідні дані. Часові ряди річного стоку за весь період спостережень на території басейну р. Десна.

Кількість сторінок –50

Кількість рисунків – 10

Кількість таблиць – 5

Кількість додатків –1

Ключові слова: *норма, параметри, коефіцієнт, мінливість, чинники*

SUMMARY

Master's qualification work of a student gr. MZG-20 *Kolesnik A.V.* on the topic "Identification of Calculated Characteristics for Annual Runoff of Rivers in the Desna River Basin"

Actuality of theme. In modern conditions, the formation of runoff on the rivers of the study area are influenced by climate change, as well as the world as a whole. Because the normative document, developed during the Soviet Union, is based on the generalization of data before 1975. In the absence or insufficiency of hydrological information, experts turn to the maps of isolines of hydrological quantities, generalized more than 35 years ago. Therefore, clarification of the estimated characteristics of annual runoff for unexplored rivers of the Desna river basin using modern materials is a necessary practical task.

The *aim* of the research is to analyze the current conditions of runoff formation and to clarify the calculated characteristics of the time series of annual runoff for the Desna river basin. Estimation of spatio-temporal variability of runoff parameters, analysis of the degree of influence of local factors on its parameters and generalization of design characteristics of the territory based on modern data.

Object of study. Modules of average annual runoff in the Desna river basin for many years.

Research methods. Statistical, generalization, evaluation, graphic.

Theoretical and practical significance. The performed research is of practical importance for the needs of the national economy, which allows to reliably assess the water content of rivers in the Desna river basin.

The proposed method can be used to determine the degree of assessment of fluctuations in annual runoff relative to its norm, in the absence of observations in the Desna river basin.

Output data. Time series of annual runoff for the entire period of observations in the Desna river basin.

Number of pages -50

Number of drawings - 10

Number of tables - 5

Number of applications -1

Key words: *norm, parameters, coefficient, variability, factors*

ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	8
1 Коротка фізико-географічна характеристика басейна р.Десна	9
1.1 Геологічна будова та рельєф.....	9
1.2 Ґрунти та рослинність.....	10
1.3 Кліматична характеристика.....	11
1.4 Гідрологічна вивченість	12
1.5 Особливості водного режиму басейна.....	13
2 Існуючі методи визначення статистичних параметрів річного стоку	15
2.1 Метод моментів.....	15
2.2 Метод найбільшої правдоподібності.....	18
2.3 Точність обчислення параметрів статистичного розподілу.....	19
2.4 Статистичний аналіз характеристик річного стоку басейна р. Десна	21
2.5 Дослідження статистичної однорідності часових рядів річного стоку басейна р. Десна	23
3 Методи розрахунку річного стоку	26
3.1 Розрахунок статистичних параметрів річного стоку при наявності тривалих рядів спостережень.....	26
3.2 Обчислення статистичних параметрів річного стоку при коротких рядах спостережень.....	28
3.3 Аналіз циклів водності на основі різницевих інтегральних кривих та їх визначення	30
3.4. Приведення статистичних параметрів річного стоку коротких рядів спостережень басейна р Десна до багаторічного періоду графічним способом.....	32
4 Удосконалення методики узагальнення характеристик річного стоку.....	38
4.1 Просторове узагальнення норми річного стоку по басейну р. Десна.....	38

4.2	Перевірочні розрахунки.....	40
4.3	Мінливість річного стоку.....	42
4.4	Узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна	42
4.5	Перевірочні розрахунки.....	44
	Висновки.....	46
	Перелік джерел посилання.....	48
	Додатки.....	50

ВСТУП

Надійна оцінка водності річок є вкрай важливою характеристикою для стабільного та безперебійного функціонування народного господарства країни.

Внаслідок майже повсюдного збільшення антропогенного навантаження на водні ресурси суші, а також внаслідок зростання невизначеностей, пов'язаних із змінами клімату, продовжує бути актуальним (і навіть стає більш невідкладним) дослідження особливостей багаторічних змін річкового стоку, що регулюється водосховищами, та зв'язків параметрів стоку з параметрами водосховищ.

Головною причиною коливань величин річного стоку є мінливість з року в рік кліматичних чинників, які пов'язані з особливостями циркуляції атмосфери. Мірою оцінки коливань річного стоку відносно його норми є коефіцієнт варіації. А тому дослідження його коливань за сучасних умов дасть змогу визначити ступінь впливу зміни кліматичних факторів формування стоку.

При відсутності або недостатності гідрологічної інформації фахівці звертаються до карт ізоліній гідрологічних величин. Існує також тенденція повної відмови від побудови карт стокових характеристик. У цьому випадку для визначення якої-небудь характеристики стоку невивчених водотоків в будь-якому районі встановлюються залежності цих характеристик з домінуючими в даному районі кліматичними або не кліматичними чинниками стоку.

Мірою мінливості є дисперсія. Допустима похибка не більше 15%. Якщо похибка вихідної інформації значні, то ряди вважаються короткими.

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНА Р. ДЕСНА

1.1 Геологічна будова та рельєф

В межах України досліджувана територія охоплює лише Чернігівську і Київську області (рис 1.1), що складає майже 50 % водозбору р. Десна, яка є найдовшою лівою притокою Дніпра. Місцевість у верхів'ї представляє рівне і обширне піднесене плоскогір'я на території Російської Федерації [1].

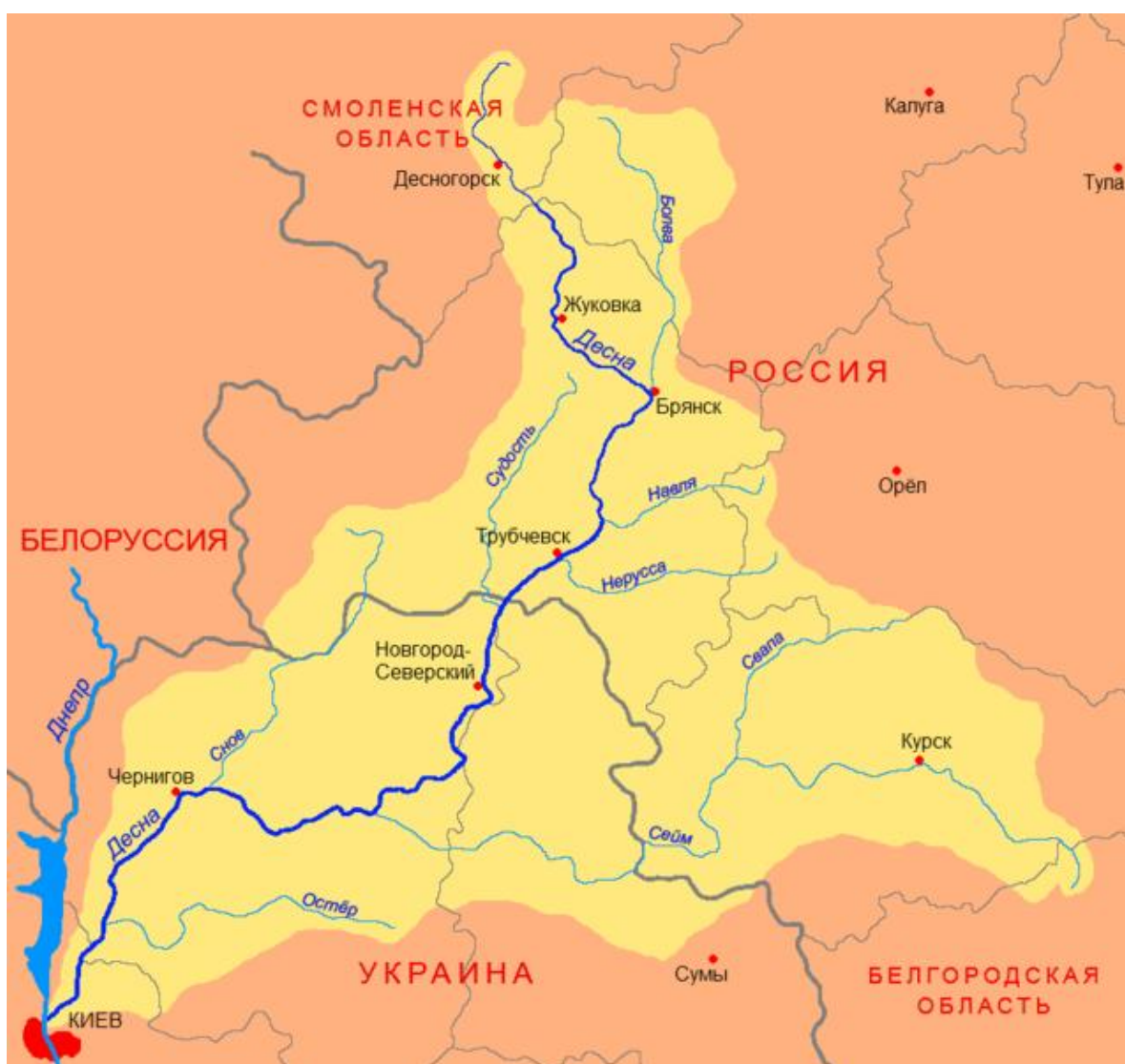


Рисунок 1.1 - Карта географічного положення басейну річки Десна

Заплава заболочена, багато проток, стариць і озер. Русло звивисте, шириною до 450 м. Глибина річки 2-4 м, найбільша - 17 м. Ухил складає 1 м на кілометр русла. Ґрунти піщані і замулені піски. Десна приймає 18 правих (найбільші Судость, Снів) і 13 лівих (основні Сейм, Остер) приток. Гідрологічний режим визначається весняною повінню і низьким літнім урізом. Амплітуда коливань рівнів води досягає 3-4м. У басейні охороняються болотяні масиви, які мають водорегулююче значення.

Річкова система Десни включає понад три десятки річок. У головну річку впадають притоки першого порядку, в них - притоки другого порядку і так далі Десна разом з притоками утворює Деснянську гідрологічну область, що охоплює територію Чернігівської і північно-східну частину Сумської областей [1].

1.2 Ґрунти та рослинність

Ґрунтовий покрив істотно впливає на елементи гідрологічного режиму. Зокрема, механічний склад ґрунтів визначає їх фільтраційні якості. У свою чергу, це впливає на умови формування поверхневого і підземного стоку. Характер ґрунтів позначається і на умовах формування стоку наносів [2].

Основними чинниками, що визначають характеристики ґрунтів, є клімат, характер підстильних порід. Великим є вплив і місцевих особливостей. У цілому поширення ґрунтів відповідає природним зонам [3].

На території області різноманітні ґрунти: від чорноземів до розвіяних пісків. На півночі і заході Брянщини, в умовах вологішого клімату і глибшого промивання, переважають підзолисті ґрунти. На півдні і сході, де опадів менше, — сірі лісові. Підзолисті ґрунти займають приблизно 65% площі області, а сірі лісові — біля 25%. Різноманітність ґрунтів пов'язана насамперед з геологічними особливостями області.

Широко поширені в області також сірі лісові ґрунти, що утворилися під впливом листяних лісів і рясного трав'яного покриву. Менш поширені в області заплавні ґрунти (ґрунти заплав річок).

