

**-МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Навчально-науковий  
Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра гідрології суші

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: Мінімальний та екологічний стік річок Півдня України

Виконав студент групи ГО-18  
спеціальності 103 Науки про Землю  
Кретов Андрій Олександрович

---

Керівник д-р. геогр. наук, доц.  
Овчарук Валерія Анатоліївна

Консультант \_\_\_\_\_

---

Рецензент д-р. геогр. наук, проф.  
Хохлов Валерій Миколайович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут  
Кафедра Гідрології суші  
Рівень вищої освіти бакалавр  
Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)  
Освітня програма Гідрометеорологія  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри гідрології суші

*Шакірманова Ж.Р.* Шакірманова Ж.Р.

“ 02 ” березня 2022 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА**

студенту(ці) Кретов Андрій Олександрович  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Мінімальний та екологічний стік річок Півдня України  
керівник роботи Овчарук Валерія Анатоліївна, д-р. геогр. наук., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від “21” грудня 2021 року №267 «С»

2. Строк подання студентом роботи 05.06.2022 р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Щорічні данні спостережень за мінімальним добовим стоком межені на річках Півдня України;

2. Гідрографічні та морфологічні характеристики річок Півдня України;

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

1. Коротка фізико-географічна характеристика досліджуваної території;

2. Статистична обробка вихідної інформації по мінімальному добовому стоку річок басейну Південного Бугу;

3. Дослідження циклічності коливань меженного стоку;

4. Оцінка репрезентативності отриманих статистичних параметрів

5. Визначення екологічних витрат води для малих річок Півдня України.

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

1. Карто-схеми фізико-географічного положення досліджуваної території, рослинності та ґрунтів в межах басейну, картосхема розташування гідрологічних постів.

2. Різницево-інтегральні криві добового меженного стоку річок басейну Південного Бугу

3. Емпіричні криві забезпеченості стоку річок досліджуваної території  
 Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 2.03.2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1.	Дослідження фізико-географічних умов формування межени на річках Півдня України на прикладі басейну Південного Бугу	02.03-07.03.2022	95	<i>відмінно</i>
2.	Короткий огляд методів розрахунку мінімальних витрат води при наявності, недостатності та відсутності вихідної інформації	07.03-10.03.2022	90	<i>відмінно</i>
3.	Короткий огляд методів розрахунку екологічного стоку річок	10.03-14.03.2022	90	<i>відмінно</i>
	<b>Рубіжна атестація</b>			
4.	Статистична обробка вихідної інформації по мініальному добовому стоку межени, розрахунок екологічного стоку	14.03-20.03.2022	95	<i>відмінно</i>
5.	Аналіз циклічності коливань кореляційних зв'язків в часових рядах стоку добових мінімальних витрат води на річках басейну Південного Бугу	23.05-25.05.2022	95	<i>відмінно</i>
6.	Вибір річок аналогів та уточнення статистичних параметрів при недостатності спостережень	25.05-31.05.2022	95	<i>відмінно</i>
7.	Дослідження впливу місцевих та зональних факторів на розрахункові характеристик зимової межени	31.05-05.06.2022	94	<i>відмінно</i>
	Перевірка роботи на плагіат	05.06-07.06.2022		
	Підготовка доповіді, презентації	07.06-14.06.2022		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		95	<i>відмінно</i>

Студент

АН  
(підпис)

**Кретов А.О.**

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

[підпис]  
(підпис)

**Овчарук В.А.**

(прізвище та ініціали)

## Зміст

	С.
Вступ.....	6
1. Фізико-географічні умови формування межені на річках Півдня України на прикладі району річкового басейну Південного Бугу	8
1.1 Сучасне гідрографічне районування території України	9
1.2. Гідрологічна вивченість району басейну Південного Бугу	11
1.3. Кліматична характеристика досліджуваної території	12
1.4. Умови формування меженного стоку	14
2. Методи визначення характеристик мінімального стоку річок	
2.1. Визначення розрахункових параметрів мінімального стоку при наявності тривалих рядів спостережень	16
2.2. Розрахунки статистичних параметрів меженного стоку при коротких рядах спостережень	17
2.3. Методики визначення характеристик мінімального стоку при відсутності спостережень	22
3. Розрахункові характеристики мінімального добового стоку в районі річкового басейну Південного Бугу	
3.1. Визначення статистичних параметрів мінімального стоку по наявних тривалих рядах спостережень	23
3.2. Аналіз циклічності рядів мінімального добового стоку річок в басейні Південного Бугу	28
3.3. Вибір річок аналогів для уточнення статистичних параметрів при недостатності та відсутності спостережень.	30
3.4 Уточнення статистичних параметрів для річок з короткими рядами спостережень	34
3.5 Дослідження впливу зональних та інтрозональних факторів добовий мінімальний стік межені в басейні р.Південний Буг	39
4. Поняття „екологічний стік” та „екологічна витрата води”	46

4.1. Методи визначення екологічних витрат води	48
4.1.1 Методика УкрГМЦ	48
4.1.2 Міжнародні методи визначення екологічного стоку	50
4.1.3 Методи гідрологічних обґрунтувань (Hydrology-based Assessment)	51
4.1.4 Методи виявлення функціональних зв'язків (Functional Analysis)	52
4.1.5 Методи гідравлічної оцінки (Hydraulic Rating Methods)	52
4.1.6. Моделювання довкілля (Habitat Simulation Methodologies)	53
4.1.7. Комплексна методологія (Holistic Methodologies)	53
5. Визначення екологічного стоку на прикладі малих річок Півдня України	55
Висновки.....	70
Список використаних джерел.....	73
Додаток А - Перелік досліджуваних гідропостів та їх гідрографічних характеристик у басейні річки Південний Буг.....	77
Додаток Б - Вихідні данні по мінімальному добовому стоку річок басейну Південного Бугу.....	79
Додаток В - Кореляційна матриця рядів мінімального добового стоку в басейні р.Південий Буг.....	87
Додаток Г - Результати приведення до тривалого періоду рядів мінімального добового стоку річок басейну Південного Бугу	89

## ВСТУП

Під *мінімальним стоком* слід розуміти найменший меженний стік, який має місце протягом року. Розрахунки мінімального стоку, особливо для невивчених водотоків, складають найбільш відповідальну частину всього гідрологічного розрахунку.

*Мінімальні витрати води*, що визначають собою водні ресурси річок в саме маловодну пору року, становлять великий практичний інтерес. Вони враховуються при вирішенні найрізноманітніших водогосподарських завдань: проектування гідравлічних станцій для виробки дешевої енергії, водопостачання міст, сільських населених пунктів, залізничного транспорту.

*Мета і завдання* бакалаврської кваліфікаційної роботи полягають в дослідженні умов формування мінімального добового стоку за літньо-осінній період та екологічного стоку на річках Півдня України в сучасних кліматичних умовах;

- аналізі циклічності в рядах мінімального добового стоку, на прикладі річкового басейну Південного Бугу;
- статистичній обробці вихідних даних та дослідженні впливу зональних на місцевих факторів на характеристики стоку літньо-осінньої межени;
- визначенні екологічної витрати води на прикладі малих річок Півдня України.

*Об'єкт дослідження* – розрахункові характеристики мінімального добового стоку в районі річкового басейну Південного Бугу та екологічні витрати річок Півдня України.

*Практичне значення* розрахунків екологічної витрати води річок Півдня України полягає в тому, що дає змогу визначити кількісне значення води у річці, яка повинна залишитись у водному об'єкті для нормального функціонування прісноводних екосистем

# 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ФОРМУВАННЯ МЕЖЕНІ НА РІЧКАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ НА ПРИКЛАДІ РАЙОНУ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ

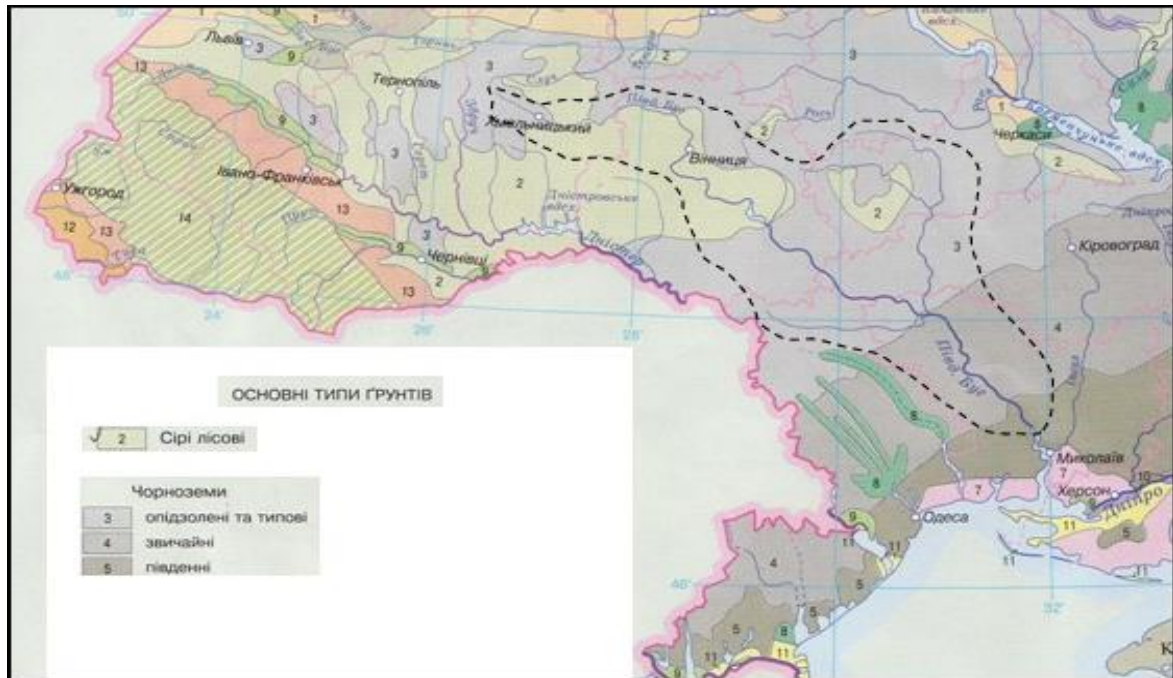
Південний Буг - річка на південному заході України, що протікає по території п'яти українських областей - Хмельницької, Вінницької, Кіровоградської, Одеської та Миколаївської. Це третя за величиною річка України, довжина якої - 806 км, площа басейну - 63700 км<sup>2</sup>, загальне падіння 328 м, середній ухил водної поверхні 0,4 ‰, середній зважений 0,4 ‰, коефіцієнт звивистості річки 1,57. Розглядувана територія в межах басейну р.Південний Буг включає головний водотік – р.Південний Буг, основні його притоки – рр.Рів, Соб, Савранка, Кодима, Сихюха, Інгул.

Свій початок Південний Буг бере від витоків на Поділлі, на схід від Волочиська і в 90 км на захід Хмельницького. Витікає річка з боліт на Подільській височині і тече на схід через Вінницю, поблизу якої змінює напрямок на південний схід; разом з Дніпром утворює Дніпро-Бузький лиман і у міста Очаків впадає в Чорне море (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Карто-схема географічного положення р. Південний Буг[1].

У ґрунтово-кліматичному відношенні рівнинна територія р. Південний Буг відноситься до Лісостепової та Степової зон. В межах лісостепової зони знаходиться велика частина басейну Південного Бугу (рис.1.2) .



Рисуюнок 1.2- Карта ґрунтового покриття басейну р. Південний Буг [2].

По географічному районуванню ця територія включає наступні округи: Дніпровсько - Бугський з дубовими лісами і луговими степами, правобережно-південно-західний з дубовими і грабово-дубовими лісами, лугові степи [3].

### 1.1. Сучасне гідрографічне районування території України

Гідрографічне районування здійснено в рамках гармонізації національної водогосподарської діяльності з підходами у Європейському Союзі, закріпленими у Водній рамковій директиві, з метою розробки планів інтегрованого управління річковими басейнами і ґрунтується на гідрографо-географічному підході до районування території [4].

Межі гідрографічних одиниць проходять по вододілах річкових басейнів і суббасейнів, вони не перетинають акваторії водосховищ та озер. Якщо частина



річкового басейну знаходиться поза територією України, то частина межі гідрографічної одиниці збігається з відповідною ділянкою Державного кордону України (у Дунаю, Вісли, Дніпра, Дону). Вся територія України поділяється на 9 гідрографічних одиниць басейнового рівня (райони річкових басейнів). Головною річкою району річкового басейну є велика річка, що впадає в море (наприклад, Дніпро, Південний Буг та ін.), або велика річка, що впадає в іншу велику річку.

З метою реформування та покращення системи управління водними ресурсами держави при та урахуванням досвіду інших країн з впровадженням положень Водної Рамкової Директиви (Директива 13 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради від 23 жовтня 2000 року про встановлення рамок діяльності Співтовариства у сфері водної політики (надалі ВРД ЄС) [5] та при створенні Плану управління річковим басейном в роботах здійснене нове гідрографічне районування території України за басейновим принципом. Головним критерієм при встановленні гідрографічних одиниць басейнового рівня (району річкового басейну) є площа водозбірної території, мінімальна величина якої не повинна бути меншою від площі басейну головної великої річки, а максимальна величина не встановлюється, якщо він включає басейн однієї великої річки [6]. Встановлення гідрографічних одиниць та визначення їх меж здійснюється на основі державних топографічних карт та цифрових моделей рельєфу з використанням геоінформаційних технологій. Опис меж кожної гідрографічної одиниці включає в себе низку етапів, у тому числі фізико-географічну характеристику проходження меж гідрографічних одиниць в прилеглий місцевості таких як рельєф, гідрографія, ґрунтовий і рослинний покриви, ландшафт, мережа ліній сполук, інші географічні компоненти. При цьому застосовуються географічні найменування об'єктів місцевості [7]. В межах території України виділено 9 районів річкових басейнів серед яких відділяємо досліджувану зону Південного Бугу яка зображена на рис.1.3. під номером 4.

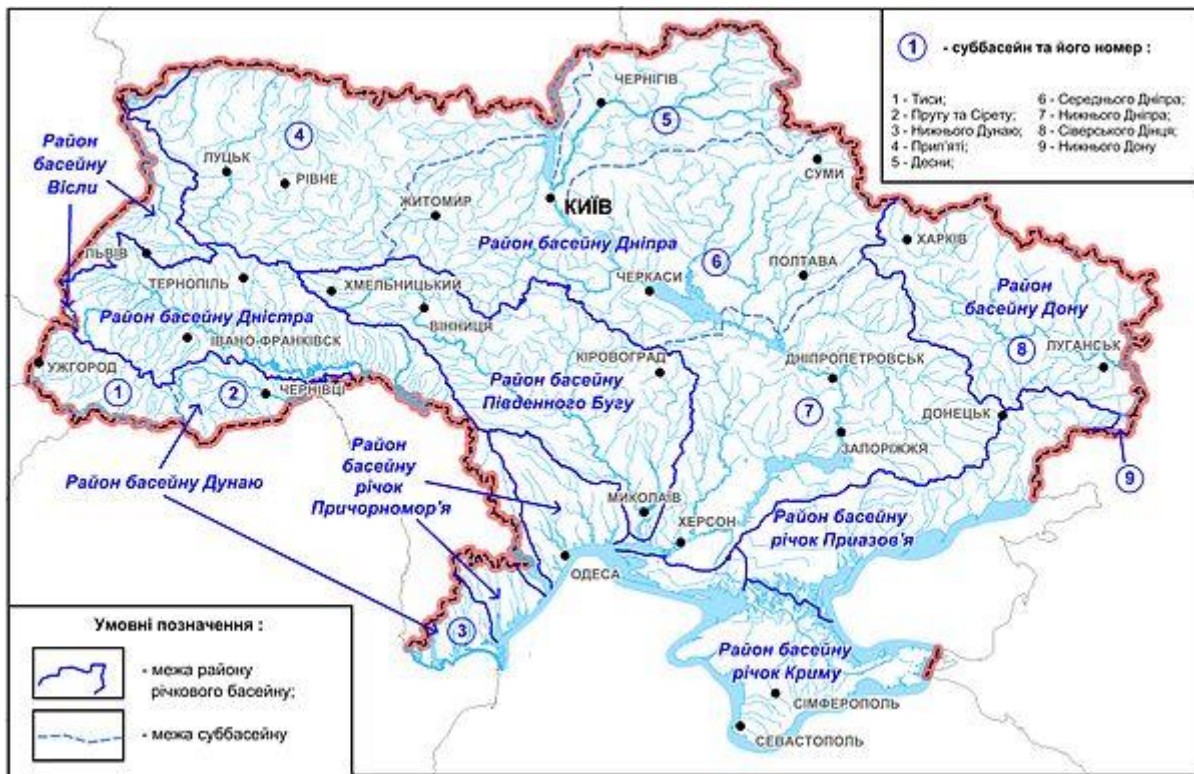


Рисунок 1.3 - Сучасне гідрографічне районування території України [8].

## 1.2. Гідрологічна вивченість району басейну Південного Бугу

Річка Південний Буг належить до числа великих річок басейну Чорного моря і є найбільшою, басейн якої повністю розташований у межах України. Її басейн площею 63 700 км<sup>2</sup> межує з басейнами Дністра (на заході) та Дніпра (на півночі та сході). Довжина річки — 806 км. Басейн Південного Бугу розміщений на території семи областей України, найбільші частини площі припадають на Вінницьку (25,7%), Кіровоградську (24,2%), Миколаївську (23,2%) і Черкаську (13,2%). Невеликі частини річкового басейну розташовані у межах Одеської, Хмельницької та Київської областей. Витік річки розташований на Подільській височині поблизу с. Холодець Хмельницької області. У басейні Південного Бугу протікає 6594 річки; їхня сумарна довжина становить 22,4 тис. км. Здебільшого це малі річки довжиною менше 10 км. Лише 349 річок мають довжину понад 10 км, з них 15 мають протяжність понад 100 км — Південний Буг, Рів, Соб, Кодима, Синюха, Гірський Тікич, Гнилий

Тікич, Велика Вись, Ятрань, Чорний Ташлик, Мертвовід, Чичиклія, Гнилий Єланець, Інгул та Громоклія.

Басейн Південного Бугу належить до числа добре вивчених у гідрологічному відношенні. На розглядуваній території знаходяться 42 гідрологічних поста, 6 з яких мають короткі ряди спостережень, та 6 постів на яких ведуться спостереження тільки за рівнем води. Вихідними матеріалами по характеристиках мінімального добового стоку були прийняті багаторічні дані по 28 гідрологічних постах. По території, що розглядається, пости розміщені досить рівномірно (рис.1.4).



Рисунок 1.4 - Карта-схема розташування гідрологічних постів в басейн р. Південний Буг.

Перелік досліджуваних гідропостів у басейні річки Південний Буг представлений в додатку А.

### 1.3. Кліматична характеристика досліджуваної території

У формуванні клімату басейну Південного Бугу важливе значення відіграє циркуляція атмосфери, з якою пов'язані переміщення повітряних мас з Атлантики, Арктики і Середземномор'я. У верхів'ї та середній частині басейну клімат помірно континентальний. Клімат південних районів знаходиться під впливом Чорного моря і в нижній течії річки неспішно переходить у посушливий. Значна протяжність території басейну з північного заходу на південний схід спричиняє помітні відмінності у розподілі температури повітря. Середня річна температура повітря змінюється від 7,1 до 10,0°C. Середня багаторічна температура повітря у верхній і середній частинах басейну коливається у межах 7,1–8,1°C. Максимальна температура серед літа сягає 39°C, мінімальна — до -38°C. Для цієї частини басейну зимовий період характеризується опадами у вигляді снігу, частими туманами. Середня висота снігового покриву становить від 10 до 15 см. В окремі роки зима буває стійкою й суворою. Весна вирізняється різким переходом від потепління до похолодання, від сухої погоди до дощової. У травні починає формуватися грозова діяльність. Погодні обставини літнього сезону відзначаються значним підвищенням температури, великою кількістю ясних днів, збільшенням кількості опадів, активною грозовою діяльністю. Для осіннього сезону (особливо другої його половини) притаманні часті похмурі дні, тривалі опади й тумани. Річна норма опадів у верхній та середній частинах басейну становить від 669 до 550 мм, потроху зменшуючись із півночі на південь. Нижня частина басейну р. Південний Буг розташована у межах степової зони України з помірно-континентальним кліматом, для якої притаманні тепле літо і м'яка нестійка зима. Середньорічна температура повітря тут коливається від 8,0 до 10,0°C. Максимальна температура повітря (до 40°C) спостерігається у липні-серпні, мінімальна температура (до -35°C) відмічається в січні. У нижній частині басейну сніговий покрив устанавлюється у другій половині грудня і руйнується в кінці лютого — на початку березня. Середня висота снігового

покриву 5-8 см. Глибина промерзання ґрунту в середній і нижній частині долини 20-50 см. Річна кількість опадів у нижній частині басейну становить від 470 до 540 мм. Відносна середньорічна вологість повітря 60-65%. Швидкість випаровування з поверхні води у верхній і середній частині басейну становить 530-625 мм, у нижній частині - 800-900 мм. У басейні переважають вітри північно-західного напрямку. Середньорічна швидкість вітру становить 3,0-4,4 м/с, а максимальна - вище 30 м/с [9].

#### 1.4. Умови формування меженного стоку

Під формуванням меженного стоку рівнинних і гірських річок можна розуміти як літньо-осінній та зимовий стік, в цей час річки забезпечені переважно підземними водами і лише зрідка взимку живляться від дощу або танення снігу. Фактори, що впливають на формування річкового стоку, поділяють на тимчасові та постійні. Перший з них – це погодні умови (опади під час повені) та підземне живлення річок. До перших з них відносять кліматичні умови (кількість опадів періоду формування стоку) та підземне живлення річок. Роль рідких опадів в стоці річок меженного періоду залежить від кліматичних умов той географічної зони, де розташований водозбір. У посушливих зонах суттєвий дощовий стік у межень практично відсутній. В зонах надмірного зволоження (наприклад, північні та північно-східні райони України), навпаки, дощові паводки на річках в період межені – явище часте, особливо восени. Однак, як в цієї зоні бувають періоди тривалої відсутності дощу, коли річки переходять на підземне живлення, так і в посушливих зонах, в загальному у степовій частині території України, іноді буває дощове літо і осінь, коли поверхнева складова стоку стає значною. Зимом, в зонах з м'яким кліматом, річки отримують додаткове живлення за рахунок дощів та танення снігу у періоди зимових відлиг (південні райони України). Запаси підземних вод, які в основному й обумовлюють меженний стік, складаються з двох джерел вод: глибинних (напірних) та ґрунтових вод. Доля глибинного підземного

живлення обумовлена геологічною та гідрогеологічною будовою водозборів, воно достатньо стає і може бути визначено за мінімальними витратами води літньої або зимової межні. Грунтове живлення відбувається за рахунок першого від поверхні безнапірного водоносного горизонту, має сезонні коливання, поповнення ґрунтових вод здійснюється в період весняних водопіль.

Суттєвий вплив на режим річок в межень оказують й постійно діючі фізико-географічні фактори: рельєф, площа водозборів, глибина перерізу русла, наявність озер та боліт. Чим більший розмір водозбору, тим більш плавно відбуваються зміни в режимі річки. Так, в степовій зоні на великих річках дощові паводки слабо виражені, але ж на малих – вони можуть бути катастрофічно високими. Озера та болота на водозборах перерозподіляють сезонний стік, збільшуючи його у меженний період [10].

## 2. МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК

### 2.1. Визначення розрахункових параметрів мінімального стоку при наявності тривалих рядів спостережень

Основним розрахунковим параметром є мінімальна 30-добова або середньомісячна витрата води в зимовий і (чи) літньо-осінній сезони. Мінімальна середньодобова витрата визначається з урахуванням 30-добової мінімальної витрати. Розрахункові мінімальні витрати води річок визначають для зимового і літньо-осіннього сезонів. В цей розрахунок включають наступні характеристики: мінімальну середньодобову витрату, мінімальну середньомісячну витрату за календарний місяць або за 30 діб, з найменшим стоком. За зимовий період приймається час від початку льодових явищ на річках даної території до початку весняної повені, за літньо-осінній період – від кінця повені до початку льодових явищ на річках. Мінімальна добова витрата води, як правило, співпадає з 30-добовим (середньомісячним) періодом мінімального стоку. Однак, на річках з частими повенями їх строки можуть значно відрізнятись. При значних розбіжностях аналітичної кривої з фактичними спостереженнями застосовують емпіричні криві розподілу ймовірностей перевищення. Для розрахунків використовують мінімальні середньодобові, середньомісячні або 30-добові (не календарні) витрати води, що спостерігалися в зимовий і (чи) літньо-осінній сезони. Середньомісячні мінімальні витрати використовують, якщо вони не перевищують 30-добових більш ніж на 10 %, інакше застосовують середні витрати води за 30 безперервних діб з найменшим стоком в даному сезоні. При частих паводках і коротких міжпаводкових періодах 30-добовий період допускають скорочувати до 24 діб для запобігання включення паводкових витрат в період мінімального стоку. Середньомеженний стік є розрахунковим видом стоку, що визначає умови спряження елементів регулюючої і провідної мережі меліоративних систем у вертикальній площині в період літньо-осінньої межени [11-12].

## 2.2. Розрахунки статистичних параметрів меженного стоку при коротких рядах спостережень

Короткими вважають всі ряди, які не задовольняють принципам репрезентативності вихідних рядів та точності оцінок статистичних параметрів. У таких випадках виконується приведення самого ряду або статистичних параметрів до багаторічного періоду за допомогою річоканалогів, які мають тривалі ряди спостережень за стоком і відповідають вимогам репрезентативності. При виборі річки-аналога необхідно дотримуватись таких вимог:

- розглядувана річка і річка-аналог знаходяться у безпосередній географічній близькості;
- схожість кліматичних умов для водозборів;
- однорідні умови формування стоку;
- синхронність коливань річного стоку на досліджуваних водозборах;
- площі водозборів не повинні відрізнятись більше, ніж в 10 разів, а їх середні висоти (для гірських річок) – більше, чим на 300 м;
- період спільних спостережень за стоком на досліджуваних річках повинен бути не менше ніж 10 років.

Об'єктивним критерієм правильності вибору річки-аналога є досить тісний зв'язок між характеристиками стоку за період спільних спостережень, який характеризується коефіцієнтом кореляції  $r$  (за умови  $r \geq 0.7$ ). За аналог можуть бути прийняті один або декілька пунктів, які відповідають вищенаведеним умовам. Відповідно до СНіП 2.10.14-83[11] приведення статистичних параметрів розподілу до багаторічного періоду здійснюється за допомогою парної або множинної регресії за таких умов:

$$n \geq 10, r \geq 0.7 \quad (2.1)$$

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;

$\sigma_k$  – середня квадратична похибка коефіцієнта регресії.

Ідея методу приведення параметрів до багаторічного періоду базується на існуванні синхронності коливань річного стоку на близьких водозборах, що зумовлено однорідністю умов формування стоку. Нормативним документом СНіП 2.01.14-83 рекомендується виконувати приведення статистичних параметрів коротких рядів до довгого періоду такими методами: графічним, графо-аналітичним, методом коефіцієнтів, лінійної парної або множинної регресії. Визначення коефіцієнта кореляції  $r$ , який є критерієм схожості умов формування стоку під час вибору річки-аналога, виконується за формулою

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(Q_{ai} - \bar{Q}_a)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{ai} - \bar{Q}_a)^2}} \quad (2.2)$$

Дані перевіряються співвідношенням  $k/\sigma_k$ . Коефіцієнт регресії

$$K = r \sigma_Q / \sigma_{Q_a} \quad (2.3)$$

де  $\sigma_Q$  і  $\sigma_{Q_a}$  – середні квадратичні значення стоку розглядуваної річки і аналога при довжині рядів  $n$ . Розраховуються вони за наступними формулами:

$$\sigma_{Q_a}^a = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(Q_i^a - \bar{Q}_a)^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

Похибка коефіцієнта регресії

$$\sigma_k = \frac{\sigma_Q \sqrt{1-r^2}}{\sigma_{Q_a} \sqrt{n-1}} \quad (2.5)$$

З урахуванням (2.4) і (2.5) запишемо рівняння лінійної регресії

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + k\sigma_Q(\bar{Q}_N^a - \bar{Q}_n^a)/\sigma_{Qa} \quad (2.6)$$

де  $\bar{Q}_n$  - багаторічні середні значення (норми) мінімального стоку досліджуваного водозбору і аналога.  $\bar{Q}_N$  а  $\bar{Q}_N^a$

Коефіцієнт варіації приведенного ряду дорівнює

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}_n} \sqrt{1 + r^2 \left(1 - \frac{\sigma_{Qn}^a}{\sigma_{QN}^a}\right)} \quad (2.7)$$

де  $\sigma_{QN}^a$  середньоквадратичне відхилення ряду-аналога за багаторічний період N років. Погрішність приведенного значення норми мінімального стоку за рівнянням регресії (2.6), відповідно до СНиП 2.01.14-83 [9], дорівнює:

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_Q}{\bar{Q}_N \cdot \sqrt{n}} \sqrt{1 + r^2 \left(\frac{n \sigma_{Qn}^a}{N \sigma_{QN}^a} - 1\right)} \quad (2.8)$$

*Графічний метод.* Норма мінімального стоку визначається за графіком зв'язку мінімальних витрат за спільний період спостережень у басейні, який вивчається, і в басейні-аналогу з багаторічними даними про стік.

За допомогою побудови графіка зв'язку мінімальних середньомісячних витрат за спільний період спостережень за значенням норми мінімального стоку річки-аналога знімається норма мінімального стоку для досліджуваної річки.

Коефіцієнт варіації, відповідно до дорівнює

$$C_v = A \frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_N} C_v^a \quad (2.9)$$

де А- тангенс кута нахилу лінії зв'язку мінімальних середньомісячних витрат за загальний період спостережень. Погрішність норми мінімального зимового стоку приведенного ряду, розраховується таким чином:

$$\sigma_{Q_N} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} \quad (2.10)$$

$$\sigma_1 = \sigma_{Q_N^a} \quad (2.11)$$

$$\sigma_2 = \frac{C_v \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} * 100\% \quad (2.12)$$

*Графоаналітичний метод Г.О. Алексєєва.* Для річки-аналога будується емпірична крива забезпеченості мінімальних витрат води. З неї знімають величини стоку в характерних крапках із забезпеченістю 5, 50 і 95 відсотків (%). За допомогою графіка зв'язку середньорічних мінімальних витрат за загальний період спостережень за даними річки-аналога знімаємо витрати 5, 50 і 95 % забезпеченості для досліджуваної річки.