Природна рослинність в Україні займає порівняно невелику площу. Це спричинено значною господарською освоєністю території. Ліси та лісовкриті площі займають 104 тис.км², або 17,3%. Площа, зайнята власне лісами, становить 94,3 тис.км² (15,6% території), чагарниками – 3,1 тис.км², полезахисними лісосмугами – 4,4 тис.км² [4].

Рослинний покрив досліджуваної території, так само як і ґрунтовий, підпорядковується відповідним фізико-географічним закономірностям. Характер та стан рослинного покриву відіграє важливу роль у попередженні ерозії ґрунту, збільшенні шорсткості поверхні, уповільненні швидкості стікання води, переведенні частки поверхневого стоку в підземний. Особливу гідрологічну роль відіграють лісові та болотні ландшафти.

Територія водозбору Десни, зважаючи на достатньо родючі ґрунти, активно освоєна у сільськогосподарському плані (близько 70% площі басейну в межах України займають орні землі), що призвело до змін у рослинному покриві, зменшення площ суцільних лісів. Нині значні території на місці колишніх широколистих лісів (на правобережжі басейну) та лучних степів (на його лівобережжі) займають сільгоспугіддя [4].

1.3 Кліматична характеристика

Кліматичні умови (термічний режим, кількість опадів, їхній розподіл у часі тощо) відіграють головну роль у гідрологічному режимі річок [5].

Географічне положення України, особливості атмосферної циркуляції та місцеві умови визначають те, що переважна частина її території характеризується помірно континентальним кліматом [6].

Дана територія розташована поблизу основних шляхів переміщення циклонів і антициклонів над Європейською територією Російської Федерації і північною частиною України. Зміна хвиль теплого і холодного повітря (особливо помітна в травні), що чергується, створює нестійку погоду, викликає грозові дощі влітку, короткочасна відлига взимку.

Приток атлантичних помірних мас обумовлює м'якість зими при значній хмарності, повернення холодів навесні, пізні весняні заморожування.

Континентальні, гарячі і сухі маси повітря приносять посушливу погоду влітку. Дія режиму вітрів, надходження і витрачання сонячного тепла, ступінь і характер хмарності, кількість опадів обумовлюють різноманітність типів погоди на території [6].

При всій різноманітності типів погоди найбільше число днів взимку доводиться на слабо - і помірно морозну погоду, а літом — на хмарну (різного ступеню), похмуру і дощову. Окремі календарні роки виділяються то лютою зимою, то посушливим літом.

Згідно метеорологічним показникам, клімат на даній території помірно континентальний - з теплим літом і помірно холодною зимою.

Запаси води у сніговому покриві накопичені перед початком сніготанення. Середній запас води в сніговому покриві становить 40 – 69 мм. Остаточний схід сніжного покриву відзначений в середньому по території на початку квітня. Тривалість періоду сніготанення визначається як число днів між датою початку сніготанення та датою сходу стійкого сніжного покриву.

Вітровий режим обумовлюється атмосферною циркуляцією та характером підстильної поверхні [7]. Для досліджуваної території переважаючими є швидкості вітру 2-4 м/с, Середні місячні швидкості вітру у листопаді-березні становлять 2,6-3,2 м/с. Максимальна швидкість, зафіксована вимірювальними приладами (флюгер, анемометр) переважно сягає 6,9-7,8 м/с у лютому, мінімальна 1,1- 1,6 у червні.

1.4 Гідрологічна вивченість

Спостереження за річним стоком у басейні річки Десна ведуться на 36 гідрологічних постах (рис. 1.2).

По території вони розподілені нерівномірно. З них на головній річці розташовано 5 постів, на річці Сейм також розташовано 5 постів, на річці Свапа –

3 поста, на річці Тускар – 2 поста і по 1 посту на річках Ветьма, Болва, Снежеть, Навля, Сев, Соля, Судость, Коста, Рожок, Ивотка, Головесня та ін. Найбільш тривалий період спостережень відмічений на р. Десна – м. Чернігів (129 років) та р. Сейм – с. Мутин (83 років). Найбільша площа водозбору складає 81400 км² на р. Десна – м. Чернігів, найменша 29,5 км² - на р. Головесня – с. Покошичи.



Рисунок 1.2 – Карта-схема розташування гідрологічних постів в басейні р. Десна

1.5 Особливості водного режиму басейна

Гідрологічний режим річок України обумовлюється багатьма факторами, які поділяються на зональні та азональні [8]. До зональних відносяться кліматичні

умови (кількість опадів і випаровування), до азональних – геолого-геоморфологічна будова басейну, його гідрографічні умови та гідрогеологічна характеристика, ґрунтово-рослинний покрив та господарська діяльність людини. Розподіл стоку великих та середніх річок переважно обумовлений змінами зональних факторів.

Стік річок країни формується за рахунок взаємодії снігових, дощових та підземних вод.

Більша частина річок України відноситься до водотоків з переважно сніговим живленням. Закономірності у змінах джерел живлення визначають типи водного режиму річок в різних районах України [9].

Десна є однією з найбільших річок басейну Середнього Дніпра. Співвідношення снігового, дощового та підземного живлення змінюється в різні за водністю роки. Стік весняного водопілля у багатоводні роки становить 70-80 % річного стоку, а середні за водністю роки 60-70%, а в маловодні 50-60%.

Початок водопілля на річці відноситься до першої декади березня, закінчується повінь в третій декаді травня. Тривалість водопілля складає майже 3 місяці. Пік повені зазвичай спостерігається в середині квітня.

У період межені спостерігаються невеликі дощові паводки.

Мінливість стоку території призводить до того, що в багатоводні роки водні ресурси Десни з притоками в 1,5-2 рази більше, а в маловодні в 2 рази менше, ніж у середній за водністю рік [9].

2 ІСНУЮЧИ МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧНОГО СТОКУ

Статистичні методи широко використовуються в гідрології, особливо під час розрахунків різних характеристик річкового стоку (річного, максимального, мінімального, внутрішньорічного розподілу та ін.

Відповідно рекомендаціям СНіП 2.01.14.83 [10], статистичну обробку рядів середньорічних модулів стоку виконують з використанням методів моментів та найбільшої правдоподібності [11].

2.1 Метод моментів

В основі метода моментів лежить визначення статистичних параметрів кривих розподілу через статистичні моменти.

При описуванні властивостей статистичних сукупностей використовуються моменти двох видів: початкові, центральні.

Початковим моментом s -го порядку α_s дискретної випадкової величини X є сума [11]

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^n x_i^s p_i. \quad (2.1)$$

Для безперервної випадкової величини сума (2.1) виражається через інтеграл, а

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

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

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

Центральним моментом дискретних випадкових величин називається математичне очікування

$$\beta_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - m_x)^s p_i}{n} . \quad (2.4)$$

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

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

При $s=1$

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

тобто перший центральний момент дорівнює нулю.

При $s=2$

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

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:

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

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) [11]. Для його усунення в (2.8) вводиться поправка, з урахуванням якої отримують більш загальний вираз для σ_x

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

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

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

При $s = 3$

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

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 $\beta_3 = 0$, то крива стає симетричною [12].

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

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

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

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

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: $\delta_s = n^2 / [(n-1)(n-2)]$. З урахуванням цього

$$C_s = \left[n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 / [(n-1)(n-2)C_v^3] \right]. \quad (2.14)$$

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 [11].

2.2 Метод найбільшої правдоподібності

В гідрологічну практику цей метод введений С.Н. Крицьким та М.Ф. Менкелем. Розрахунок статистичних параметрів методом найбільшої правдоподібності, на відміну від викладеного вище метода моментів, є більш

складним [11]. Тому в цілях спрощення розрахункової схеми Є.Г. Блохінюв запропонував спочатку обчислювати статистики:

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \quad (2.15)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg K_i; \quad (2.16)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n K_i \lg K_i. \quad (2.17)$$

Як видно із рівняння (2.15), статистика 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 трьохпараметричного 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.

2.3 Точність обчислення параметрів статистичного розподілу

Визначення числових характеристик випадкових величин є найважливішим етапом статистичного аналізу. У гідрології при розрахунках імовірнісних значень статистичних рядів найчастіше спираються на біноміальний і трьохпараметричний гама-розподіл [12]. І той, й інший передбачають наявність трьох статистичних параметрів: середнього значення вибірки, коефіцієнтів варіації і асиметрії. Моменти вищих порядків із-за великих помилок 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. Очевидно, чим більша довжина вибірок, тим вище ступінь наближення оцінок розподілу до їх шуканих параметрів. З цієї причини вибірковий аналіз обов’язково припускає не тільки обчислення оцінок, але й встановлення точності, з якою вони визначені по наявних рядах. Мірою точності є середня квадратична погрішність. При відсутності внутрішньорядних зв’язків відносна середня квадратична похибка обчислення n -річних середніх стокових рядів (в %) може бути визначена за формулою:

$$\sigma_x = \frac{100C_v}{\sqrt{n}}. \quad (2.18)$$

З формули (2.18) видно, що погрішність прямо пропорційна коефіцієнту варіації C_v і обернено пропорційна числу членів вибірки n . Більшість гідрологічних величин розраховується з точністю $\pm 10\%$, що при коефіцієнтах варіації 0,2 – 1,0 для обчислення середнього \bar{x} потребує мати ряди тривалістю 20 – 30 років [12].

Для статистичних сукупностей з наявністю внутрішньорядних зв’язків:

$$\sigma_x = \frac{100C_v \sqrt{(1+r)(1-r)}}{\sqrt{n}}, \quad (2.19)$$

де r - коефіцієнт кореляції між суміжними членами ряду.

Похибки, обчислені по (2.18), при тих же значеннях C_v і n будуть більшими, ніж по (2.19), так як $(1+r)/(1-r) \geq 1,0$. Пояснюється це тим, що при внутрішньорядній скорельованості у вихідних рядах незалежної інформації зберігається менше.

Стандартні похибки вибірових коефіцієнтів варіації C_v (в %) обчислених методом моментів, знаходяться за формулою:

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{(1 + C_v^2) / (2n)} \cdot 100. \quad (2.20)$$

Якщо коефіцієнти варіації встановлюються за допомогою метода найбільшої правдоподібності, то

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{3 / [2n(3 + C_v^2)]} \cdot 100. \quad (2.21)$$

При здійсненні гідрологічних розрахунків значення коефіцієнтів варіації повинні визначатися з похибкою не більше 15%. Якщо виходити із значень $C_v = 0,2 - 1,0$, то для цього потрібні ряди 25 – 45 років (при використанні метода моментів) або 17 – 22 роки (при використанні метода найбільшої правдоподібності) [12].