Розраховується коефіцієнт скошеності за формулою

$$S = \frac{Q_5 + Q_{95} - Q_{50}^2}{Q_5 - Q_{95}} \quad (2.13)$$

За спеціальною таблицею відповідно S встановлюють коефіцієнт Cs і нормовані ординати  $\Phi_5$ ,  $\Phi_{50}$ ,  $\Phi_{95}$ .

Середньоквадратичне відхилення розраховується за формулою  $\sigma_Q$

$$\sigma_Q = \frac{Q_5 - Q_{95}}{\Phi_5 - \Phi_{95}} \quad (2.14)$$

Середнє багаторічне значення мінімального стоку обчислюється за рівнянням:

$$\bar{Q} = Q_{50} - \sigma_Q \Phi_{50} \quad (2.15)$$

Коефіцієнт варіації розраховується за виразом:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \quad (2.16)$$

Метод коефіцієнтів. Для розрахунку за методом коефіцієнтів спочатку визначається коефіцієнт кореляції між значеннями короткого ряду і ряду аналога за період сумісних спостережень,

Якщо значення  $r = 0,70$ , то досліджується синхронність коливань стоку на двох постах. Для цього будується хронологічний графік коливань мінімального стоку.

Якщо коливання синхронні, то можна записати

$$\frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_n^a} = \frac{\bar{Q}_N}{\bar{Q}_n} \quad (2.17)$$

де  $\bar{Q}_N^a$  і  $\bar{Q}_N$  - середнє багаторічне значення мінімального стоку (норма) річки-аналога і короткого ряду, відповідно,  $\bar{Q}_n^a$  і  $\bar{Q}_n$  - середнє значення мінімального стоку річки-аналога і короткого ряду за період сумісних спостережень  $n[10]$ .

Позначимо співвідношення  $\frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_n^a}$  як  $K_N$ , тоді для досліджуваного короткого ряду можна визначити норму мінімального стоку за виразом:

$$\bar{Q}_N = K_N \bar{Q}_n \quad (2.18)$$

### 2.3. Методики визначення характеристик мінімального стоку при відсутності спостережень

Основною розрахунковою характеристикою є мінімальний 30-денна (середньомісячна) витрата води  $Q_{80\%}$ , м<sup>3</sup>/с, щорічної ймовірності перевищення  $P=80\%$  за зимовий і (або) літньо-осінній періоди. Цю витрату для середніх і великих річок визначають за річками-аналогами або інтерполяцією між пунктами спостережень з врахуванням бокової приточності і даних польових гідрометеорологічних вишукувань в розрахунковому створі. Для малих річок з площею водозбору менше 2000 м<sup>2</sup> при відсутності карсту – за редукційною формулою. Мінімальну середьодобову витрату води використовують у випадках, коли не допускають перерв у подачі води. Метод визначення мінімальної 30-денної (середньомісячної) витрати води залежить від категорії річки: мала, середня або велика. До малих відносять річки, у яких модуль мінімального стоку змінюється із збільшенням площі водозбору. В залежності від району до малих відносять річки з верхньою межею від 1000 до 5000 км<sup>2</sup>. До середніх відносять річки з площею водозбору від указаних до 50000 -75000 км<sup>2</sup>. Річки з більшою площею рахуються великими. Мінімальний стік малих рівнинних і передгірських річок  $Q_{P\%}$ , м<sup>3</sup>/с, розраховують за залежностями мінімальних 30-денних (середньомісячних) витрат води 80 %-ної ймовірності перевищення від площі водозбору для районів, однорідних за умовиформування мінімального стоку. Перехідні коефіцієнти від 30-денних (середньомісячних) витрат води  $Q_{80\%}$ , м<sup>3</sup>/с, щорічної ймовірності перевищення  $P=80\%$  до мінімальних витрат води інших ймовірностей перевищення, а також до мінімальних добових витрат води визначають за річками-аналогами [12].

### 3. РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МІНІМАЛЬНОГО ДОБОВОГО СТОКУ В РАЙОНІ РІЧКОВОГО БАСЕЙНУ ПІВДЕННОГО БУГУ

#### 3.1. Визначення статистичних параметрів мінімального стоку по наявних тривалих рядах спостережень

Норма мінімального стоку при тривалому періоді спостережень (N років) визначається як середньоарифметичне значення річних величин стоку

$$\bar{q}_N = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{N} \quad (3.1)$$

де  $q_i$  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 (3.1), буде відрізнятись від істинного середнього значення  $q_N$  при  $N \rightarrow \infty$  на деяку величину  $q_n \sigma$ , тобто

$$\bar{q}_n = \bar{q}_n \pm \sigma_{qn} \quad (3.3)$$

де  $\bar{q}_n$  - середня величина річного стоку за обмежений період спостережень (n років);

$\sigma_{qn}$  - середня квадратична похибка n-річної середньої.

Для оцінки точності визначення норми стоку річок використовують відносне значення середньої квадратичної похибки. Так, якщо виразити  $\sigma_{qn}$  у відсотках від  $\bar{q}_n$  то отримаємо відносну середню квадратичну похибку норми стоку, яка розрахована за обмеженим рядом спостережень n років:

$$\sigma_n = \pm \frac{\sigma_q}{\bar{q}_n \sqrt{n}} * 100\% = \pm \frac{100C_v}{\sqrt{n}} \% \quad (3.4)$$

де  $C_v = \frac{\sigma_q}{\bar{q}_n}$  коефіцієнт варіації річних величин стоку за  $n$  років спостережень, прийнятих для визначення норми стоку.

Коефіцієнт варіації рекомендується визначати за методом моментів

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n-1}} \quad (3.5)$$

де  $K_i = \frac{q_i}{\bar{q}_n}$  - модульний коефіцієнт

Стандартна похибка коефіцієнта варіації  $\sigma_{C_v}$  обчислюється за формулою:

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1+C_v^2}{2n}} 100\% \quad (3.6)$$

Випадкові середні квадратичні помилки вибірових середніх визначаються за наближеною залежністю

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

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

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

$$\sigma_{\bar{q}} = \frac{\sigma_q}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{2}{n} * \frac{r_1}{1-r_1} * n * \frac{1-r_1^n}{1-r_1}} \quad (3.8)$$

де  $r_1$  - коефіцієнт кореляції між суміжними величинами стоку

У свою чергу  $r_1$  розраховується за формулою:

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - \bar{q}_i) * (q_{i+1} - \bar{q}_2)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (q_i - \bar{q}_i)^2 * \sum_{i=2}^n (q_i - \bar{q}_2)^2}} \quad (3.9)$$

Для більшої частини території СНГ норма мінімального стоку розраховується як його середнє значення за такою тривалістю спостережень, при якій воно є достатньо стійким для практичних розрахунків, тобто з похибкою не більше 15%, та з похибкою коефіцієнта варіації  $\sigma_{C_v} \leq 20\%$ [12-13].

Результати розрахунку основних статистичних параметрів мінімального добового стоку річок басейну Південного Бугу та Причорномор'я представлені в табл.3.1

В даній таблиці можна побачити що:

- Мінімальне значення  $C_v$  по методу моментів розраховане на пості р. Південний Буг – с.Первомайськ  $C_v = 0,385$ , а максимальне - на пості р. Кодима - с. Катеринка  $C_v = 1,342$ . Мінімальне значення  $C_s$  по методу моментів розраховане на пості р. Інгул - с.Седнівка  $C_s = 0,258$ , а максимальне на пості р. Гірський Тікич - с. Тальне  $C_s = 2,971$
- Мінімальне значення  $C_v$  по методу найбільшої правдоподібності розраховане також на пості р. Південний Буг – с.Первомайськ  $C_v = 0,381$ , а максимальне на тому ж самому пості що и при розрахунку по методі моментів р. Кодима - с. Катеринка  $C_v = 1,381$ . Мінімальна значення  $C_s$  по методу моментів розраховане на пості р. Інгул - с.Седнівка  $C_s = 0,301$ , а максимальне на пості р. Гірський Тікич - с. Тальне  $C_s = 5,948$
- Значення  $C_s / C_v$  за методом моментів змінюється від 0,385 до 1,342 та від 0,258 до 2,971. За методом найбільшої правдоподібності від 0,381 до 1,381 та від 0,301 до 5,948. Значення між двох методів майже не змінюється, окрім значеня  $C_s$  в обох методах 2,971 та 5,948.



Таблиця 3.1 – Розрахунок статистичних параметрів рядів мінімального добового стоку за методами моментів та найбільшої правдоподібності для районів річкового басейну Південного Бугу та Причорномор'я

№ з/п	Річка-пост	F, км <sup>2</sup>	n, років	$\bar{Q}_{\min}$ м <sup>3</sup> /с	Метод моментів			r(l)	Метод найбільшої правдоподібності		
					C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>		C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>
1	р.Тилігул - с. Нова-Українка	810	16	0,13	0,67	0,71	1,10	0,56	0,74	1,00	1,40
2	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	52	1,65	0,63	1,07	1,70	0,74	0,65	1,24	1,90
3	р. Південний Буг - с Лелітка	4000	72	4,78	0,70	0,63	0,90	0,60	0,72	0,68	0,90
4	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	58	8,52	0,88	1,21	1,40	0,79	0,90	1,39	1,50
5	р.Південний Буг - с. Хащувате	20700	17	14,51	0,46	0,80	1,70	0,44	0,48	1,03	2,10
6	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	76	19,20	0,50	0,92	1,80	0,37	0,50	0,99	2,00
7	р. Південний Буг – с.Первомайськ	44000	13	18,45	0,39	1,08	2,80	0,02	0,38	1,52	4,00
8	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	101	24,50	0,49	0,69	1,40	0,39	0,49	0,71	1,40
9	р Бужок - смт.Меджибік	698	30	0,59	0,96	1,72	1,80	0,41	0,99	2,27	2,30
10	р Іква - с.Старый Синява	439	70	0,74	0,44	0,70	1,60	0,51	0,45	0,76	1,70
11	р. Згар – смт Літин	692	79	0,40	1,02	1,61	1,60	0,63	1,05	1,85	1,80
12	р. Десна - с. Сосновка	1300	49	0,91	0,60	0,34	0,60	0,68	0,62	0,40	0,60
13	р. Савранка - с.Осички	1740	67	0,72	0,73	0,55	0,80	0,80	0,75	0,60	0,80
14	р. Синица - с. Кам'яний Брід	753	39	0,13	0,85	1,82	2,20	0,43	0,87	2,39	2,70
15	р. Кодима - с. Обжила	145	43	0,03	0,80	0,90	1,10	0,54	0,83	1,05	1,30
16	р. Кодима - с. Катеринка	2390	69	0,28	1,34	1,68	1,30	0,30	1,38	1,95	1,40
17	р. Синюха - с.Синюхин Брод	16700	90	4,19	0,70	1,07	1,50	0,28	0,70	1,15	1,60

Продовження табл.3.1

18	р. Гірський Тікич - с. Тальное	3400	20	1,49	0,62	2,97	4,80	0,05	0,68	5,95	8,80
19	р. Манькова - с. Кинашевка	76,7	10	0,04	0,89	0,98	1,10	0,25	0,95	1,43	1,50
20	р. Велика Вись - с. Ямполь	2820	89	0,62	0,67	2,24	3,40	0,33	0,68	2,64	3,90
21	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	64	0,82	0,70	1,10	1,60	0,38	0,71	1,21	1,70
22	р. Уманка - г. Умань	275	16	0,81	0,66	0,51	0,80	0,06	0,67	0,61	0,90
23	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	79	0,56	0,83	1,03	1,30	0,63	0,84	1,13	1,30
24	р. Мертвовод - с. Крива Пустош	252	51	0,06	0,71	0,85	1,20	0,50	0,73	0,96	1,30
25	р. Інгул - г. Кировоград	840	71	0,26	0,98	1,68	1,70	0,76	1,00	1,97	2,00
26	р. Інгул - с. Інгуло-Каменка	3080	31	0,37	0,94	2,95	3,10	0,09	0,87	1,78	2,00
27	р. Інгул - с. Седнівка	4770	60	1,67	0,51	0,26	0,50	0,63	0,52	0,30	0,60
28	р. Інгул - с. Новогорожено	6670	82	1,51	0,86	1,57	1,80	0,73	0,86	1,71	2,00

### 3.2 Аналіз циклічності рядів мінімального добового стоку районів річкового басейну Південного Бугу та Причорномор'я

Циклічність коливань річного стоку тієї чи іншої річки можна досліджувати за хронологічними графіками. Однак ці календарні графіки зміни річних величин стоку не завжди дають достатньо повне уявлення про циклічні коливання стоку, внаслідок наявності малих циклів на загальному фоні багаторічних коливань водності річки. Наявність достатньо суттєвих випадкових коливань річного стоку заважає виявленню закономірностей їх часового ходу, які виражені у формі довготривалих циклів зміни річного стоку. Для виявлення таких циклів застосовуються засоби згладжування або фільтрації [13].

Аналіз циклічності рядів мінімального добового стоку річок проводилось за вхідними даними даними постів, які представлені в додатку Б. Циклічність мінімального стоку річок басейну Південного Бугу досліджувалась за допомогою різницевого інтегральних кривих мінімального добового стоку річок (рис 3.1). Аналізуючи графік можна сказати що;

- Більшість ріок досліджуваного басену мають синфазні коливання, наприклад це пости 202, 215, 201, 210, 222, 226, 235, 224, 244, 235. Частина річок має синхронні коливання: 216, 204, 239, 225.
- Окремі ряди асинхронні з іншими . Ряд 216 р. Згар – смт Літин найбільш виділяється з усього. Його стік зарегульовано водосховищами і ставками, води річки використовується на водопостачання, зрошення, рибництво. Можливо таке значне антропогенне навантаження вплинуло на режим річки. Аналогічна ситуація з постом 240 (р. Мертвовод - с. Крива Пустощ). На Мертвоводі побудували безліч дамб, також як на р. Синюха.
- Деякі річки неможливо віднести синфазних чи синхронних через малий ряд спостереження.

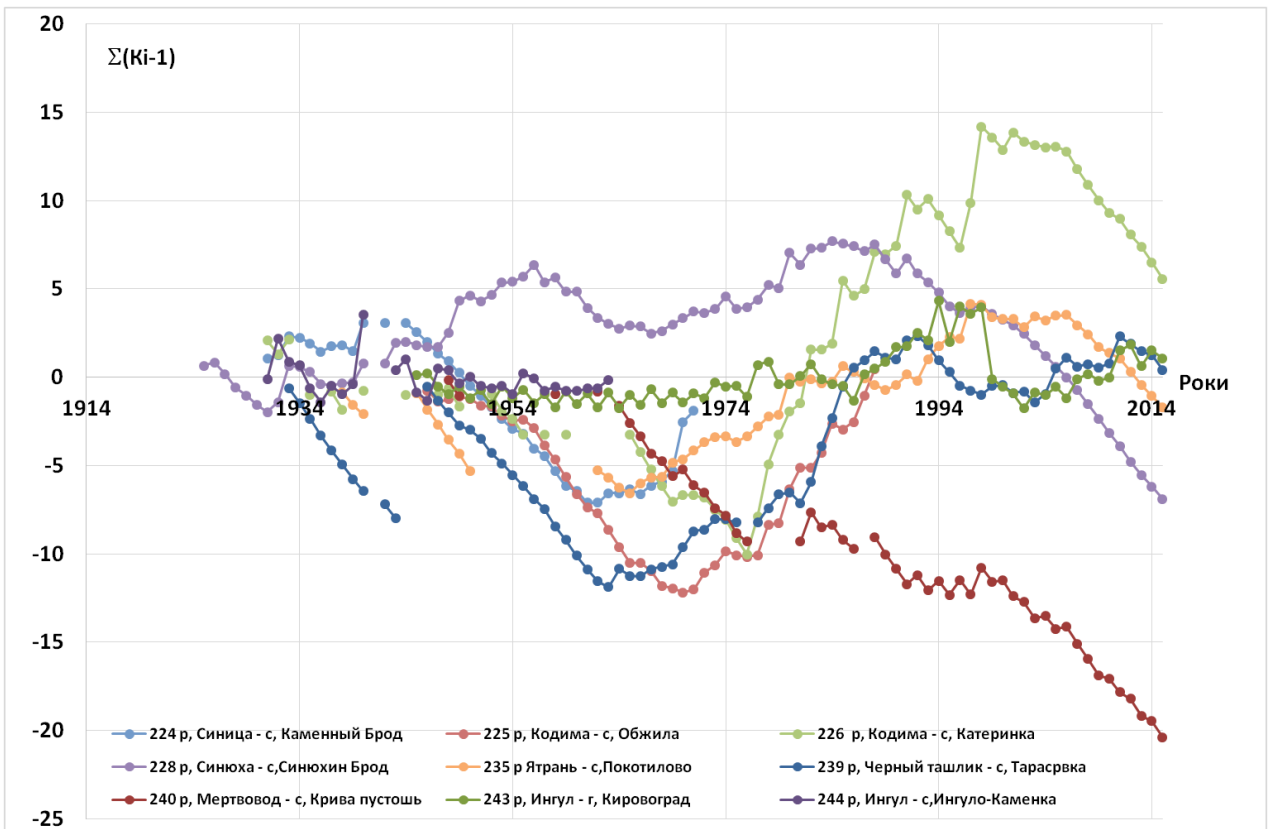
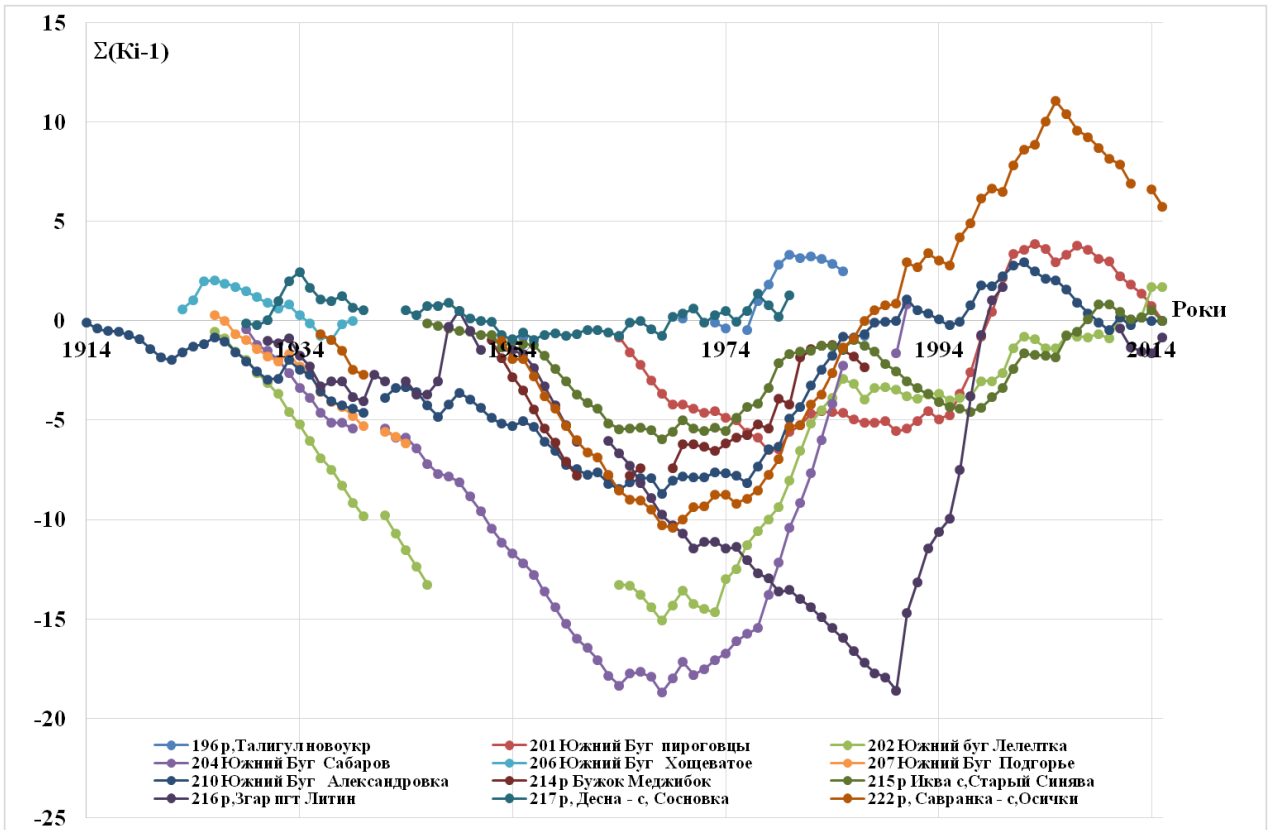


Рисунок 3.1 – Різницеві інтегральні криві мінімального добового стоку річок районів річкового басейну Південного Бугу та Причорномор'я

### 3.3. Вибір річок аналогів для уточнення статистичних параметрів при недостатності та відсутності спостережень

Для уточнення статистичних параметрів при недостатності та відсутності спостережень за допомогою кореляційної матриці, (додаток Б) визначаємо відповідні аналоги для кожного ряду, де похибка перевищує 15% та заносим у табл 3.2 .

Аналіз роботи: Після отримання вхідних даних ми проаналізували ряди, визначили пости з короткими рядами спостереження, або з великою похибкою. Серед усіх постів було визначено 14 постів з короткими рядами спостереження (р.Тилігул – Новоукраїнка, р. Південний Буг - с. Сабарів, р.Південний Буг – Хоцеватое, р. Південний Буг – с.Первомайськ, р Бужок Меджибок, р. Згар – смт Літин, р. Синица - с. Каменний Брод, р. Кодима - с. Обжила, р. Кодима-- с. Катеринка, р. Горний Тикич - с. Тальное, р. Манькова - с. Кинашевка, р. Уманка - г.Умань, р. Інгул - г. Кировоград, р. Інгул - с.Інгуло-Каменка,). Потрібно знайти пости аналоги для даних постів. Але потрібно пам'ятати що при виборі річки-аналога необхідно дотримуватись таких вимог:

- розглядувана річка і річка-аналог знаходяться у безпосередній географічній близькості;
- схожість кліматичних умов для водозборів;
- однорідні умови формування стоку;
- синхронність коливань річного стоку на досліджуваних водозборах;
- площі водозборів не повинні відрізнятись більше, ніж в 10 разів, а їх середні висоти (для гірських річок) – більше, чим на 300 м;
- період спільних спостережень за стоком на досліджуваних річках повинен бути не менше ніж 10 років.

Дотримуючись цих вимог ми отримали річки-аналоги табл 3.3.

Таблиця 3.2 - Визначення аналогів для рядів з недостатньою тривалістю спостережень

№ з/п	Річка-пост	Відносна похибка розрахунку, %			Найбільше значення коефіцієнту кореляції		Ряд-аналог
		$\bar{Q}_{\text{min}}$ м.м.	$\bar{Q}_{\text{min}}$ м н. п.	Стандартна похибка коефіцієнта варіації	номер поста	r	
1	р.Тилігул - Новоукраїнка	16,75	18,38	21,28	12	0,73	Десна - с. Сосновка
2	р. Південний Буг - с. Пирогівці	8,79	9,00	11,61			-
3	р. Південний Буг - с Лелітка	8,25	8,43	10,17			-
4	р. Південний Буг - с. Сабарів	11,50	11,86	12,34	13	0,86	р. Савранка - с.Осички
5	р.Південний Буг - с. Хощувате	11,18	11,62	18,88	8	0,58	Південний Буг - с. Сабарів
6	р. Південний Буг - с. Підгір'я	5,74	5,77	9,07			-
7	р. Південний Буг – с.Первомайськ	10,68	10,57	21,01	8	0,8	р. Південний Буг - смт Олександрівка
8	р. Південний Буг - смт Олександрівка	4,89	4,91	7,84			-
9	р Бужок Меджибок	17,58	18,06	17,92	21	0,6	р Ятрань - с.Покотилово

Продовження табл.3.2

10	р Иква с.Старый Синява	5,31	5,37	9,25			-
11	р. Згар – смт Літин	11,50	11,80	11,38	2	0,63	р. Південний Буг - с. Пирогівці
12	р. Десна - с. Сосновка	8,60	8,81	11,79			-
13	р. Савранка - с.Осички	8,97	9,15	10,72			-
14	р. Синица - с. Каменный Брод	13,55	13,92	14,83	2	0,81	р. Південний Буг - с. Пирогівці
15	р. Кодима - с. Обжила	12,17	12,63	13,80	13	0,75	р. Савранка - с.Осички
16	р. Кодима - с. Катеринка	16,16	16,63	14,25	13	0,68	р. Савранка - с.Осички
17	р. Синюха - с.Синюхин Брод	7,37	7,42	9,09			-
18	р. Горний Тикич - с. Тальное	13,82	15,16	18,59	20	0,98	р. Большая Высь - с. Ямполь
19	р. Манькова - с. Кинашевка	28,11	30,04	29,92	8	0,61	р. Південний Буг - смт Олександрівка
20	р. Большая Высь - с. Ямполь	7,06	7,21	9,01			-
21	р Ятрань - с.Покотилово	8,78	8,88	10,80			-
22	р. Уманка - г.Умань	16,38	16,75	21,13	28	0,74	р. Інгул - с. Новогорожено
23	р. Черный ташлик - с. Тарасівка	9,28	9,46	10,31			-

Продовження табл.3.2

24	р. Мертвовод - с. Крива пустош	9,91	10,19	12,13			-
25	р. Інгул - г. Кировоград	11,57	11,89	11,72	12	0,69	р. Десна - с. Сосновка
26	р. Інгул - с.Інгуло-Каменка	16,88	15,70	17,43	27	0,79	р. Інгул - с.Седневка
27	р. Інгул - с.Седневка	6,64	6,74	10,26			-
28	р. Інгул - с. Новогорожено	9,46	9,53	10,28			-

Таблиця 3.3 Досліджувані річки та їх агалогі

Досліджувана річка	Річка аналог
р.Тилігул - Новоукраїнка	Десна - с. Сосновка
р. Південний Буг - с. Сабарів	р. Савранка - с.Осички
р.Південний Буг - с. Хащувате	Південний Буг - с. Сабарів
р. Південний Буг – с.Первомайськ	р. Південний Буг - смт Олександрівка
р Бужок Меджибок	р Ятрань - с.Покотилово
р. Згар – смт Літин	р. Південний Буг - с. Пирогівці
р. Синица - с. Каменний Брод	р. Південний Буг - с. Пирогівці
р. Кодима - с. Обжила	р. Савранка - с.Осички
р. Кодима - с. Катеринка	р. Савранка - с.Осички
р. Горний Тикич - с. Тальное	р. Большая Высь - с. Ямполь
р. Манькова - с. Кинашевка	р. Південний Буг - смт Олександрівка
р. Уманка - г.Умань	р. Інгул - с. Новогорожено
р. Інгул - г. Кировоград	р. Десна - с. Сосновка
р. Інгул - с.Інгуло-Каменка	р. Інгул - с.Седневка



### 3.4 Уточнення статистичних параметрів для річок з короткими рядами спостережень

Приведення до багаторічного (довгого або тривалого) періоду виконується за графічною залежністю або з використанням її аналітичного опису за моделлю множинної або парної лінійної регресії.

Криволінійні залежності між величинами стоку річок із коротким та довгим періодами спостережень використовуються лише у тих випадках, коли така залежність спирається на достатньо велику кількість точок і пояснюється особливостями коливань стоку на цих річках. Найчастіше використовуються лінійні зв'язки.

При лінійному зв'язку об'єктивним критерієм правильності вибору річки-аналога є досить тісний зв'язок між величинами стоку розглядуваного ряду та ряду річки-аналога за період спільних спостережень, який має характеризуватися коефіцієнтом кореляції  $r \geq 0.7$ .

Основою “приведення” коротких рядів до довгого періоду є графічний метод [12-13].

Таблиця 3.4 – Середньорічні мінімальні модулі стоку р. Південний Буг - с. Сабарів спостережень. та р. Південний Буг - с. Підгір'я.

№	Модуль стоку $q$ м <sup>3</sup> /скм <sup>2</sup> р. Південний Буг - с. Сабарів	Модуль стоку $q$ м <sup>3</sup> /скм <sup>2</sup> р. Південний Буг - с. Підгір'я
1	1,8	11,0
2	1,5	5,7
3	2,3	18,0
4	4,4	9,2
5	3,3	18,7
6	1,8	10,3
7	4,2	9,9
8	13,7	22,6

9	9,3	20,0
10	6,3	9,6
11	1,9	14,9
12	14,6	20,7
13	15,6	24,5
14	2,9	10,3
15	11,1	15,7
16	12,4	22,6
17	11,3	17,9
18	13,8	21,8
19	11,6	16,9
20	11,0	27,4
21	22,9	22,8
22	22,3	30,5
23	23,6	32,2
24	19,2	36,3
25	21,0	39,2
26	22,9	40,6
27	24,2	30,9
28	24,6	41,1

Середньо квадратична похибка становить 12,34 % на р. Південний Буг - с. Сабарів. Значення  $\sigma_q$  більше за припустиме, тому необхідно приведення ряду до багаторічного періоду.

Відповідно до графічного способу будується залежність середньорічних мінімальних модулів стоку розрахункової річки р. Південний Буг - с. Сабарів та річки-аналога р.Південний Буг - с. Підгір'я. (рис.3.2).