Досвід закордонних вчених щодо визначення, узагальнення та дослідження приведено в роботах [14]-[16]

2.4 Статистичний аналіз характеристик річного стоку басейна р. Десна

Статистична обробка часових рядів середньорічних модулів річного стоку виконана за методами моментів та найбільшої правдоподібності по 36 гідрологічних постах. Результати розрахунку наведені в табл. 2.1. Як видно з таблиці значення середньорічних модулів стоку змінюється від 3,06 л/с·км² (р. Сейм – с.Зуївка) до 5,60 л/с·км² (р. Снежеть - м.Карачев). Коефіцієнти варіації змінюються від 0,19 до 0,56, це свідчить про те, що в цілому для річного стоку в басейні р. Десна характерна висока ступень мінливості у рядах середньорічних модулів стоку. Вони мають майже однакові значення як у методі моментів так і у методі найбільшої правдоподібності. Метод найбільшої правдоподібності можна застосовувати для визначення параметрів, коли використовується крива трьох параметричного гамма-розподілу $C_v > 0,5$. При $C_v < 0,5$ методи найбільшої правдоподібності та моментів практично мають однакові результати [11]. Тобто

Таблиця 2.1 – Статистичні характеристики часових рядів річного стоку

Річка - пост	F, км ²	n, років	q, л (с·км ²)	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності			σq
				Cv	Cs	r(1)	Cs/Cv	Cv	Cs	Cs/Cv	
Десна - с.Олександрівка	1710	8	5,13	0,16	-0,38	-0,709	-2,3	0,19	0,08	0,4	6,9
Десна - с.Голубея	4770	18	5,35	0,25	1,07	0,31	4,2	0,24	1,47	6,1	5,7
Десна - м.Брянськ	13700	18	5,52	0,30	0,95	0,271	3,2	0,31	1,27	4,1	7,2
Десна - с.Розльоти	36300	67	4,73	0,23	0,21	0,394	0,9	0,23	0,25	1,1	2,9
Десна – м. Чернігів	81400	122	4,00	0,28	0,67	0,276	2,4	0,28	0,69	2,5	2,5
Ветьма - с.Круча	1370	34	5,28	0,32	0,31	0,348	0,9	0,33	0,36	1,1	5,6
Болва - с.Псурь	3210	36	5,15	0,22	0,19	0,235	0,9	0,23	0,25	1,1	3,8
Снежить - м.Карачев	282	33	5,60	0,31	0,41	0,39	1,3	0,31	0,47	1,5	5,4
Навля - смт.Навля	1560	32	4,73	0,27	0,60	0,34	2,2	0,27	0,68	2,5	4,8
Нерусса - с.Радогощ	1020	20	4,80	0,29	0,88	0,405	3,1	0,29	1,21	4,2	6,4
Сев - с.Новоямське	1150	28	3,30	0,35	0,64	0,249	1,8	0,36	0,74	2	6,8
Соля - с.Мальцеве	39,4	30	3,79	0,40	0,92	0,321	2,3	0,41	1,09	2,7	7,5
Судость – смт Погар	5180	36	3,60	0,34	0,70	0,217	2	0,35	0,78	2,3	5,8
Коста - с.Глазове	150	31	4,57	0,48	0,96	0,177	2	0,49	1,14	2,3	8,7
Рожок - с.Червоне	60	25	3,30	0,55	1,53	0,109	2,8	0,56	2,04	3,6	11,2
Івотка – с. Івот	1260	69	3,93	0,30	0,22	0,389	0,7	0,29	0,25	0,8	3,5
Головесня – с. Покошичі	29,5	81	5,71	0,22	0,54	0,138	2,5	0,22	0,55	2,5	2,4
Убідь – с. Кудрівка	970	24	4,08	0,26	1,03	0,228	3,9	0,25	1,31	5,2	5,1
Сейм – с.Зуївка	2320	45	3,06	0,37	0,21	0,033	0,6	0,37	0,25	0,7	5,6
Сейм – с.Лебяз'є	4870	35	3,38	0,33	0,19	0,162	0,6	0,34	0,25	0,7	5,7
Сейм –с.Ришкове	7460	47	3,70	0,32	0,49	0,18	1,5	0,32	0,53	1,7	4,7
Сейм – м.Рильськ	18100	43	3,86	0,29	0,51	0,189	1,8	0,30	0,56	1,9	4,5
Сейм – с. Мутин	25600	88	3,69	0,33	0,91	0,27	2,8	0,33	0,96	2,9	3,5
Рать – с.Беседіно	630	33	4,41	0,32	0,61	0,198	1,9	0,32	0,69	2,1	5,6
Тускарь – с.Свобода	1690	22	4,06	0,35	1,12	0,356	3,2	0,35	1,46	4,2	7,5
Тускарь – м.Курськ	2380	53	4,25	0,31	0,89	0,189	2,9	0,31	0,97	3,2	4,2
Снов – м. Щорс	781	68	4,14	0,29	0,94	0,34	3,3	0,29	1,01	3,5	3,5
Реут – с.Любицька	960	41	3,51	0,31	0,61	0,032	1,9	0,31	0,65	2,1	4,9
Прут – с.Ширкове	530	34	4,41	0,30	0,80	0,225	2,6	0,31	0,91	3	5,2
Свапа – с.Локтіонове	419	30	4,44	0,33	1,38	0,104	4,1	0,33	1,70	5,1	6,0
Свапа – с.Міхайлівка	2800	21	4,67	0,32	0,51	0,224	1,6	0,33	0,61	1,9	7,1
Свапа – с.Старе Місто	3690	48	4,61	0,31	0,65	0,286	2,1	0,31	0,71	2,3	4,5
Усожа – м.Фатєж	364	33	4,08	0,32	0,82	0,195	2,6	0,32	0,95	3	5,6
Клевень – с. Шарпівка	2440	70	3,43	0,36	1,48	0,507	4,1	0,35	1,70	4,8	4,2
Есмань - с. Ротівка	628	49	3,39	0,30	0,77	0,181	2,6	0,30	0,85	2,8	4,3
Ревна – Залізний міст	380	18	4,04	0,37	1,97	0,372	5,3	0,37	3,44	9,4	8,6

можна використовувати обидва методи. У методі моментів коефіцієнт асиметрії C_s змінюється в дуже широких межах від $-2,3$ до $5,3$. У методі найбільшої правдоподібності середнє значення C_s/C_v знаходиться на рівні $2,8$. Для розрахункової методики прийнято на рівні $3,0$.

Середня квадратична похибка в середньому по басейну р. Десна $\sigma_{q_{cp}} = 5,5\%$, а точність коефіцієнтів варіації $\sigma_{C_v} = 12,8\%$.

2.5 Дослідження статистичної однорідності часових рядів річного стоку басейна р. Десна

При використанні статистичних методів в інженерних гідрологічних розрахунках як одного з основних припущень передбачається фізична та статистична однорідність вихідної просторово-часової гідрометеорологічної інформації.

Успішність статистичного аналізу розвитку процесів у часі великою мірою залежить від правильної побудови рядів динаміки. Так, велике значення має вибір інтервалів між сусідніми рівнями низки. Найзручніше мати справу з рівновіддаленими один від одного рівнями ряду.

Оцінка однорідності гідрологічних характеристик передбачає використання як гідролого-генетичних, так і статистичних методів аналізу гідрометеорологічної інформації, які відображають по суті одне й теж гідрологічне явище і тому взаємно доповнюють одне одного.

Поділ методів оцінки однорідності на гідролого-генетичні та статистичні методи аналізу носить умовний характер і прийнятий тільки тому, щоб підкреслити можливе різноманіття умов формування гідрологічних характеристик, які можуть призвести до статистичної неоднорідності багаторічних рядів різних гідрологічних характеристик, і в жодному разі одні методи аналізу не протиставляються іншим.

Результати перевірки гіпотези про однорідність свідчить, що в басейні р.Десна по 7 діючих постах на рівні значимості як 1 % так і 5 % за загальним критерієм (осереднений результат за критеріями Фішера, Стьюдента та Вількоксона) 6 рядів є однорідними.

Основною тенденцією, або трендом, називається характеристика процесу зміни явища за тривалий час, звільнена від випадкових коливань, створюваних другою групою факторів.

На відміну від варіації явищ у просторовій сукупності, вимірюваної за відхиленнями рівнів для окремих одиниць сукупності їх середньої величини, коливання слід називати відхилення рівнів окремих періодів часу від тенденції динаміки (тренду).

Для дослідження трендів за сучасних умов формування річного стоку було побудовано хронологічні графіки (дод. А). На рис. 2.1 приведено один з них.

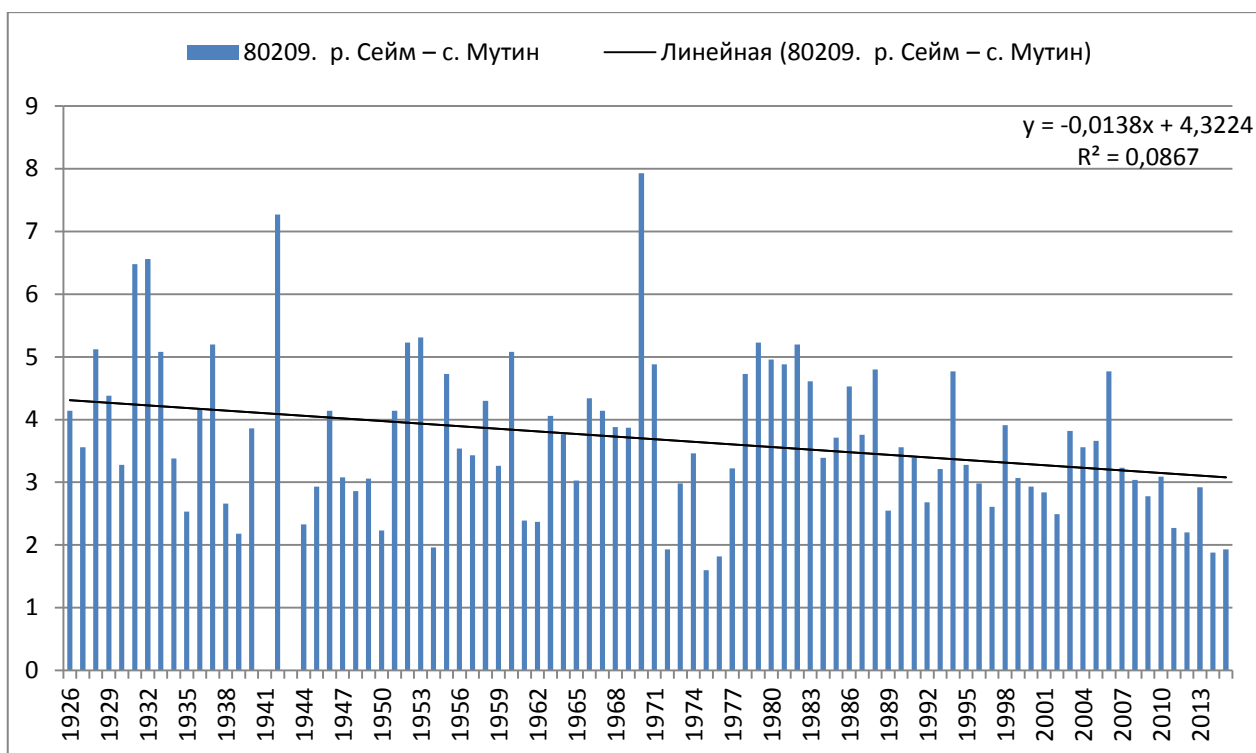


Рисунок 2.1 – Хронологічний графік середньорічних модулів стоку р.Сейм – с.Мути́н

Результати визначення трендів приведено в табл. 2.2. Визначено, що річний стік на водозборі р. Сейм – с. Мутин має значимий тренд до зменшення.

Таблиця 2.2 – Визначення значимості трендів в хронологічних рядах річного стоку в басейні р.Десна

№ п/п	Річка - пост	n, років	Рівняння	R ²	r	σr	2σr	Висновок
1	р.Десна - с.Розльоти	67	$y = 0,0069x + 4,5403$	0,0124	0,11	0,12	0,24	незначимий
2	р.Десна – м. Чернігів	129	$y = -0,0015x + 4,1125$	0,0023	0,05	0,09	0,18	незначимий
3	р. Івотка – с. Івот	70	$y = 0,0147x + 3,5058$	0,0543	0,23	0,11	0,23	незначимий
4	р. Головесня – с.Покошичі	81	$y = -0,0017x + 5,7828$	0,0011	0,03	0,11	0,22	незначимий
5	р. Сейм – с. Мутин	89	$y = -0,0138x + 4,3224$	0,0867	0,29	0,10	0,19	<i>значимий</i>
6	р. Снов – м. Щорс	68	$y = 0,0026x + 4,0459$	0,0019	0,04	0,12	0,24	незначимий
7	р. Клевень – с. Шарпівка	70	$y = -0,0049x + 3,3544$	0,0089	0,09	0,12	0,24	незначимий

3 МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ РІЧНОГО СТОКУ

3.1 Розрахунок статистичних параметрів річного стоку при наявності тривалих рядів спостережень

Однією з основних характеристик гідрологічного режиму річок є середня багаторічна величина чи норма стоку. Нормою річного стоку називається його середнє значення за багаторічний період за незмінених географічних умов та однакового рівня господарської діяльності в басейні річки, що включає кілька (не менше двох) парних замкнутих циклів коливань водності.

Середньоарифметичне значення річних величин стоку є норма річного стоку при тривалому періоді спостережень (N років), яка визначається

$$\bar{q}_N = \frac{q_1 + q_2 + \dots + q_{n-1} + q_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N}, \quad (3.1)$$

де q_1, q_2, \dots, q_n – середньорічні величини стоку; N – кількість років спостережень.

Внаслідок недостатньої тривалості фактичних рядів спостережень за річним стоком, які частіше за все, не перевищують 60-80 років та складають 20-40 років, норма річного стоку, розрахована за формулою (2.1), буде відрізнятися від істинного середнього значення q_{∞} при $N \rightarrow \infty$ на деяку величину σq_n , тобто

$$\bar{q}_n = \bar{q}_{\infty} \pm \sigma q_n, \quad (3.2)$$

де q_{∞} – середня величина річного стоку за обмежений період спостережень (n років);

σq_n – середня квадратична похибка n -річної середньої.

Для оцінки точності визначення норми стоку річок використовують відносне значення середньої квадратичної похибки. Так, якщо виразити σq_n у відсотках від q_{∞} , то отримаємо відносну середню квадратичну похибку норми стоку, яка розрахована за обмеженим рядом спостережень n років:

$$\sigma_n = \pm \frac{\sigma_q}{q_n \sqrt{n}} \cdot 100\% = \pm \frac{100C_v}{\sqrt{n}}\%, \quad (3.3)$$

де $C_v = \frac{\sigma_q}{q_n}$ – коефіцієнт варіацій річних величин стоку за n років спостережень прийнятих для визначення норми стоку коефіцієнтів варіації.

Коефіцієнт варіації рекомендується визначати за методом моментів:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (3.4)$$

де $K_i = \frac{q_i}{q_n}$ – модульний коефіцієнт.

Стандартна похибка коефіцієнта варіації σ_{C_v} обчислюється за формулою:

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} 100\%. \quad (3.5)$$

Випадкові середні квадратичні помилки вибіркового середнього визначаються за наближеною залежністю:

$$\sigma_{\bar{q}} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1 + r_1}{1 - r_1}}, \quad (3.6)$$

яка застосовується при коефіцієнтах автокореляції між суміжними членами ряду ($r_1 \leq 0.5$).

При коефіцієнтах автокореляції ($r_1 \geq 0.5$) використовується формула:

$$\sigma_{\bar{q}} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}} = \sqrt{1 + \frac{2}{n} \cdot \frac{r_1}{1 - r_1} \cdot n \cdot \frac{1 - r_1^n}{1 - r_1}}, \quad (3.7)$$

де r_1 – коефіцієнт кореляції між суміжними величинами стоку.

У свою чергу r_1 розраховується за формулою:

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - \bar{q}_1) \cdot (q_{i+1} - \bar{q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - \bar{q}_1)^2 \cdot \sum_{i=2}^n (q_i - \bar{q}_2)^2}}, \quad (3.8)$$

$$\text{де } \bar{q}_1 = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{q_i}{n-1}; \quad \bar{q}_2 = \sum_{i=2}^n \frac{q_i}{n-1}$$

Для більшої частини території СНГ норма річного стоку розраховується як його середнє значення за такою тривалістю спостережень, при якій воно є достатньо стійким для практичних розрахунків, тобто з похибкою не більше 5% (для зони достатнього зволоження), або 10% (для зони недостатнього зволоження), та з похибкою коефіцієнта варіації $\sigma_{CV} < 15\%$ [4].

3.2 Обчислення статистичних параметрів річного стоку при коротких рядах спостережень

Ряди, які не задовольняють принцип репрезентативності та точності вихідної інформації $\pm 10\%$, вважають короткими. Відповідно до СНиП 2.10.14-83 приведення статистичних параметрів розподілу до багаторічного періоду здійснюється за допомогою парної або множинної регресії за таких умов $n' \geq 10$, $r \geq 0.7$ та $k/\sigma_k \geq 2$ (де n' - число років спільних спостережень, r – коефіцієнт кореляції між величинами гідрологічних характеристик досліджуваної річки та річки-аналога, k – коефіцієнт регресії, σ_k – середня квадратична похибка коефіцієнта регресії).

Однорідністю умов формування стоку це є ідеєю цього методу приведення параметрів розподілу основана на синхронності коливань річного стоку на

близьких водозборах, що цим зумовлено. Нормативним документом рекомендується виконувати приведення параметрів коротких рядів послідовно за деякими рівняннями регресії у порядку зменшення парного або множинного коефіцієнтів кореляції.

Визначення коефіцієнта кореляції r , який є критерієм під час вибору аналога. Дані перевіряються співвідношенням k/σ_k . Коефіцієнт регресії

$$K = r \sigma_y' / \sigma_x' a \quad (3.9)$$

де σ_y' та σ_x' – середні квадратичні похибки значень стоку дослідженої річки та аналога при довжині рядів n' .

Графічний метод. Норма річного стоку визначається за графіком зв'язку річного стоку за спільний період спостережень у басейні, що вивчається, та в басейні-аналогі з багаторічними даними про стік. По побудованому графіку зв'язку середньорічних модулів стоку за спільний період спостережень за значенням норми стоку річки-аналогі знімається норма стоку для досліджуваної річки.

Графоаналітичний метод Г.А. Алексєєва. Для річки-аналогі будується емпірична крива забезпеченості річних модулів стоку. З неї знімають величини стоку в характерних точках із забезпеченістю 5, 50 та 95 відсотків (%). За допомогою графіка зв'язку середньорічних модулів стоку за спільний ряд спостережень за даними річки-аналогі знімаємо модулі 5, 50 та 95 % забезпеченості для досліджуваної річки.

Розраховується коефіцієнт скошеності за формулою

$$S = \frac{X_5 + x_{95} - 2x_{50}}{x_{50} - x_{95}} \quad (3.10)$$

По спеціальній таблиці відповідно S встановлюють коефіцієнт C_s та нормовані ординати Φ_5 , Φ_{50} , Φ_{95} .

Коефіцієнт варіації розраховується за виразом:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}}, \quad (3.11)$$

де σ_Q – середньоквадратичне відхилення;

\bar{Q} - середнє арифметичне значення.

3.3 Аналіз циклів водності на основі різницевих інтегральних кривих та їх визначення

Для дослідження циклічності у часових рядах спостереження за річним стоком в басейні р.Десна взято 7 водозборів з наявними рядами спостережень по 2015 рік.

Розрахувавши ординати різницево-інтегральних кривих та побудувавши їх (рис. 3.1) можемо відмітити, що коливання синхронні, що свідчить про однаковість умов формування стоку в межах досліджуваної території.

Проаналізувавши криві, слід відмітити, що починаючи з 2006-2010 років на річках басейну р. Днесна спостерігається маловодна фаза. У період з 1996-1998 рр. по 2005-2009 рр. відмічалась багатоводна фаза по всіх розглянутих водозборах, однак р. Сейм – с.Мутиг була у цей період у протифазі.

Проте усі розглянуті водозбори мають повні цикли водності, що має важливе значення для статистичного аналізу.