По графіку зв'язку (рис.3.2) при  $\bar{q}^a = 18,80$  л/скм<sup>2</sup> норма середнього багаторічного добового мінімального стоку р. Південний Буг - с. Сабарів становить  $\bar{q} = 11,0$  л/скм<sup>2</sup>

Коефіцієнт варіації дорівнює (при  $A = \text{tg } \alpha = 0,58$ ).

$$Cv = A \frac{\bar{q}^a}{\bar{q}} Cv^a = 0,58 * \frac{18,80}{11,00} * 0,92 = 0,92$$

Похибка багаторічного добового мінімального стоку короткого ряду, приведенного до багаторічного періоду за допомогою графіків зв'язку, розраховується за формулою:

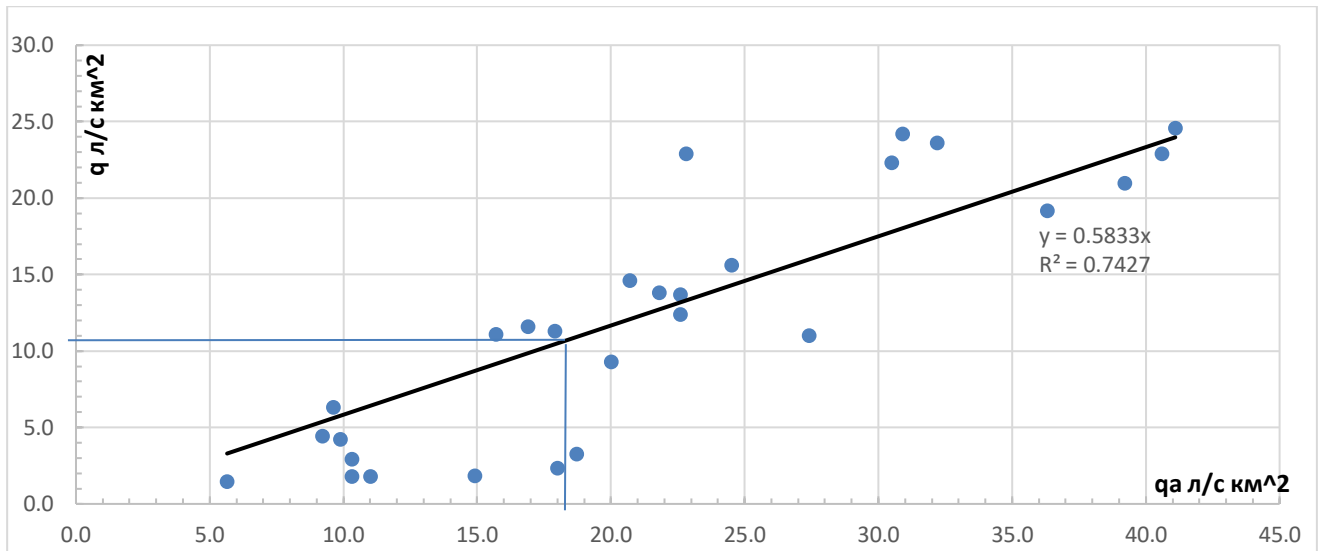


Рис. 3.2 Графік зв'язку р. Південний Буг - с. Сабарів та річки аналогу р. Південний Буг - с. Підгір'я

$$\sigma_{\bar{q}_n} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{9,07_1^2 + 8,86_2^2} = 10,57$$

$\sigma_2$  - похибка кореляції стоку за період спільних спостережень, обчислена за рівнянням:

$$\sigma_2 = \frac{Cv\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} = \frac{0,92\sqrt{1-0,74^2}}{\sqrt{28}} * 100\% = 8,86\%$$

Похибка багаторічного добового мінімального стоку приведенного ряду складає: 10,57%. Робимо висновок, що річка аналог була правильно підібрана значення похибки зменшлось.

Наведемо ще один приклад приведення статистичних параметрів до багаторічного періоду. Середньо квадратична похибка становить 21,3 % на для ряду спостережень р. Південний Буг – с.Первомайськ. Аналогом в цьому випадку обрано р. Південний Буг - смт Олександрівка (табл.3.5).

Таблиця 3.5 – Середньорічні мінімальні модулі стоку р. Південний Буг – с.Первомайськ та р. Південний Буг - смт Олександрівка за сумісний період спостережень

№	Модуль стоку $q$ л/скм <sup>2</sup> р. Південний Буг – с.Первомайськ	Модуль стоку $q$ л/скм <sup>2</sup> р. Південний Буг - смт Олександрівка
1	16,9	18,9
2	11,7	7,7
3	15,8	10,5
4	36,6	39,3
5	20,0	39,3
6	14,8	16,5
7	14,2	13,6
8	17,9	12,5
9	19,0	17,3
10	21,5	21,6
11	23,0	30,1
12	22,0	17,8
13	6,4	6,4

Відповідно до графічного способу будується залежність середньорічного мінімального добового стоку розрахункової річки Південний Буг – с.Первомайськ та річки-аналога Південний Буг - смт Олександрівка (рис.3.3).

По графіку зв'язку (рис.3.3) при  $\bar{q}^a = 24,5$  л/скм<sup>2</sup> середнього багаторічного добового мінімального стоку Південний Буг – с.Первомайськ становить  $\bar{q} = 22$  л/скм<sup>2</sup>.

Коефіцієнт варіації дорівнює (при  $A = \text{tg } \alpha = 0.53$ ).

$$Cv = A \frac{\bar{q}^a}{\bar{q}} Cv^a = 0,53 * \frac{24,5}{22} * 0,49 = 0,28$$

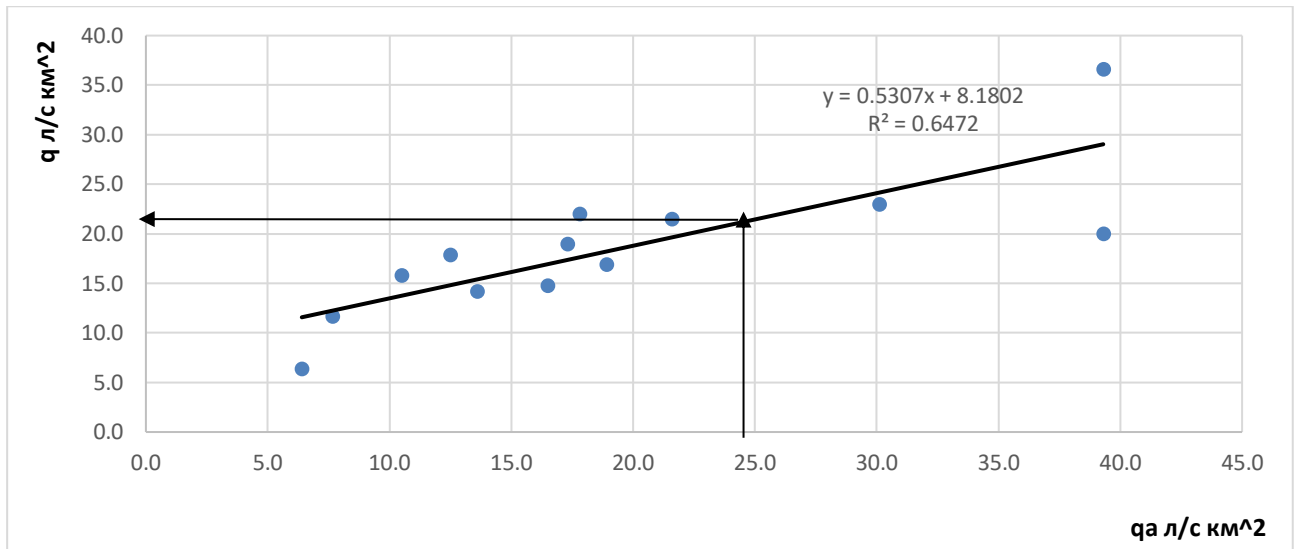


Рис. 3.3 Графік зв'язку Південний Буг – с.Первомайськ та річки-аналога  
Південний Буг - смт Олександрівка

Похибка мінімального добового стоку короткого ряду, приведеного до багаторічного періоду за допомогою графіків зв'язку, розраховується за формулою:

$$\sigma_{\bar{q}_n} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{7,84 + 4,82^2} = 6,86\%$$

де  $\sigma_1$ - похибка обчислення середнього багаторічного добового мінімального стоку річки-аналога;

$\sigma_2$  - похибка кореляції стоку за період спільних спостережень, обчислена за рівнянням:

$$\sigma_2 = \frac{Cv\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} = \frac{0,28\sqrt{1-0,64}}{\sqrt{13}} * 100\% = 4,82\%$$

Похибка середньорічного мінімального добового стоку приведеного ряду складає: 6,86 %, це показує що річка аналог була правильно підібрана

Розрахунок інших річок та їх аналогів занесені у Додаток (Г.1)

### 3.5 Дослідження впливу зональних та інтразональних факторів на добовий мінімальний стік межені в басейні р.Південний Буг

Зональні (кліматичні) або місцеві (азональні та інтразональні) фактори можуть суттєво вплинути на величину мінімального стоку та його просторовий розподіл. До інтразональних факторів, відносяться закарстованість, залісеність та заболоченість водозборів, а також наявність великих озер і водосховищ (озерність). Істотний вплив може надати площа водозбору та висота місцевості, які відносяться до категорії азональних факторів. Інтегральною характеристикою зональності є широта місцевості, наявність значущих залежностей від цього фактору є підставою для картування.

Аналіз табл. 3.6 показав, що для басейну р. Південний Буг має сенс досліджувати вплив залісеності та заболоченості водозборів, а також широти та висоти місцевості.

З метою оцінки впливу інтразональних факторів побудовані залежності, які представлені на рис. 3.4 - 3.5. Як видно з цих рисунків, заболоченість і залісеність не оказують значущого впливу на середнєрічний мінімальний добовий стік. Для дослідження впливу висоти довготи і широти місцевості побудовані відповідні залежності, які представлені на рис.3.6-3.8. Аналіз отриманих залежностей показав тенденцію до зміни середнєрічного мінімального добового стоку зі збільшенням висоти місцевості та наявності значущої залежності від широти та довготи місцевості.

Таблиця 3.6 – Морфометричні та гідрографічні характеристики річок в басейні р. Південний Буг

№ з/п	Річка-пост	$Q_{\min},$ м <sup>3</sup> /с	F, км <sup>2</sup>	Lg(F+1)	$Q_{\min},$ л/скм <sup>2</sup>	f <sub>л</sub> ,	f <sub>б</sub> , %	φ	λ	H <sub>ср</sub>
1	р.Тилігул - с. Нова-Українка	0,13	810	2,909	0,160	1	1	47,76	29,87	170
2	р. Південний Буг - с. Пирогівці	1,65	827	2,918	1,995	8	1	49,49	26,85	320
3	р. Південний Буг - с. Лелітка	4,78	4000	3,6022	1,195	8	1	49,44	27,19	320
4	р. Південний Буг - с. Сабарів	8,52	9010	3,9548	0,946	11	1	49,48	27,73	310
5	р.Південний Буг - с. Хащувате	14,51	20700	4,316	0,701	-	-	49,03	28,26	-
6	р. Південний Буг - с. Підгір'я	19,2	24600	4,391	0,780	14	1	48,90	28,57	-
7	р. Південний Буг – с.Первомайськ	18,45	44000	4,6435	0,419	-	-	48,80	29,24	-
8	р. Південний Буг - смт Олександрівка	24,5	46200	4,6647	0,530	2	-	48,72	29,24	-
9	р Бужок - смт.Меджибік	0,59	698	2,8445	0,845	1	1	49,54	26,99	320

Продовження табл. 3.6

10	р Іква - с.Старый Синява	0,74	439	2,6435	1,686	5	1	49,60	27,41	310
11	р. Згар – смт Літин	0,4	692	2,8407	0,578	13	3	49,28	27,90	320
12	р. Десна - с. Сосновка	0,91	1300	3,1143	0,700	-	-	49,40	28,75	-
13	р. Савранка - с.Осички	0,72	1740	3,2408	0,414	15	1	48,18	29,49	200
14	р. Синица - с. Кам'яний Брід	0,13	753	2,8774	0,173	8	1	48,49	30,16	190
15	р. Кодима - с. Обжила	0,03	145	2,1644	0,207	19	1	48,04	29,25	230
16	р. Кодима - с. Катеринка	0,28	2390	3,3786	0,117	11	1	47,96	29,95	170
17	р. Синюха - с.Синюхин Брод	4,19	16700	4,2227	0,251	5	1	48,82	30,80	190
18	р. Гірський Тікич - с. Тальное	1,49	3400	3,5316	0,438	-	-	-	-	-
19	р. Манькова - с. Кинашевка	0,04	76,7	1,8904	0,522	-	-	-	-	-
20	р.Велика Вись - с. Ямполь	0,62	2820	3,4504	0,220	3	1	48,74	31,48	180
21	р Ятрань - с.Покотилово	0,82	2140	3,3306	0,383	7	1	48,63	30,37	200



Продовження табл. 3.6

22	р. Уманка - г.Умань	0,81	275	2,4409	2,945	-	-	-	-	-
23	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,56	2230	3,3485	0,251	2	1	48,32	31,46	200
24	р. Мертвовод - с. Крива Пустош	0,06	252	2,4031	0,238	2	1	48,01	31,84	190
25	р. Інгул - г. Кировоград	0,26	840	2,9248	0,310	2	1	48,65	32,15	170
26	р. Інгул - с.Інгуло- Каменка	0,37	3080	3,4887	0,120	2	1	48,53	32,33	170
27	р. Інгул - с.Седнівка	1,67	4770	3,6786	0,350	2	1	48,37	32,33	160
28	р. Інгул - с. Новогорожено	1,51	6670	3,8242	0,226	1	1	48,16	32,33	150

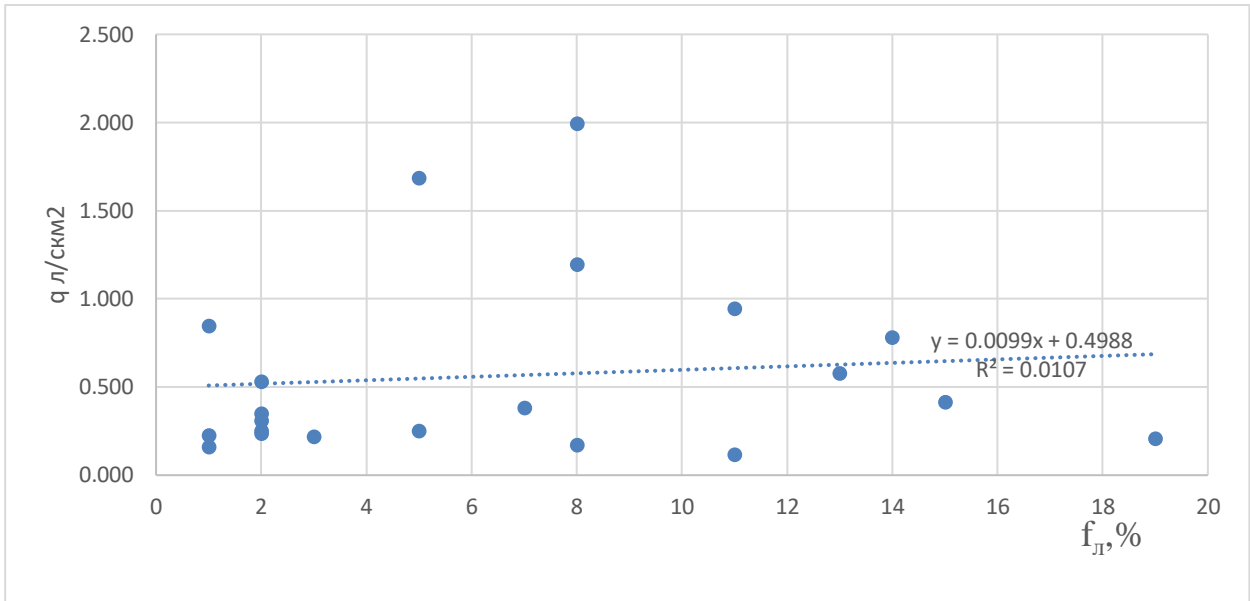


Рисунок 3.4 – Зміна середньрічного мінімального добового стоку від залісеності водозборів річок басейну р. Південий Буг