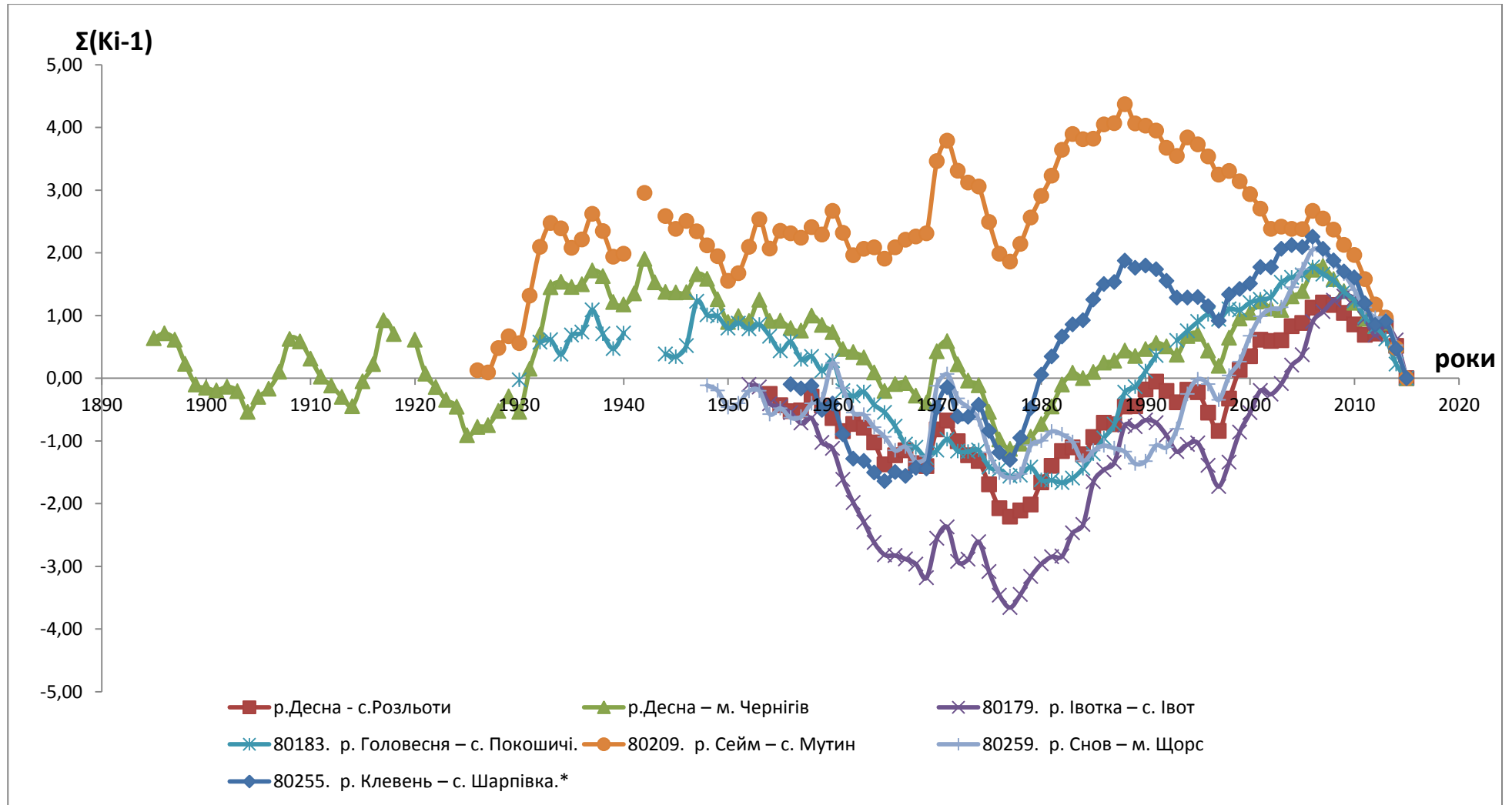


Рисунок 3.1 – Різницево-інтегральні криві стоку в басейні р. Десна

3.4 Графічний спосіб обчислення статистичних характеристик річного стоку при коротких рядах спостережень на річках басейну р. Десна

У практиці розрахунку норми річного стоку і величин його різної забезпеченості часто доводиться мати справу з короткими рядами спостережень, тривалість яких не забезпечує отримання результату з необхідною точністю (> 5%). Розрахунковий період вибирається по річках-аналогах, які мають довгий ряд спостережень, що забезпечує необхідну точність, і коливання річного стоку, відповідні коливань його в розрахунковому створі.

Розрахункова норма стоку визначається безпосередньо за нормою річки-аналога, якщо річка-аналог має тривалість спостережень, що забезпечує допустиму точність норми стоку в розрахунковому створі. В іншому випадку для річки-аналога будується інтегральна крива і по ній встановлюється розрахунковий період [13].

Як аналогів для розрахункової річки або створу вибираються розташовані поблизу водозбори, що володіють зональною однорідністю відповідно до географічної і висотному положенню і подібністю щодо факторів підстильної поверхні (озерності, заболоченості, рельєфу, характеру ґрунтів та ін.). Головним і найбільш об'єктивним критерієм правильності вибору аналога є наявність синхронності коливань річних витрат або модулів стоку і досить надійною корелятивної зв'язку стоку за роки одночасних спостережень розглянутого водозбору і його аналога. Приведення ряду до багаторічного періоду може бути зроблено за встановленою графічною або аналітичною залежністю річних величин стоку річок з коротким і довгим рядами спостережень.

Найбільш поширеним способом є побудова графічних зв'язків річних величин стоку в двох розглянутих створах за період спільних спостережень. Такі графіки дають досить наочне уявлення про тісноті зв'язку при обґрунтуванні вибору річки-аналога [12].

Побудова графіків зв'язку проводиться в таких масштабах, щоб лінія зв'язку проходила під кутом приблизно 45° .

Зв'язки річних величин стоку можуть бути прямолінійними і криволінійними. Криволінійні зв'язку припустимі лише в тих випадках, коли вони пояснюються не випадковим розташуванням точок, а характером коливання річного стоку в двох порівнюваних створах. Для обґрунтування криволінійної зв'язку необхідно мати досить велику кількість точок, не менше 15-20. У більшості випадків число точок буває недостатнім для цієї мети, і тому найчастіше приймаються прямолінійні зв'язку [11].

Задовільна лінійна залежність може бути отримана навіть по восьми - десяти річним витратам при досить тісному розташуванні точок по обидві сторони від лінії зв'язку і наявності в їх складі точок, близьких до їх середнього значення, а також при рівномірному розподілі точок по всій амплітуді річних величин стоку за спільний період спостережень.

При недостатній кількості річних витрат (п'ять-сім і менше) для побудови графіків зв'язку додатково використовуються сезонні та середні місячні величини стоку, хоча вони, як правило, розташовуються з великим розкидом. Для більш впевненого визначення напрямку лінії зв'язку використовуються центри тяжкості груп точок, а також центр ваги всіх точок, через який проходить пряма зв'язку. Зв'язок вважається задовільною і прийнятною для практичних розрахунків, якщо відхилення здебільшого точок не перевищують 15% і коефіцієнт кореляції їх $r \geq 0,7 \div 0,8$ [11].

На основі гідрологічного аналізу повинні бути пояснені усі закономірні і незакономірні відхилення, що перевищують 15%.

Коефіцієнт кореляції r визначається за формулою:

$$r = \frac{\sum (y_i - y_0)(x_i - x_0)}{\sqrt{\sum (y_i - y_0)^2 (x_i - x_0)^2}} \quad (3.12)$$

або

$$r = \frac{\sum (k_y - 1)(k_x - 1)}{nC_{vy} C_{vx}}, \quad (3.13)$$

де y_i і x_i - відповідні значення річного стоку розглянутих рядів;

y_0 і x_0 - середні значення річного стоку кожного ряду;

k_x і k_y - модульні коефіцієнти річного стоку;

C_{vx} і C_{vy} - коефіцієнти варіації річного стоку в цих пунктах за період одночасних спостережень n років.

Помилка розрахункової норми річного стоку, отриманої шляхом приведення короткого ряду спостережень до багаторічного періоду за графіками зв'язку, складається з помилки середньої величини ряду спостережень в опорному пункті на річці-аналогі і помилки кореляції, що виникає внаслідок розсіювання точок на графіку зв'язку.

Відповідно до теорії помилок, сумарна помилка для приводиться пункту, дорівнює:

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \% \quad (3.14)$$

де σ_1^2 - помилка середньої величини з довгого ряду спостережень в опорному пункті тривалістю N років;

σ_2^2 - помилка кореляції (зв'язку) стоку за період одночасних спостережень, дорівнює

$$\sigma_2 = \frac{C_{v2} \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n_2}} * 100\% . \quad (3.15)$$

У формулі (3.13) коефіцієнт варіації річного стоку в приводимо створі за період одночасних спостережень; r - коефіцієнт кореляції зв'язку річного стоку в обох створах; число років одночасних спостережень [11]-[12].

Іноді тривалість спостережень на річці-аналогі недостатня для визначення норми стоку в розрахунковому створі з необхідною точністю або період спостережень в обох створах не збігається за часом. У цих випадках норму стоку річки-аналога попередньо уточнюють безпосередньо або з подовженням ряду по

інший річці з більш довгим рядом спостережень, яка служить в свою чергу річкою-аналогом (опорним створом) для першого (безпосереднього) аналога. Помилка норми стоку, встановленої за допомогою двох зв'язків, дорівнює

$$\sigma = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2} , \quad (3.16)$$

де σ_1^2 - помилка корелятивної зв'язку стоку в першому і другому опорних пунктах, послідовно прийнятих за аналоги приводиться пункту.

У розрахунках за допомогою графічного методу, було подовжено 1 ряд спостережень, похибка якого перевищувала 10%. Для р. Рожок - с.Червоне ($\sigma_n = 11,2\%$) був обраний ряд-аналог р. Сев - с.Новоямське ($\sigma_n = 6,8\%$). Для цих річок був побудований графік залежності середньорічних модулів стоку за спільний період спостережень (рис. 3.2). Зв'язок прямолінійний, проходить через початок координат. Середнє відхилення точок від лінії зв'язку не перевищує 10%. Тангенс кута нахилу лінії зв'язку до осі аналога складає 0.63, тобто близький до лінії рівних значень [7]. Коефіцієнт кореляції дорівнює $r=0,79$

Статистичні характеристики часового ряду р.Рожок –с.Червоне за багаторічний період становлять (табл 3.1):

$$q_{cp} = 3,30$$

$$C_v = 0,36$$

$$\sigma_q = 7,1\%$$

По графіку зв'язку (рис.3.1) при $\bar{q}_N^a = 3,28$ л/скм² норма річного стоку р.Рожок – с.Червоне становить $\bar{q} = 3,30$ л/скм² [17]. Коефіцієнт варіації дорівнює (при $A = \operatorname{tg} \alpha = 0,83$).

$$C_v = A \frac{\bar{q}_N^a}{\bar{q}_N} C_v^a = 0,83 \frac{3,30}{3,28} 0,36 = 0,36$$

Похибка норми стоку приведенного ряду складає 7,1% [7].

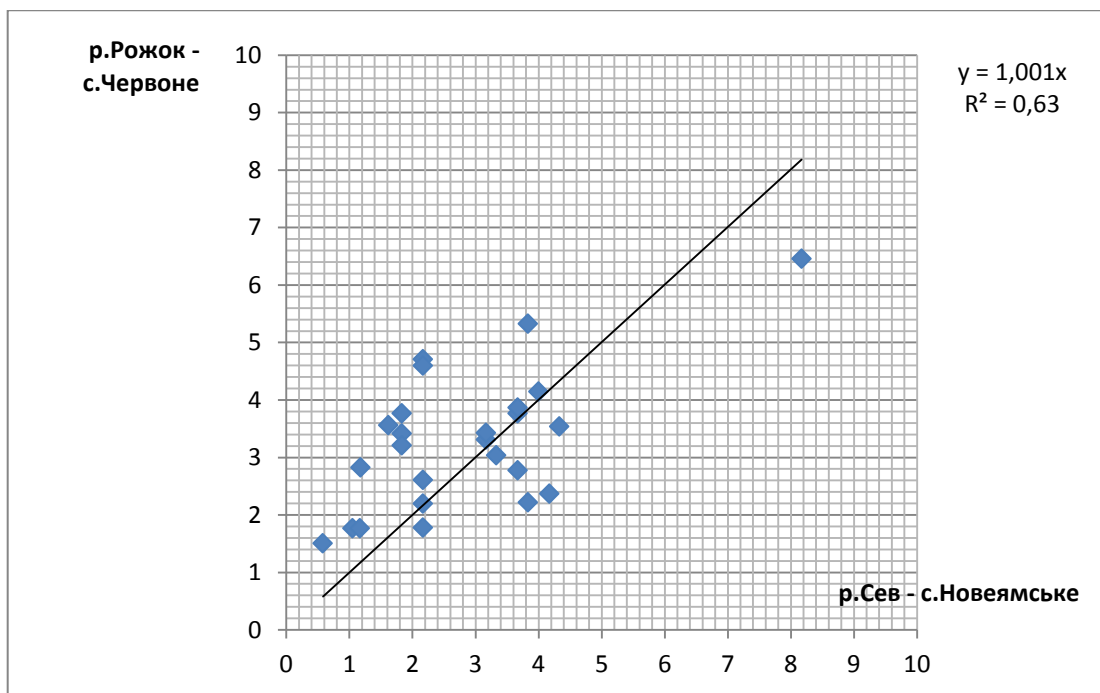


Рисунок 3.2 - Залежність середньорічних модулів стоку р.Сев - с.Новоямське (q_a) та р.Рожок - с.Червоне (q) за спільний період спостережень (1956 - 1980 рр.)

Таблиця 3.1 – Визначення кореляційної залежності між модулями річного стоку між р.Рожок - с.Червоне та р.Сев - с.Новоямське

Спільні роки спост.	Модуль стоку q_i , л/скм ² р.Рожок - с.Червоне	Модуль стоку q_i , л/скм ² р.Сев - с.Новоямське	$\Delta = q_i - \bar{q}$	$\Delta^a = q_i^a - \bar{q}^a$	Δq^2	$(\Delta q^a)^2$	$\Delta q \times \Delta q^a$	$(\Delta q + \Delta q^a)^2$
1956	3,67	3,77	0,83	0,49	0,83	0,49	0,69	0,24
1957	1,62	3,56	-1,22	0,28	-1,22	0,28	1,48	0,08
1958	4,33	3,54	1,49	0,26	1,49	0,26	2,23	0,07
1959	2,17	2,20	-0,67	-1,08	-0,67	-1,08	0,45	1,17
1960	3,17	3,31	0,33	0,03	0,33	0,03	0,11	0,00
1961	1,05	1,77	-1,79	-1,51	-1,79	-1,51	3,20	2,28
1962	4,17	2,37	1,33	-0,91	1,33	-0,91	1,77	0,83
1963	3,67	2,78	0,83	-0,50	0,83	-0,50	0,69	0,25
1964	3,83	2,22	0,99	-1,06	0,99	-1,06	0,98	1,12
1965	2,17	2,61	-0,67	-0,67	-0,67	-0,67	0,45	0,45
1966	3,67	3,87	0,83	0,59	0,83	0,59	0,69	0,35
1967	3,17	3,43	0,33	0,15	0,33	0,15	0,11	0,02
1968	1,83	3,42	-1,01	0,14	-1,01	0,14	1,02	0,02
1969	3,33	3,04	0,49	-0,24	0,49	-0,24	0,24	0,06
1970	8,17	6,46	5,33	3,18	5,33	3,18	28,43	10,11
1971	4,00	4,15	1,16	0,87	1,16	0,87	1,35	0,76
1972	0,58	1,51	-2,26	-1,77	-2,26	-1,77	5,10	3,13
1973	1,83	3,21	-1,01	-0,07	-1,01	-0,07	1,02	0,00
1974	1,83	3,77	-1,01	0,49	-1,01	0,49	1,02	0,24
1975	1,17	1,77	-1,67	-1,51	-1,67	-1,51	2,78	2,28
1976	2,17	1,78	-0,67	-1,50	-0,67	-1,50	0,45	2,25
1977	1,18	2,83	-1,66	-0,45	-1,66	-0,45	2,75	0,20
1978	2,17	4,71	-0,67	1,43	-0,67	1,43	0,45	2,04
1979	3,83	5,33	0,99	2,05	0,99	2,05	0,98	4,20
1980	2,17	4,60	-0,67	1,32	-0,67	1,32	0,45	1,74

4 УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ УЗАГАЛЬНЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РІЧНОГО СТОКУ

4.1 Просторове узагальнення норми річного стоку по басейну р. Десна

Для встановлення критеріїв використання побудованих карток необхідно визначити наявність залежності картованого параметра від площі водозбору. При побудові графіків зв'язку норми та мінливості річного стоку від площі водозбору для території було отримано поля точок, виходячи з яких виділення розрахункової залежності неможливе. Для коефіцієнта варіації характерне деяке зниження його абсолютних значень від мінімальних площ водозборів до великих, проте виділити розрахункову залежність для цієї території неможливо.

Отримані залежності також не можуть використовуватися як розрахункові. Таким чином, норма та коефіцієнт варіації річного стоку підлягають картуванню для річок з площею водозбору від 100 км² до 50000 км². Нижня межа площ водозбору визначається обмеженістю даних спостережень за стоком на менших річках, верхня межа відповідає категорії великих рік з полізональним гідрологічним режимом, визначення стоку цих водних об'єктів можливе з використанням даних стаціонарної мережі спостережень.

Першим кроком було перевірка наявності залежності величини норми річного стоку від широтного положення водозборів для річок басейну р.Десна (рис. 4.1).

Наступним кроком було дослідження можливого впливу місцевих факторів (залісеності та заболоченості) на величину норми річного стоку в басейні р.Десна (рис. 4.2). Значимих регіональних залежностей не виявлено.

Таким чином, прийнято рішення картувати величину норми річного стоку для річок басейну р.Десна, що базуються на даних по 2015 рік (рис. 4.3)

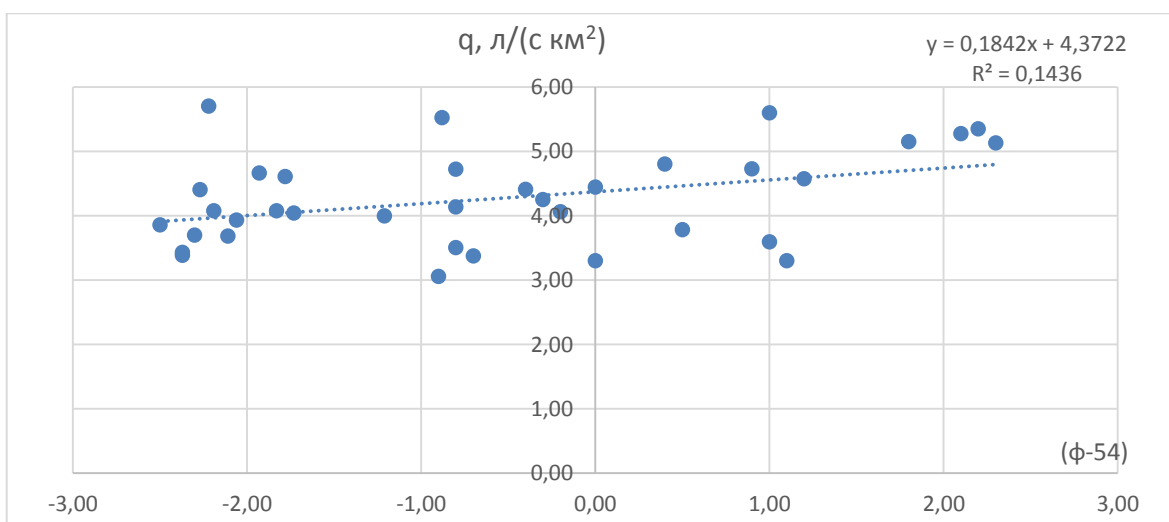
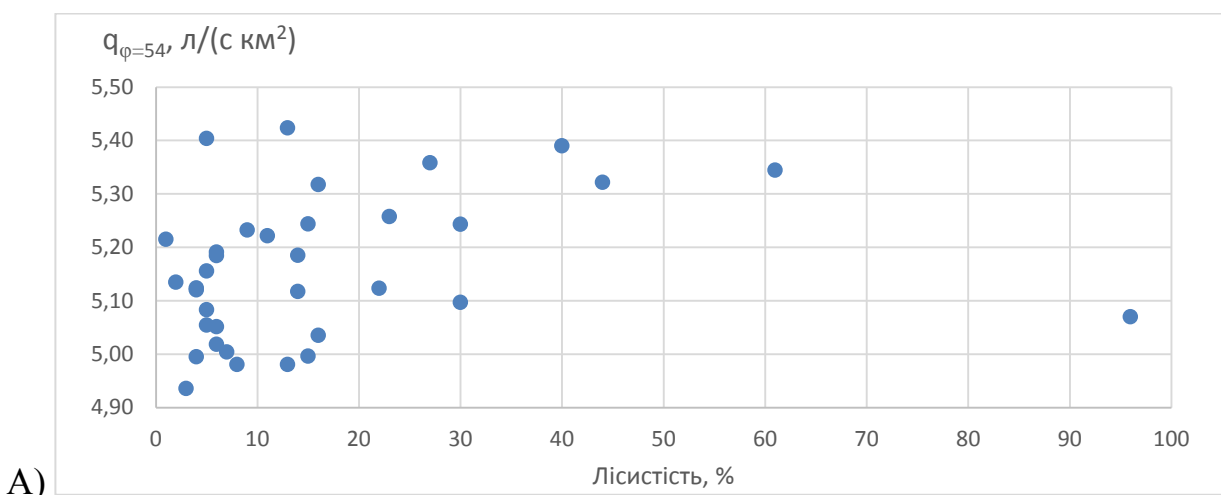
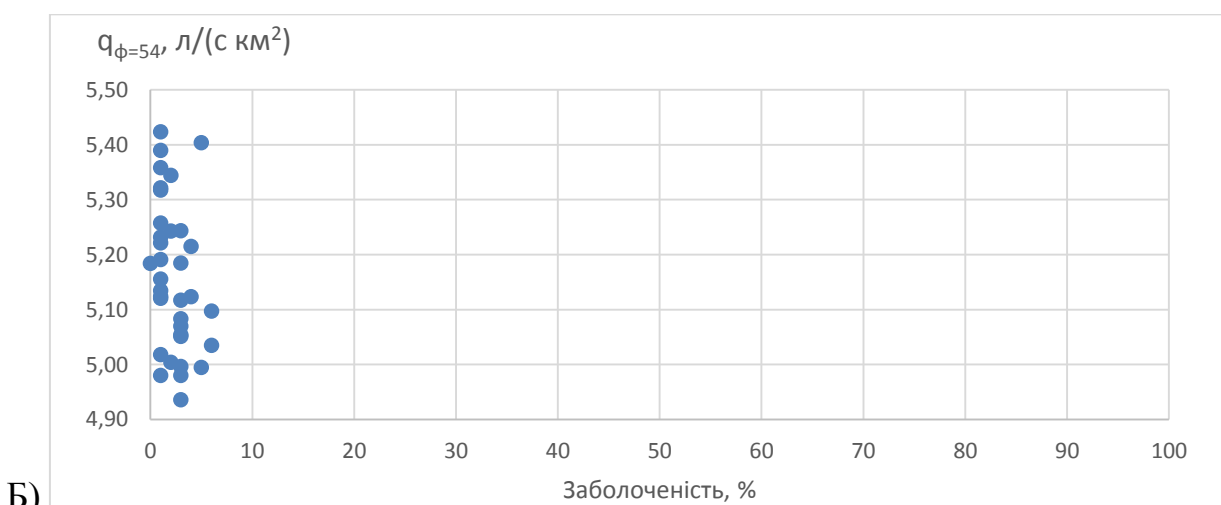


Рисунок 4.1 – Залежність модулів річного стоку (норми стоку) від широтного положення водозборів в басейні р.Десна



А)



Б)

Рисунок 4.2 – Графіки зв'язків норми річного стоку від залісеності (А) та заболоченості (Б) водозборів в басейні р.Десна