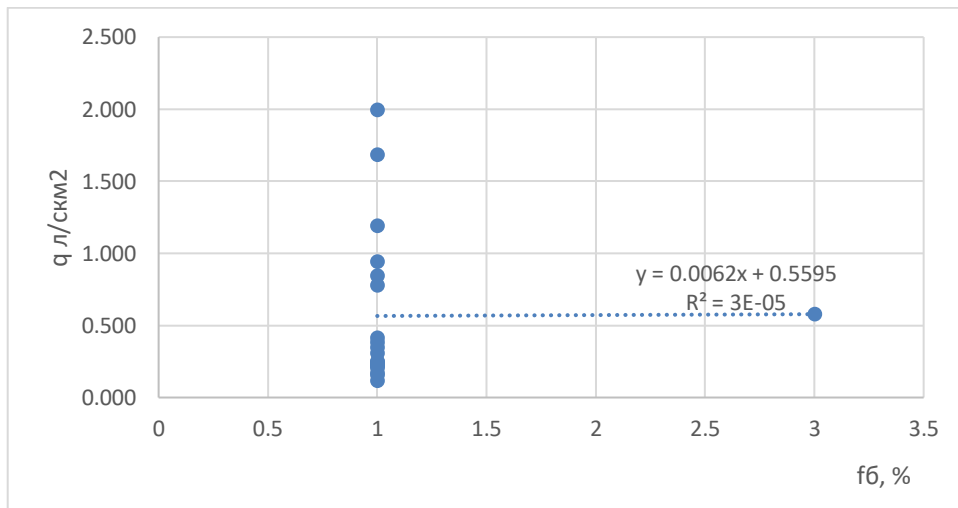


Рисунок 3.5 – Зміна середньрічного мінімального добового стоку від заболоченості водозборів річок басейну р. Південий Буг

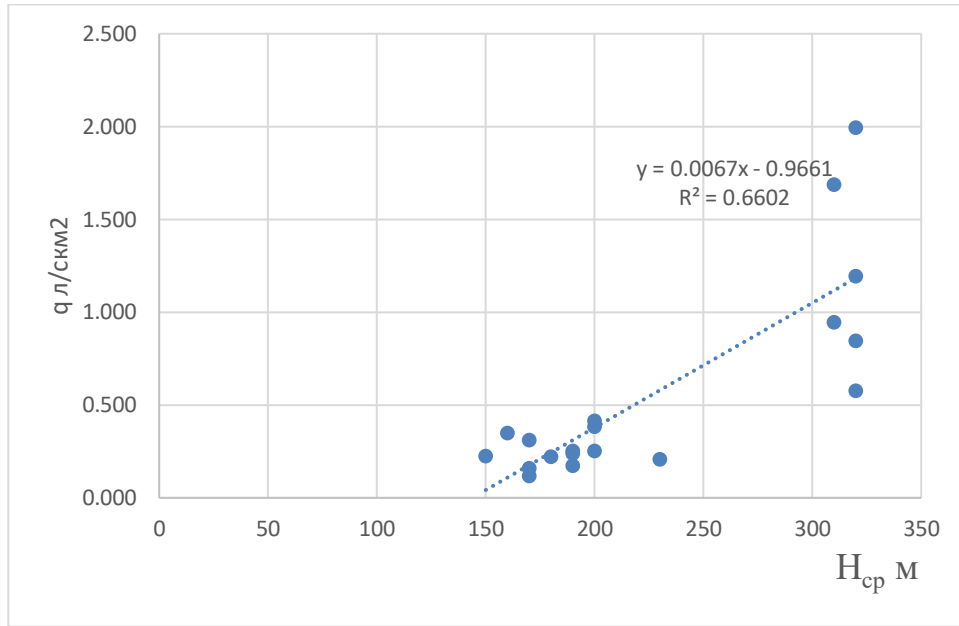


Рисунок 3.6 – Графік залежності середньорічного мінімального добового стоку від середньої висоти водозборів річок басейну р. Південий Буг

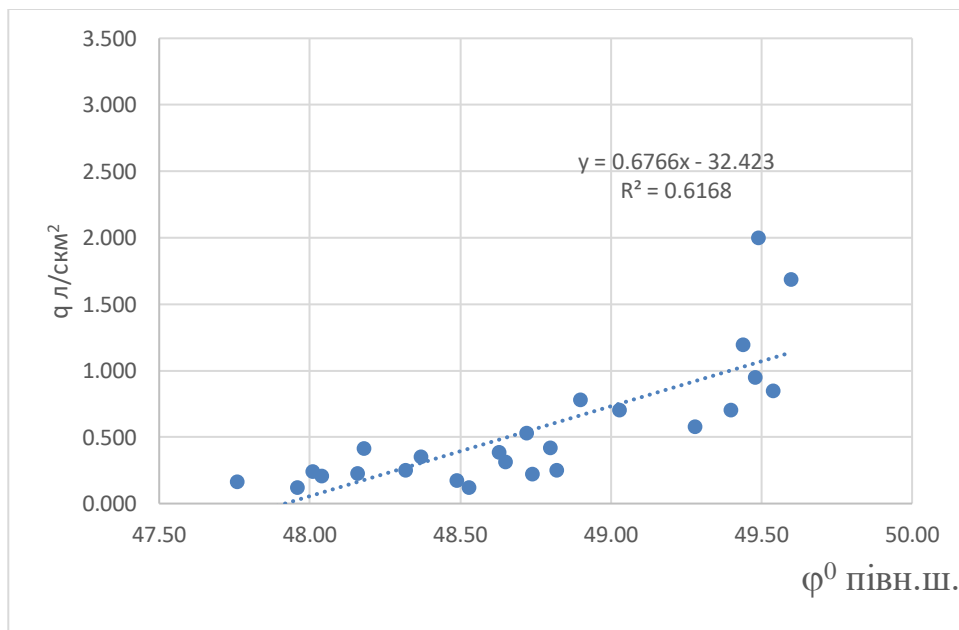


Рисунок 3.7 – Графік залежності середньорічного мінімального добового стоку від широти центрів тяжіння водозборів річок басейну р. Південий Буг

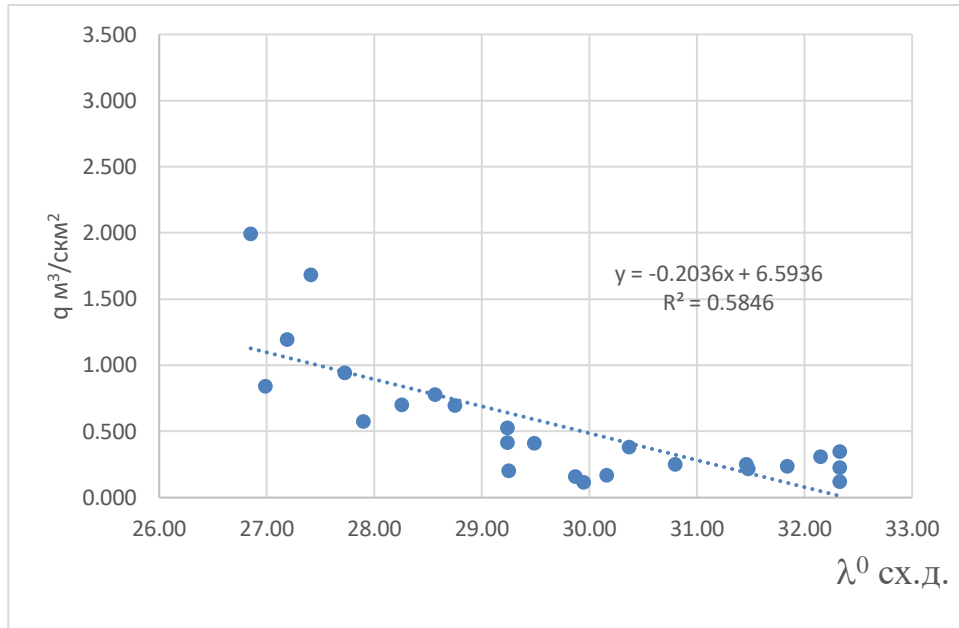


Рисунок 3.8 – Графік зв'язку середньорічного мінімального добового стоку та довготи центрів тяжіння водозборів річок басейну р. Південий Буг

#### 4. ПОНЯТТЯ „ЕКОЛОГІЧНИЙ СТІК” ТА „ЕКОЛОГІЧНА ВИТРАТА ВОДИ”

Функціональне значення екологічного стоку. Сьогодні більшість країн, особливо ті, які розвиваються, окрім проблеми якості води зіткнулися з проблемами, що пов'язані, насамперед, з перерозподілом водних ресурсів унаслідок зарегулювання стоку. Вони особливо гостро проявляються в періоди екстремальних природних явищ (повеней, паводків та посух), та на транскордонних річках, де інколи виникають масштабні конфліктні ситуації. Рішенням цих проблем може бути розробка режиму екологічного стоку, кількісні характеристики якого та його часовий розподіл буде достатнім для нормального функціонування річки та забезпечення потреб людини. Екологічний стік – це доволі нова концепція у сфері природоохоронної діяльності, але розвивається вона достатньо швидкими темпами. Згідно Брисбенської декларації [14], яка ратифікована у багатьох країнах, екологічний стік описує кількісні характеристики, часові закономірності та якісні показники водного стоку, який необхідний для збереження прісноводних та естуарних (лиманних) екосистем, а також забезпечує необхідні умови для проживання людини і підтримки її добробуту, що залежать від цих водних об'єктів. Реалізація концепції екологічного стоку відбувається, насамперед, шляхом регламентації та оптимізації роботи гідротехнічних споруд, режимів роботи ГЕС, станцій водозабору, тощо. На сьогодні світовими державами-лідерами, які впроваджують цю концепцію на практиці на зарегульованих річках та водних об'єктах з інтенсивним водокористуванням, є США, Австралія, ПАР, Англія, Іспанія та ін. Серед міжнародних організацій, які активно займаються популяризацією та практичною реалізацією даної концепції на річках всіх континентів, є Всесвітній фонд дикої природи (WWF), організація Охорона Природи (The Nature Conservancy), Міжнародний союз охорони природи (IUCN), Глобальне водне партнерство (Global Water Partnership) та ін. Для країн європейського простору

важливою подією у сфері водної політики є видання у 2015 році Керівного документу № 31 Екологічний стік Водної Рамкової Директиви №2000/60/ЄС [5,15]. Він сформований за результатами практичних заходів, які держави ЄС здійснюють у цій галузі. У документі зазначається, що екологічний стік має бути визначений в національному законодавстві з узгодженням до загального розуміння європейських директив та обов'язково включатися у плани управління річковими басейнами, правила експлуатації водосховищ гідроелектростанцій та в процес отримання дозвільної та передпроектної документації. В Україні поняття екологічного стоку не закріплено на законодавчому рівні та відсутні затверджені методики його регламентації. У практиці немає єдиного підходу до визначення кількісних характеристик екологічного стоку. Частіше за все, його прирівнюють до категорії мінімального стоку і використовують при оцінці потенціалу водопостачання та визначенні допустимих рівнів відбору води і не застосовують у правилах експлуатації роботи водосховищ. В той же час в Україні існує ряд напрацювань, близьких за підходами до європейського трактування екологічного стоку, наприклад, розроблена методика регламенту попусків ГЕС для річкових ділянок дніпровських водосховищ та пониззя Дніпра на основі взаємозв'язків між витратами води та біотичними компонентами [16]

*Практика визначення екологічного стоку у світі.* З 1970-х рр. фахівці з охорони навколишнього середовища, такі як Д. Л. Теннант (США) і ін., почали доводити переваги сталого використання водних ресурсів, при якому в річці з урахуванням вилучення води залишається необхідний для підтримки річкової екосистеми обсяг. З початку 1980-х рр. науковий напрям і практика екологічного стоку стали важливими аспектами в управлінні річковими ресурсами в багатьох країнах світу - особливо в регіонах, де дефіцит водних ресурсів змушує водокористувачів вилучати неприпустимо велику кількість води для задоволення потреб і потреб (WWF, 2009). США, Австралія, ПАР, Кенія, Танзанія, Зімбабве - країни, в яких водне законодавство вказує на

необхідність застосування екологічного стоку. Китай, Індія, Пакистан, В'єтнам, Камбоджа, Таїланд, Мексика, Бразилія і Туреччина відносяться до країн, де в даний час здійснюються проекти по визначенню вимог екологічного стоку для основних річок. Країни-члени Європейського Союзу зобов'язані дотримуватися Водної рамкової директиви, яка вимагає забезпечення необхідної величини стоку в річках для підтримки статусу хороший стан [15].

#### 4.1 Методи визначення екологічних витрат води

##### 4.1.1 Методика УкрГМЦ

В Україні для визначення екологічних витрат використовується Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України, яке затверджене для використання у 2020 році. Допоміжним критерієм оцінки настання маловоддя є екологічна витрата води, що є критичним показником для функціонування екосистеми річки. Оцінка за ним проводиться при утриманні маловоддя (за основними критеріями) упродовж 1 місяця і більше. Значення екологічної витрати води є сталим розрахованим показником для кожного гідрологічного поста на річках. В Положенні [17] наведений Порядок визначення (розрахунку) екологічної витрати води наведений для гідрологічного поста Корсунь-Шевченківський на р. Рось.

1. Побудова кривої забезпеченості – будується за середніми річними витратами води за весь період спостережень. Для даного поста взятий весь період спостережень 1928-2015 рр. (рис.4.1)

2. Після побудови кривої, визначається значення середньої річної витрати води, що відповідає 95% забезпеченості. Для р. Рось – Корсунь-Шевченківський – це 10 м<sup>3</sup>/с.

3. Визначивши, за пунктом 2, значення середньорічної витрати 95% забезпеченості, вибирається рік, середня витрата якого відповідає або

близька до даного значення. Для даного поста – це 2012 рік, показник 95% забезпеченості відповідає середній річній витраті цього року.

4. Визначивши рік – вибирається найменша середня місячна витрата води у період літньо-осінньої межени (червень-листопад).

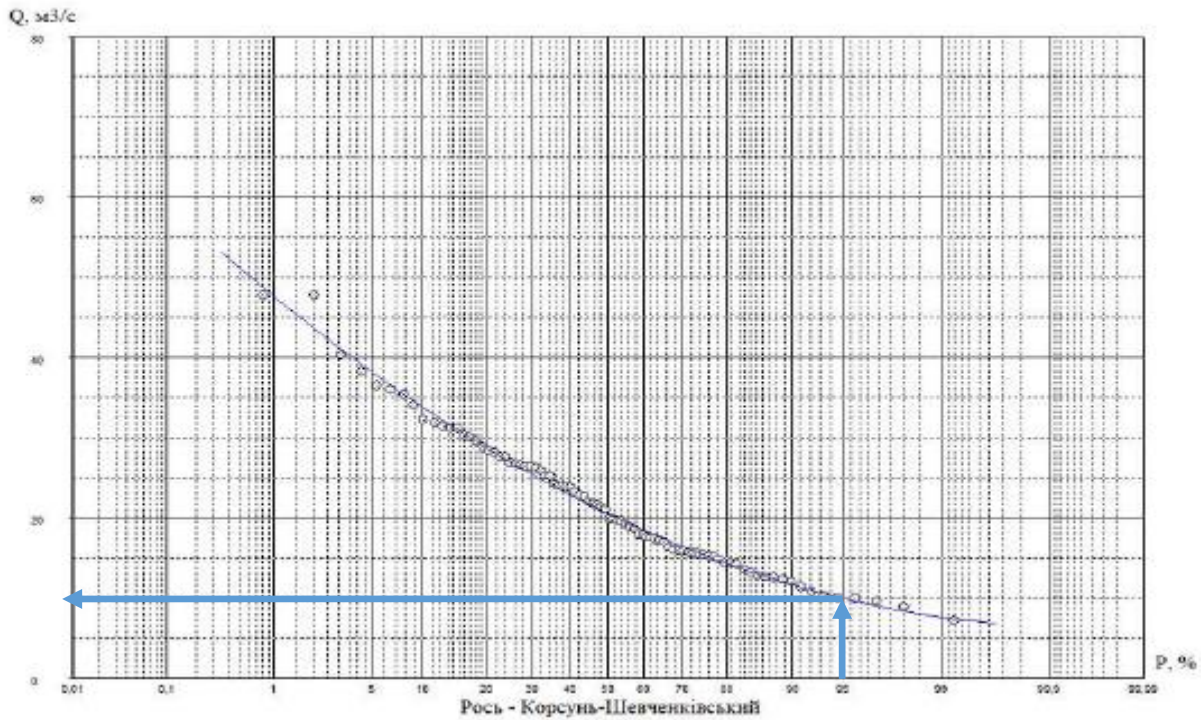


Рисунок 4.1 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води  
р. Рось – пост Корсунь – Шевченківський (1928-2015 рр.)