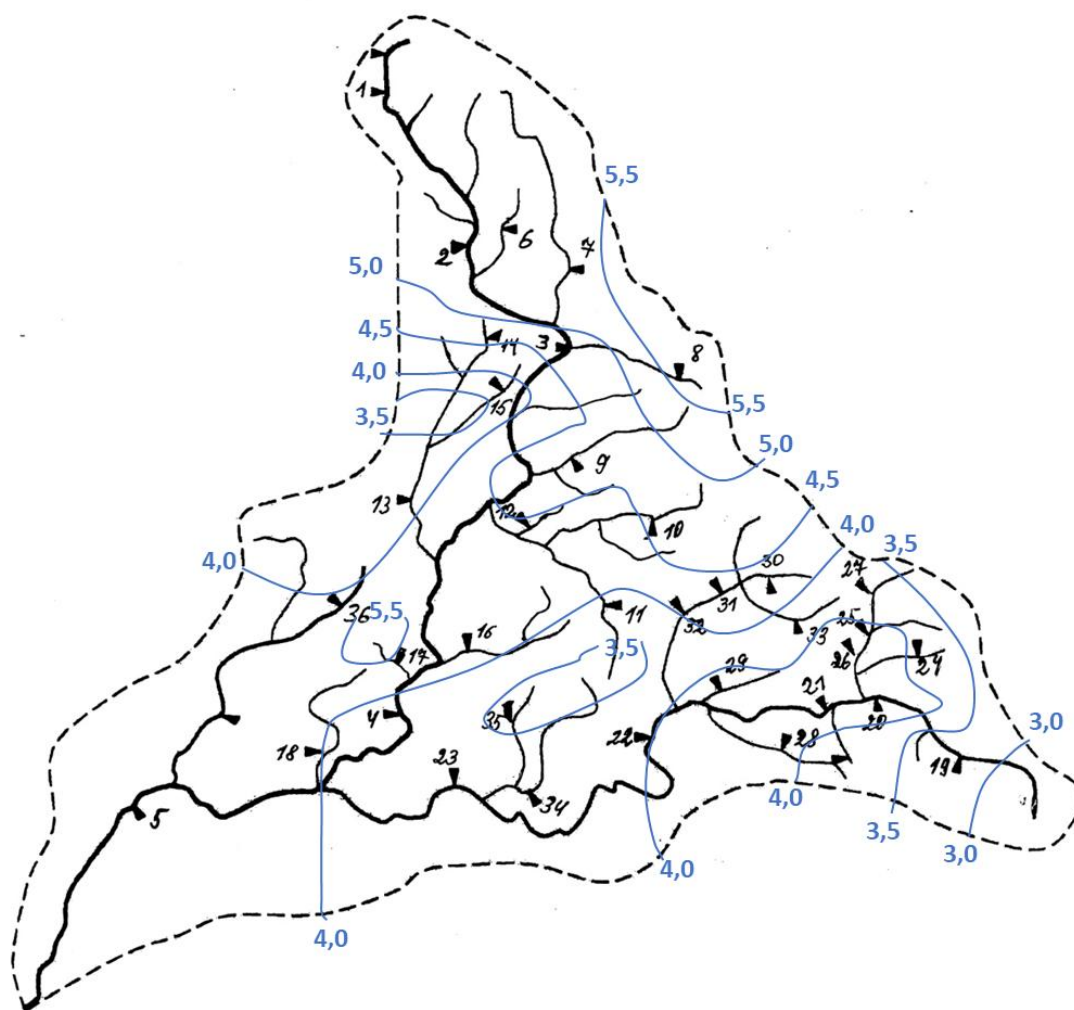


Рисунок 4.3 – Карта ізолій норми річного стоку для річок басейну р.Десна

4.2 Перевірочні розрахунки

Для перевірки точності побудови карти ізолій норми річного стоку були зняті значення з карти та порівняні з величинами розрахованими за результатами статистичної обробки (табл. 4.1)

Похибка карти складає $\pm 4,0\%$, що задовольняє вимогам нормативного документа [12] для визначення норми річного стоку.

4.3 Мінливість річного стоку

Мінливість річного стоку як і норма стоку, відноситься до кількісних характеристик, які мають безпосереднє практичне використання. Мінливість є причиною коливань величин річного стоку. Коефіцієнт варіації C_v річного стоку є характеристикою багаторічної мінливості ряду стоку: чим більше значення коефіцієнта варіації, тим більший розмах коливань величин стоку відносно середнього багаторічного значення [12].

Коефіцієнти варіації були обчислені з використанням методів моментів і найбільшої правдоподібності. Змінюються вони у досить широких межах від 0,19 до 0,56 при середній квадратичній похибці на рівні $\sigma_{C_v} \% = 12,8$, що задовляє вимоги нормативного документа [17].

4.4 Узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна

Для узагальнення коефіцієнтів варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна були побудовані залежності коефіцієнтів варіації від широти геометричних центрів водозборів та від площ водозборів (рис. 4.4, 4.5).

На підставі рівняння, яке описує залежність на рис. 4.5 отримано регіональну формулу:

$$C_v = 0,4267 - 0,0342 \lg(F + 1) \quad (4.1)$$

При необхідності встановлення характеристик річного стоку різної забезпеченості необхідно крім q_{cp} і C_v також знати коефіцієнт асиметрії. Він представляє собою 3-й центральний момент, тобто

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3 n}{C_v^3 (n-1)(n-2)} \quad (4.2)$$

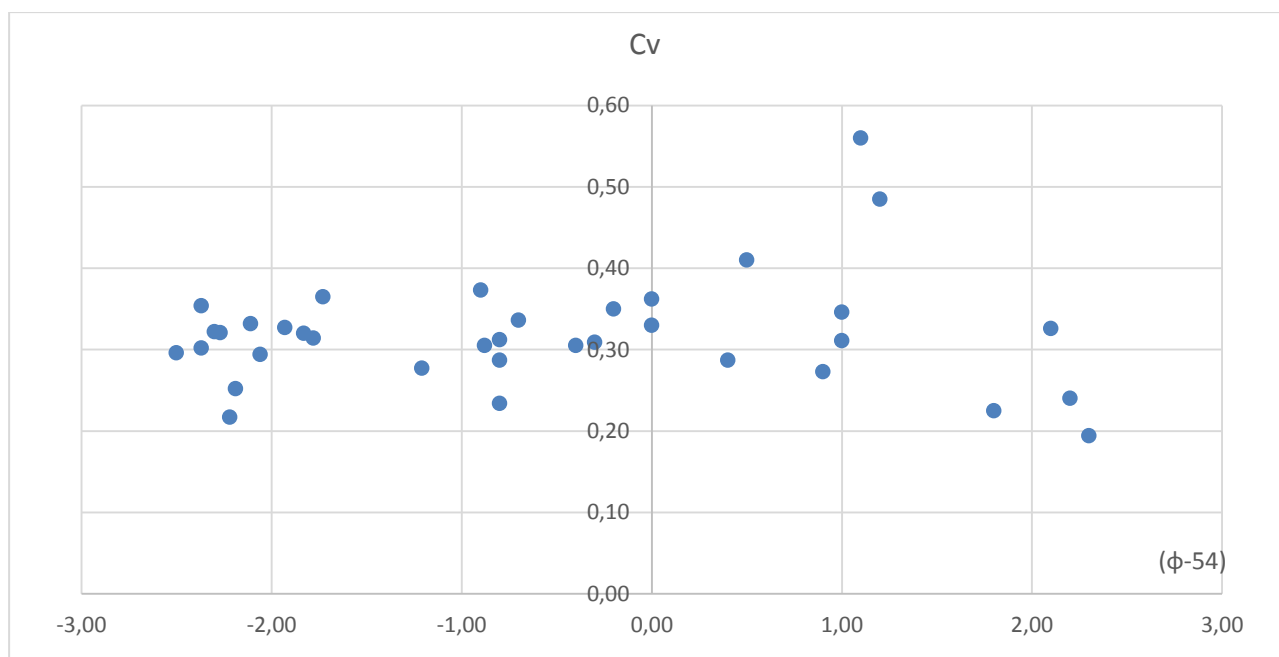


Рисунок 4.4 – Залежність коефіцієнтів варіації від широтного положення центрів водозборів

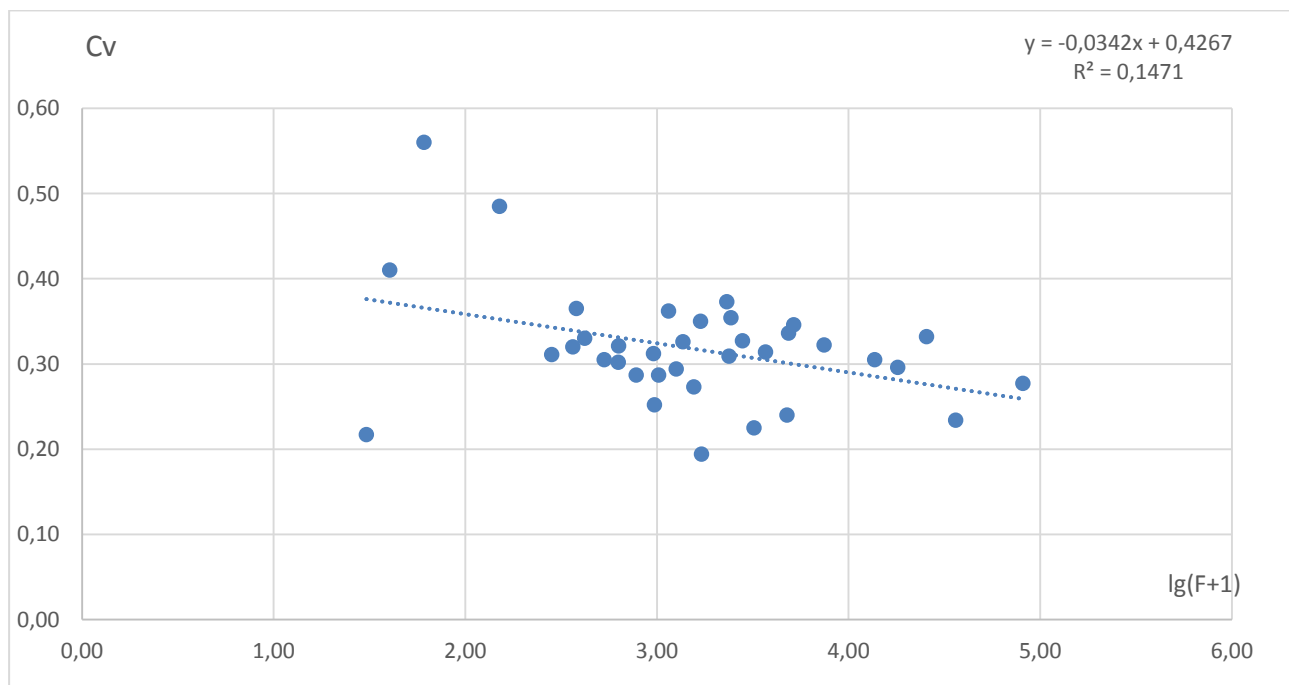


Рисунок 4.5 – Залежність коефіцієнта варіації від площі водозборів

Оскільки формула (4.2) потребує досить тривалих рядів, які в гідрології відсутні, то параметри C_s встановлюється шляхом осереднення по території

відношення C_s/C_v . Для басейну р. Десна пропонується прийняти в якості розрахункового C_s значення цього відношення для розглядуваної території $C_s/C_v=2,5$ [13].

4.5 Перевірочні розрахунки

Перевірочні розрахунки коефіцієнтів варіації, отриманих за регіональною формулою (4.2) виконувались за допомогою формули :

$$\Delta C_v = \frac{|C_{vp} - C_{v\phi}|}{C_{v\phi}} \cdot 100\% . \quad (4.3)$$

Отримані результати приведені в табл. 4.2. Середнє значення $\Delta C_v = 14,8$, що відповідає вихідній інформації по стоку річок і вимогам СНіП 2.01.14-83 ($\sigma_{C_v} \leq 15\%$)[10].

Це свідчить про те, що запропоновану методику можна використовувати для визначення розрахункової характеристики річного стоку - C_v , за відсутністю даних спостережень в басейні р. Десна.

ВИСНОВКИ

Основна мета кваліфікаційної роботи магістра досягнута, а саме виконано аналіз сучасних умов формування стоку і уточнення розрахункових характеристик часових рядів річного стоку для басейну р. Десна; оцінка просторово-часової мінливості параметрів стоку, аналіз ступеня впливу місцевих факторів на його параметри та узагальнення розрахункових характеристик по території базуючись на сучасних даних. В результаті виконання завдань кваліфікаційної роботи магістра можна зробити висновки:

1. досліджуваний регіон має певні особливості у формуванні річного стоку, що обумовлені їх географічним положенням, орографією, своєрідним кліматом через наявні гірські масиви;
2. живлення річок змішане, з переважанням снігового, річки території класифікуються як річки з весняним водопіллям;
3. за побудованими хронологічними графіками середньорічних витрат води видно, що майже по всіх розглянутих водозборах відсутня значима тенденція до зміни величини річного стоку, окрім р. Сейм – с. Мутин, де відмічається значимий до зниження тренд;
4. розглянуті часові ряди, що сформовані по 2015 рік включно, усі однорідні, окрім одного, де відмічається зниження величини стоку в останні роки через антропогенне навантаження;
5. проаналізувавши різницеві інтегральні криві показали, що починаючи з 2006-2010 років на річках басейну р. Десна спостерігається маловодна фаза. У період з 1996-1998 р. по 2005-2009 рр. відмічалась багатоводна фаза по всіх розглянутих водозборах, однак р. Сейм – с.Мутин була у цей період у протифазі. Проте усі розглянуті водозбори мають повні цикли водності, що має важливе значення для статистичного аналізу;
6. значення середньорічних модулів стоку змінюється від $3,06 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ (р. Сейм – с.Зуївка) до $5,60 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ (р. Снежить - м.Карачев).

7. Коефіцієнти варіації змінюються від 0,19 до 0,56, це свідчить про те, що в цілому для річного стоку в басейні р. Десна характерна висока ступень мінливості у рядах середньорічних модулів стоку. Точність коефіцієнтів варіації дорівнює $\sigma_{cv} = 12,8\%$.
8. досліджені місцеві фактори формування стоку, які не мають суттєвого впливу на його величину. В результаті побудована карта ізоліній норми річного стоку. Похибка складає $\pm 4\%$.
9. коефіцієнти варіації часових рядів річного стоку в басейні р. Десна узагальнені у вигляді регіональної залежності, що залежить лише від площі водозбору. Похибка визначення за формулою складає $\sigma_{cv} = 14,9\%$, що відповідає вихідній інформації і вимогам СНіП 2.01.14-83 ($\sigma_{cv} \leq 15\%$) при розрахунках річного стоку.
10. розроблені в рамках наукових досліджень а кваліфікаційній роботі магістра регіональні карта ізоліній та формула можна користуватися для визначення норми стоку та її мінливості при визначенні величини річного стоку за відсутністю даних спостережень досліджуваного району.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6 Украина и Молдавия. Вып. 2 (Среднее и нижнее Поднепровье), Ленинград : Гидрометеиздат, 1971г. 655 с.
2. Вишневський В.І., Косовиць О.О. Гідрологічні характеристики річок України, Київ : Наука – Центр, 2003. 324 с.
3. Гребінь В.В Сучасний водний режим річок України (ландшафтно – гідрологічний аналіз). Київ : Наука – Центр, 2010. 316 с.
4. Почвы Украины и повышение их плодородия. Т. 2.К.:Урожай,1988. 214с.
5. Новосад Я.О. Геологія та гідрогеологія / Я.О. Новосад. Рівне: Вид. Рівненського державного технічного університету, 2001. 180 с.
6. Генсірук С.А. Географія лісових ресурсів України / С.А. Генсірук, М.С. Нижник. Львів : Світ, 1995.123с.
7. Клімат України / Ліпінський В.М., Дячук В.А., Бабіченко В.М., Київ: Вид. Раєвського, 2003. 343с.
8. Лобода Н.С. Водні ресурси України у зв'язку з кліматичними умовами / Н.С. Лобода, Е.Д. Гопченко // Зб. Наук. пр. Укр. географ. тов. Україна : географічні проблеми сталого розвитку. 2004. С. 144-146.
9. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации -Л. : Гидрометеиздат, 1989г. 303с
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеиздат, 1983. 448 с.
11. Гопченко Є.Д Овчарук В.А., Лобода Н.С Гідрологічні Розрахунки. Одеса:ТЕС, 2014. 483с
12. Рождественський А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л. : Гидрометеиздат, 1974. 424 с.
13. Шакірманова Ж.Р., Бурлуцька М.Е. Гідрологічні розрахунки і прогнози: Конспект лекцій. Одеса: Видавництво ОДЕКУ. 2016. 158 с

14. Gardner, L. R., 2009: Assessing the effect of climate change on mean annual runoff. *J. Hydrol.*, Vol 379, 351–359
15. J. Teng, F. H. S. Chiew, J. Vaze, S. Marvanek and D. G. C. Kirono. Estimation of Climate Change Impact on Mean Annual Runoff across Continental Australia Using Budyko and Fu Equations and Hydrological Models. *Journal of Hydrometeorology* Vol. 13, No. 3 (June 2012), pp. 1094-1106 (13 pages) Published By: American Meteorological Society <https://www.jstor.org/stable/24914691>
16. Yining Li. Performance evaluation of Tanh and AWBM rainfall-runoff models. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 768 012048 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/768/1/012048/pdf>
17. Бурлуцька М.Е., Романчук М.Є., Колесник А.В. Мінливість у часових рядах річного стоку (на прикладі басейну р. Десна) VIII Международная научно-практическая конференция «MODERN SCIENCES : POBLEM SANDIN NOVATIONS» направление «Географические науки»» ISBN 978-91-87224-07-2, UDC 001.1, Стокгольм, Швеция 18-20 октября, 2020 С. 145-149.
18. Колесник А.В., маг. гр. МЗГ-20. Приведення статистичних параметрів річного стоку коротких рядів спостережень до багаторічного періоду на прикладі басейну р.Десна // Матеріали XIX наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ, 26-30 квітня. Одеса: ОДЕКУ. 2021. С.69.

Додаток А

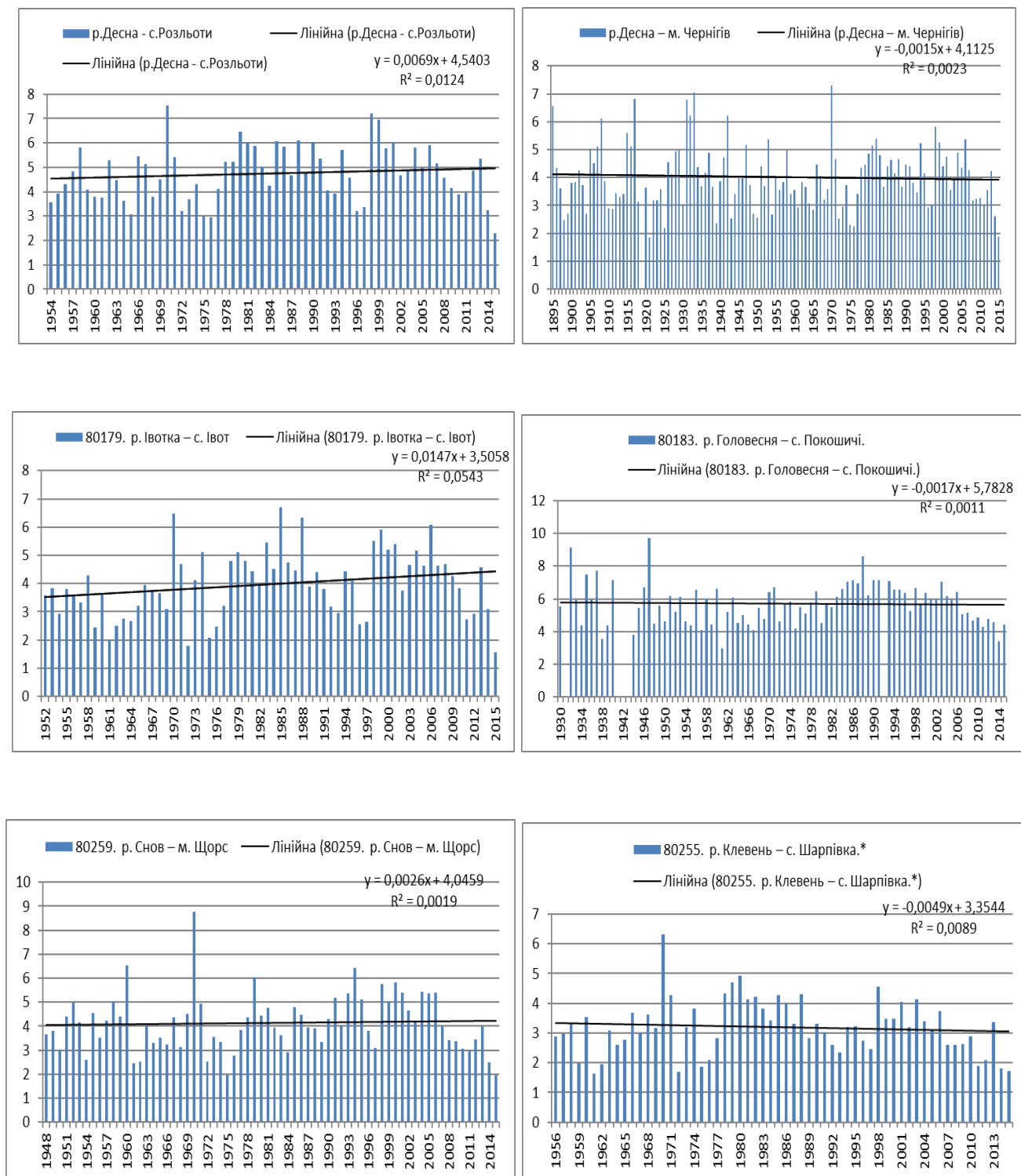


Рисунок А.1 – Хронологічні графіки середньорічних модулів стоку річок басейну р.Десна