Для р. Рось – Корсунь-Шевченківський – це червень із значенням середньої місячної витрати води 4,18 м³/с.

Таблиця 4.1 - Середня місячна та середня річна витрата води (м³/с) на р.  
Рось – пост Корсунь-Шевченківський

Рік	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	$Q_{\text{ср}}$ м³/с
2012	9,9	6,24	17,6	21,9	9,87	4,18	5,49	4,43	6,12	10,5	13,8	10,3	10,0



5. Визначаємо 75% від отриманої (пункт 4) середньої місячної витрати води. Для поста Корсунь-Шевченківський, що є прикладом, отримуємо значення витрати 3,14 м<sup>3</sup>/с, яка і є показником екологічної витрати води для р. Рось у створі гідрологічного поста Корсунь-Шевченківський

Для розрахунку використовуються дані про витрати води, що опубліковані гідрологічних щорічниках. Якщо у багаторічному ряді можна виділити кілька років з середніми річними витратами води, близькими до 95% забезпеченості, то для визначення екологічної витрати перевагу слід надати року з меншими абсолютними значеннями середніх місячних витрат літньо-осіннього періоду значеннями середніх місячних витрат літньо-осіннього періоду[18].

#### 4.1.2 Міжнародні методи визначення екологічного стоку

Існує близько 200 методів визначення величини екологічного стоку. Велика кількість способів пояснюється тим, що в ряді країн (насамперед Австралія, США і країни Європейського союзу) активно застосовується практика екологічного стоку. Ряд методів експрес-моделювання екологічного стоку ґрунтується на наявних даних і не вимагає додаткової роботи. Інші методи вимагають польових досліджень і участі фахівців різних дисциплін: гідрологів, гідробіологів, іхтіологів, екологів і т.д. Вибір методу визначається терміновістю роботи, доступними для аналізу ресурсами, важливістю річкової системи для господарської діяльності та збереження біорізноманіття, труднощами визначення та подальшого впровадження екологічного стоку на водному об'єкті. При узагальненні міжнародних способів визначення екологічного стоку їх можна розділити на наступні групи методів:

- гідрологічних обґрунтувань;
- виявлення функціональних зв'язків;
- гідравлічної оцінки
- моделювання довкілля;

- комплексна методологія (IUCN, 2003).

#### 4.1.3 Методи гідрологічних обґрунтувань (Hydrology-based Assessment)

Ці методи мають на увазі використання гідрологічних показників, заснованих на статистичних властивостях режиму природного стоку, і найбільш поширені при визначенні екологічного стоку на маловивчених річках. Екологічний стік розраховується як частка від середньорічного стоку річки або середньомісячних витрат. Можуть використовуватися як фактичні, так і змодельовані показники. Підхід заснований на припущенні, що підтримка певної частки природного стоку зможе задовольнити екологічні потреби. Показники, засновані виключно на гідрологічних даних, легше повторно калібруються для будь-якого регіону, але можуть бути не обґрунтовані з екологічної точки зору, тобто з позиції збереження прісноводних екосистем. Показники, що враховують крім гідрологічних параметрів також характеристики екологічного стану, мають більшу підставу для визначення величини екологічного стоку, проте збір цих даних вимагає великих тимчасових і фінансових витрат. До цих методів належать метод аналізу документації та використання систематизованих табличних даних.

Способи аналізу табличних даних підрозділяються по використовуваній інформації: засновані виключно на гідрологічних даних; використовують гідравлічну інформацію (таку, як форма русла); і використовують екологічні дані. Цей підхід заснований на застосуванні фактичного матеріалу, таких, як дані про річковому стоці, отримані на гідрометричних станціях і / або дані про стан рибних співтовариств і інші екологічні дані, отримані в регулярно проводяться польових дослідженнях.

Основний принцип гідрологічних табличних методів - це підтримка сезонної мінливості стоку. Прикладом є метод Ріхтера. Метод визначає компоненти режиму природного стоку, індексованого обсягом стоку (як при

паводкового, так і при меженному періоді), розрахунком часу (індексованого щомісячною статистикою - тривалість маловодного періоду, швидкості росту і спаду повені та ін.), Частотою і тривалістю певного періоду водності. Для визначення екологічного стоку методом гідравлічних даних використовують значення різних гідравлічних характеристик, таких як змочений периметр, площа русла і заплави [19].

#### 4.1.4 Методи виявлення функціональних зв'язків (Functional Analysis)

Методи виявлення функціональних зв'язків засновані на визначенні зв'язків між гідрологічними і екологічними факторами стану річкової екосистеми. Відомим прикладом цих методів є так звана методологія побудови блоків (Building Block Methodology), розроблена в Південній Африці [20]. Основою цього методу є те, що в річковому режимі виділяються деякі основні елементи (блоки), які включають характеристики меженний і багатоводного періодів, які підтримують динаміку стоку наносів і руслових процеси в басейні. Допустимий режим стоку для підтримки екосистем визначається з урахуванням цих блоків.

#### 4.1.5. Методи гідравлічної оцінки (Hydraulic Rating Methods)

Ці методи ґрунтуються на відомостях про історичні екстремуму стоку або на його значеннях, критичних для біотопів. Будується залежність якості середовища проживання біотопів від гідравлічних параметрів (таких як змочений периметр, швидкість течії). Значення екологічного стоку подається або у вигляді витрати, що представляє оптимальний мінімальний стік, або як фіксований відсоток стоку, нижче яких умови середовища існування погіршуються [21].

#### 4.1.6. Моделювання довкілля (Habitat Simulation Methodologies)

Ці методи ґрунтуються на моделюванні зв'язку між витратами води і відповідними умовами для середовища існування організмів. Умови проживання безпосередньо визначають вимоги до екологічного стоку. Екологічний стік представляється як криві залежності середовища проживання від витрат води. Метод RHABSIM - найбільш відомий приклад застосування моделювання довкілля. Для встановлення залежності між змінами режиму стоку і реакції різних організмів розроблений підхід, що використовує дані по природному середовищі, за допомогою яких визначається потреба організмів в певній кількості води. Взаємозв'язку між стоком, місцем існування і організмами можуть бути описані зв'язками фізичних властивостей річки, наприклад, глибиною і швидкістю течії, з фізичними умовами, які необхідні нормального і стабільного функціонування екосистеми. Після визначення цих взаємозв'язків моделюється екологічний стік. Таким чином, за заданим значенням стоку моделюється відповідні йому зміни водних екосистем [22].

#### 4.1.7. Комплексна методологія (Holistic Methodologies)

Ця методологія включає в себе гідрологічні, гідравлічні методи, а також застосування методів моделювання середовища існування гідробіонтів. Ця методологія враховує цілісний екосистемний підхід при визначенні величини екологічного стоку.

Всі перераховані вище підходи спрямовані на визначення кількісних характеристик водного потоку, необхідного для стабільного функціонування прісноводної екосистеми.

Цей тип підходу вважає, що якщо певні особливості природного гідрологічного режиму можна визначити та адекватно включити в модифікований режим потоку, то, за інших рівних умов, слід підтримувати існуючу біоту та функціональну цілісність екосистеми, а не оптимізуючи

режими води для одного або кількох видів, кращий підхід полягає в спробі наблизити природний режим течії, який підтримував "всю панораму видів".

Важливо, що цілісні методології спрямовані на задоволення потреб води у всій "річковій екосистемі". Ці методології підкріплені концепцією "парадигми природних потоків" та основними принципами, якими керується відновлення річкового коридору. Вони мають спільну мету - підтримувати або відновлювати пов'язані з потоками біофізичні компоненти та екологічні процеси в потоках та системах підземних вод, заплавах та прийомних водах нижче за течією (наприклад, кінцеві озера та заболочені ділянки, лимани та прибережні морські екосистеми) [23].

## 5. ВИЗНАЧЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОГО СТОКУ НА ПРИКЛАДІ МАЛИХ РІЧОК ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Досліджувана територія розташована у лісостеповій і степовій природних зонах України і охоплює басейни річок Південний Буг, межиріччя Дунай-Дністер, Причорноморську низовину і прилеглі до них території

Відповідно до ландшафтно-гідрологічного районування виконаного в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка В.В.Гребенем 2010 року [4,24], розглядувана територія належить до лісостепової, недостатньо зволоженої ландшафтно-гідрологічної зони (верхня і середня частини басейну Південного Бугу, до впадіння р.Савранки), Дністровсько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції (Подільсько-Придніпровський височинний ландшафтно-гідрологічний район, III-1-а), степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони (нижня частина басейну, нижче від впадіння р.Савранки і водозбори річок міжріччя Дністра і Південного Бугу), Нижньобузько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції (IV-1), і лише

в крайній південній частині розглядуваної території – до Причорноморсько-Приазовської ландшафтно-гідрологічної провінції (Причорноморський низовинний ландшафтно-гідрологічний район, IV-3-а).

В даній роботі визначення екологічних витрат води на річках Півдня України виконане за методикою УкрГМЦ. Для розрахунку екологічної витрати води використані наступні пости та їх вхідні дані (табл.5.1)

Таблиця 5.1 – Вихідні дані для розрахунку екологічних витрат води на річках Півдня України

№ п/п	Річка - пост	Період спостережень, п років	Площа водозборів, $F$ , км <sup>2</sup>	Район річкового басейну
1	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	33	810	Річки Причорномор'я
2	р. Тилігул - с. Березівка	57	3170	
3	р. Кодимас.Катеринка	35	2390	Південний Буг
4	р. Чорний Ташлик с. Піщаний Брід	23	1830	
5	р. Чорний Ташлик м. Тарасівка	80	2230	
6	р. Південний Буг смт. Олександрівка	35	46200	
7	р. Мертвовід с.Крива Пустош	62	252	
8	р. Гнилий Єланецьс.Женево-Криворіжжя	46	1190	
9	р. Інгул м. Кіровоград	66	840	
10	р. Інгул с. Седнівка	47	4770	
11	р. Інгул с.Новогорожене	81	6670	
12	р.Громокліяс.Михайлівка	42	1410	

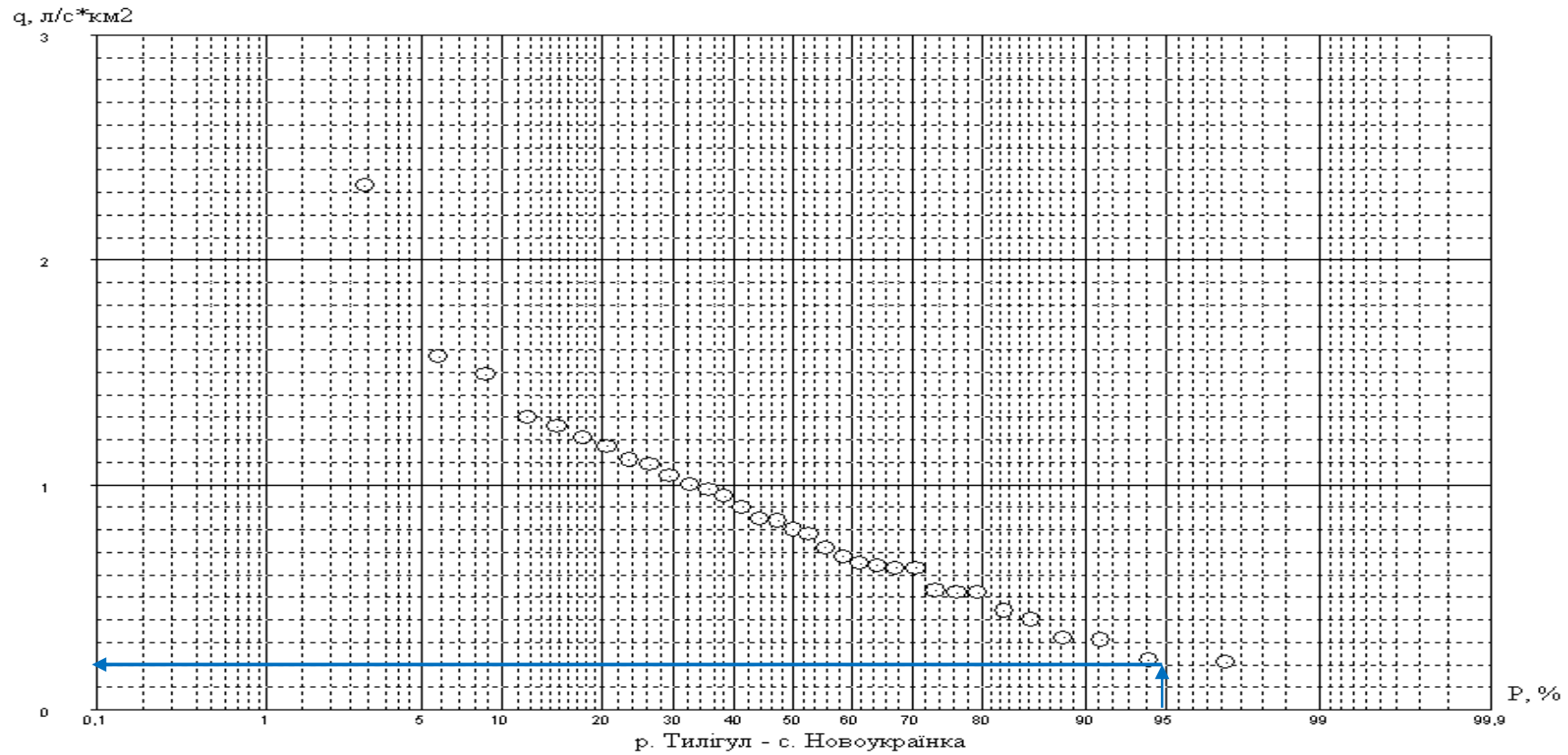


Рисунок 5.2 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р.Тилігул– с. Новоукраїнка період 1955-1986 роки  
 З даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,2 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ , яке приблизно дорівнює значенню 1959 року ( $0,21 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ )



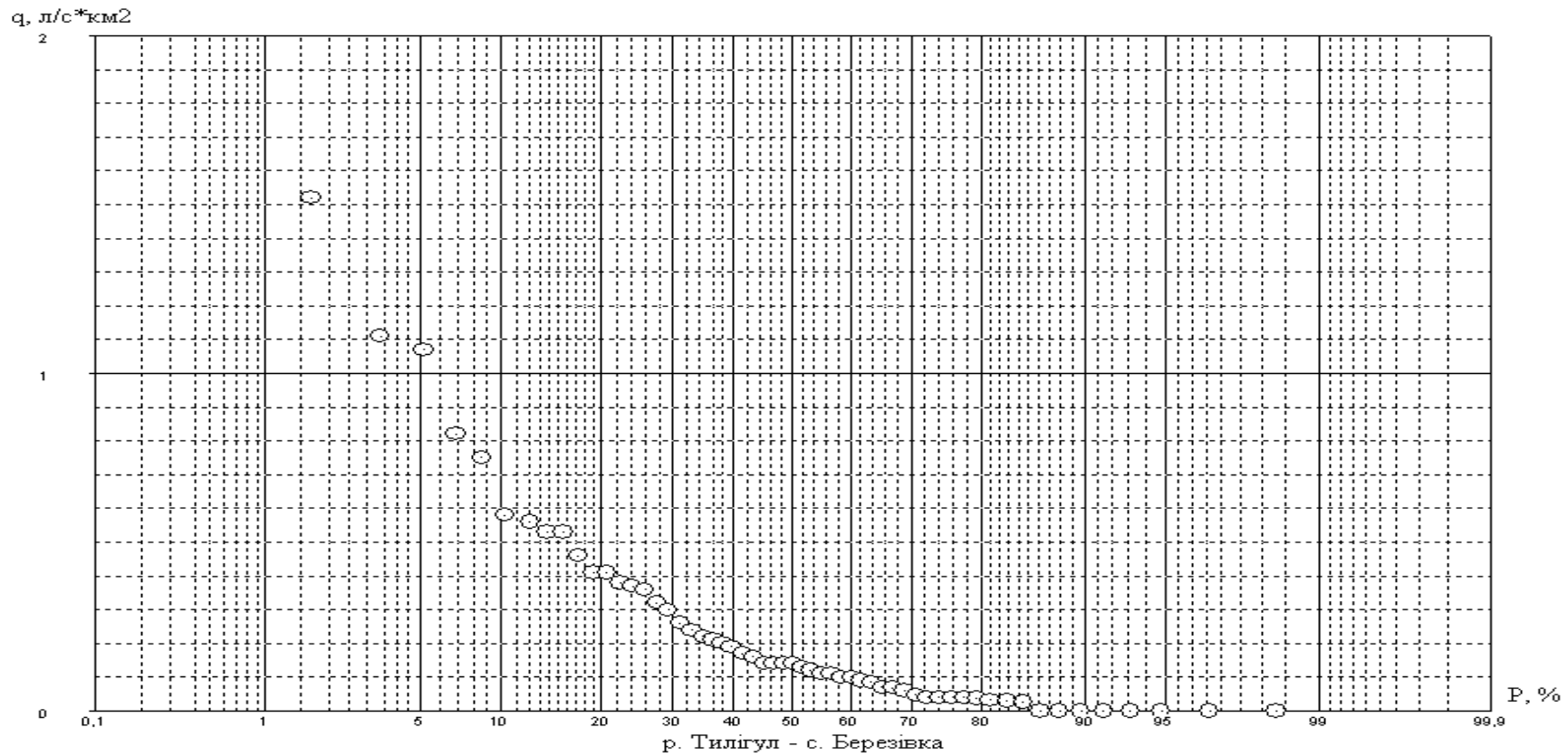


Рисунок 5.3- Крива забезпеченості середніх річних витрат води р.Тилігул– с. Березівка період 1953 - 2010 роки  
З даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0 л/с·км<sup>2</sup>, яке приблизно дорівнює значенню 1975 року (0 л/с·км<sup>2</sup>)

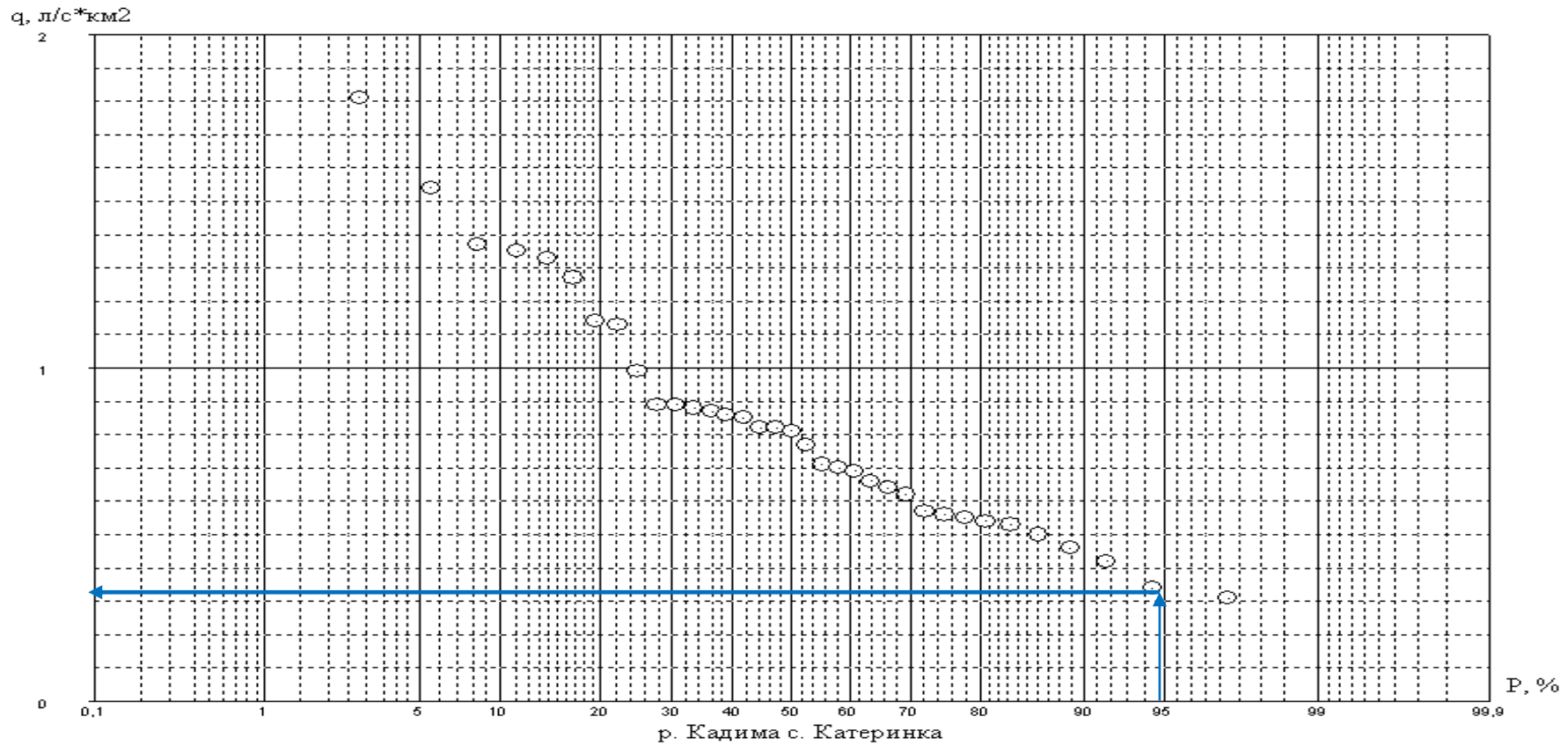


Рисунок 5.4 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р.Кодима– с. Катеринка період 1981 - 2015 роки  
З даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,34 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ , яке дорівнює значенню 2007 року ( $0,34 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ )

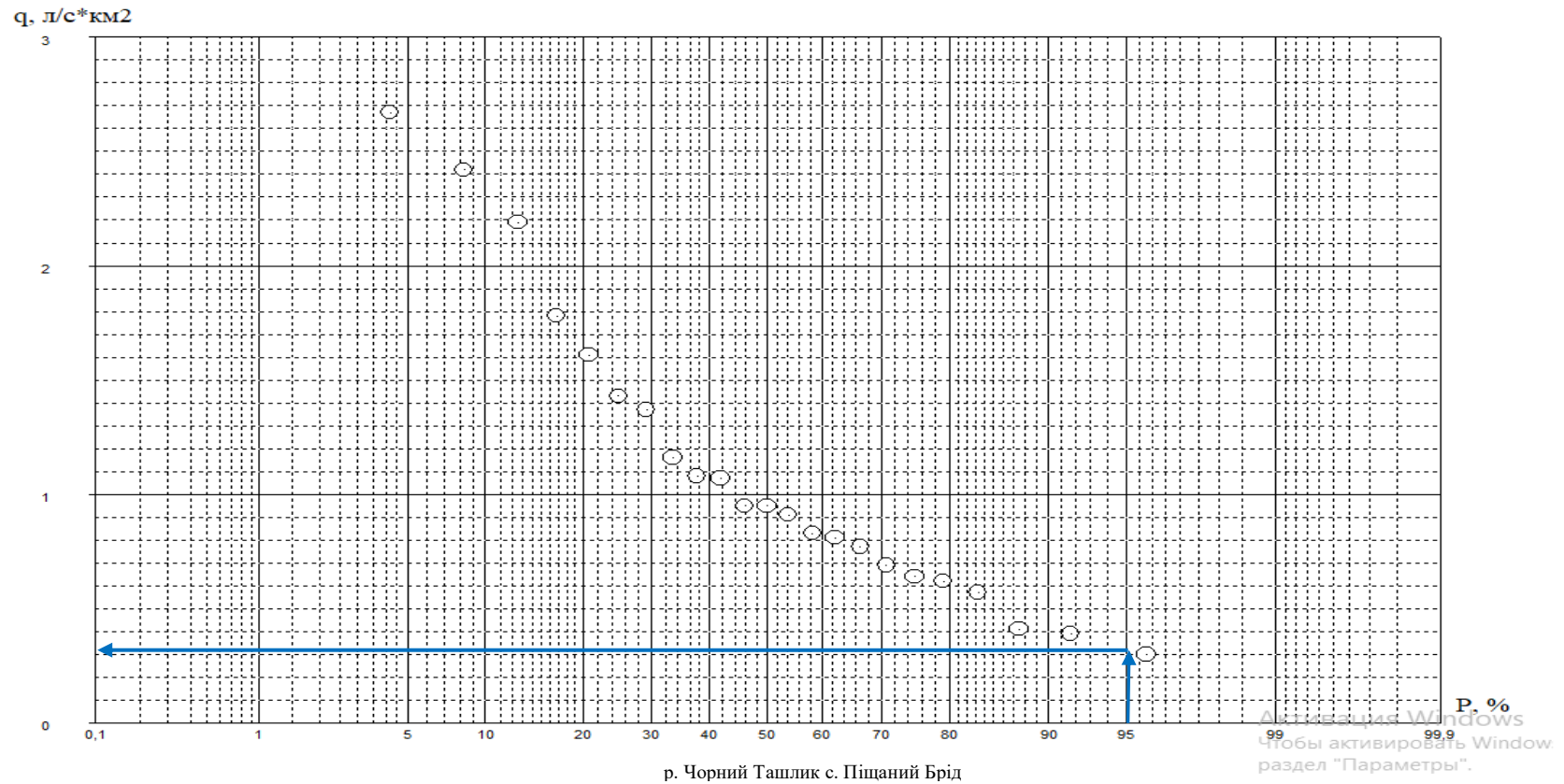


Рисунок 5.5 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Чорний Ташлик с. Піщаний Брід період 1965 - 1987 рокиЗ даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0,31 л/с·км<sup>2</sup>який приблизно дорівнює значенню 1984 року (0,3 л/с·км<sup>2</sup>)

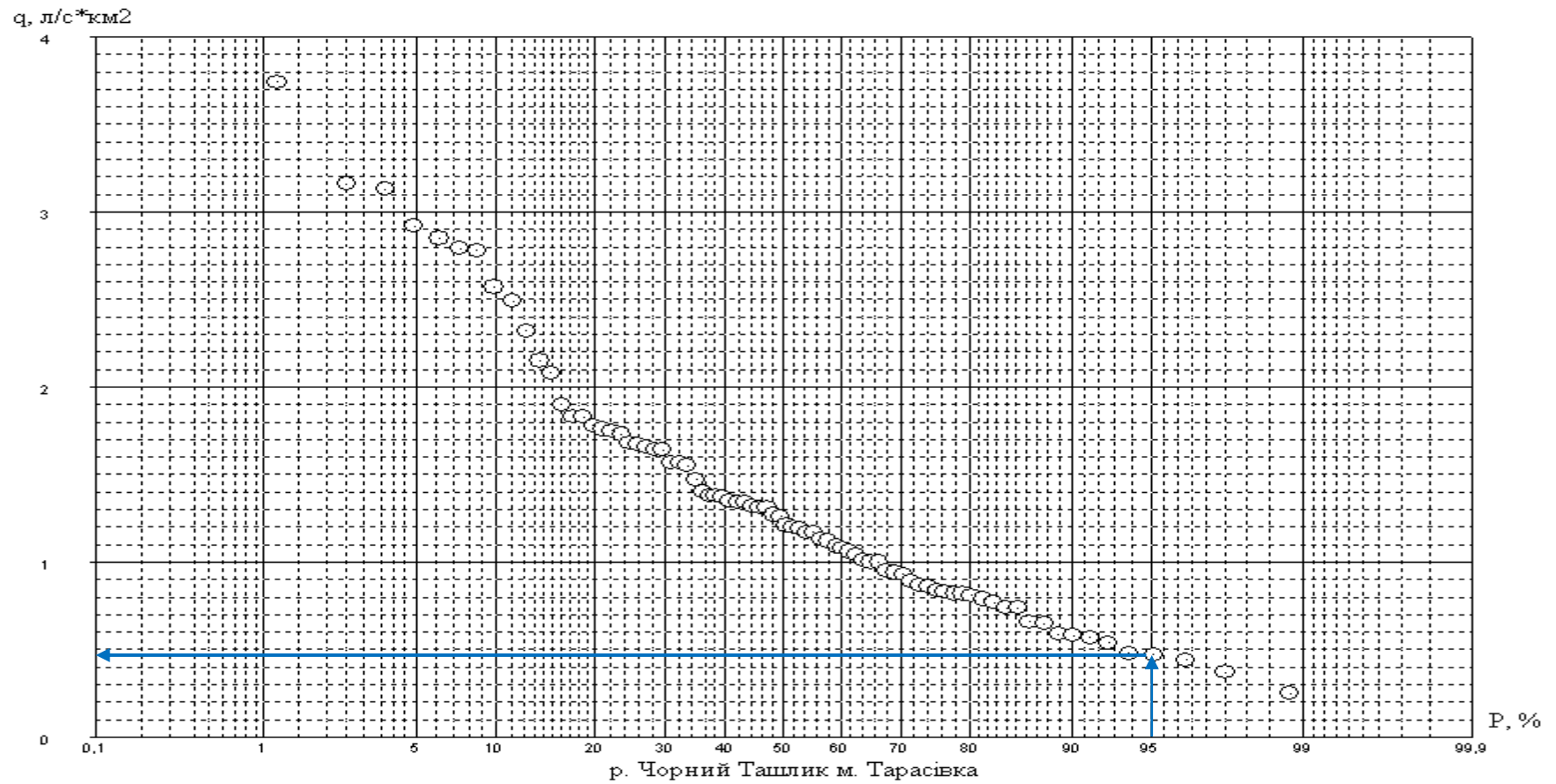


Рисунок 5.6 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Чорний Ташлик м. Тарасівка період 1933 - 2015 рік  
З даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0,47 л/с·км<sup>2</sup> який дорівнює значенню 1957 року (0,47 л/с·км<sup>2</sup>)

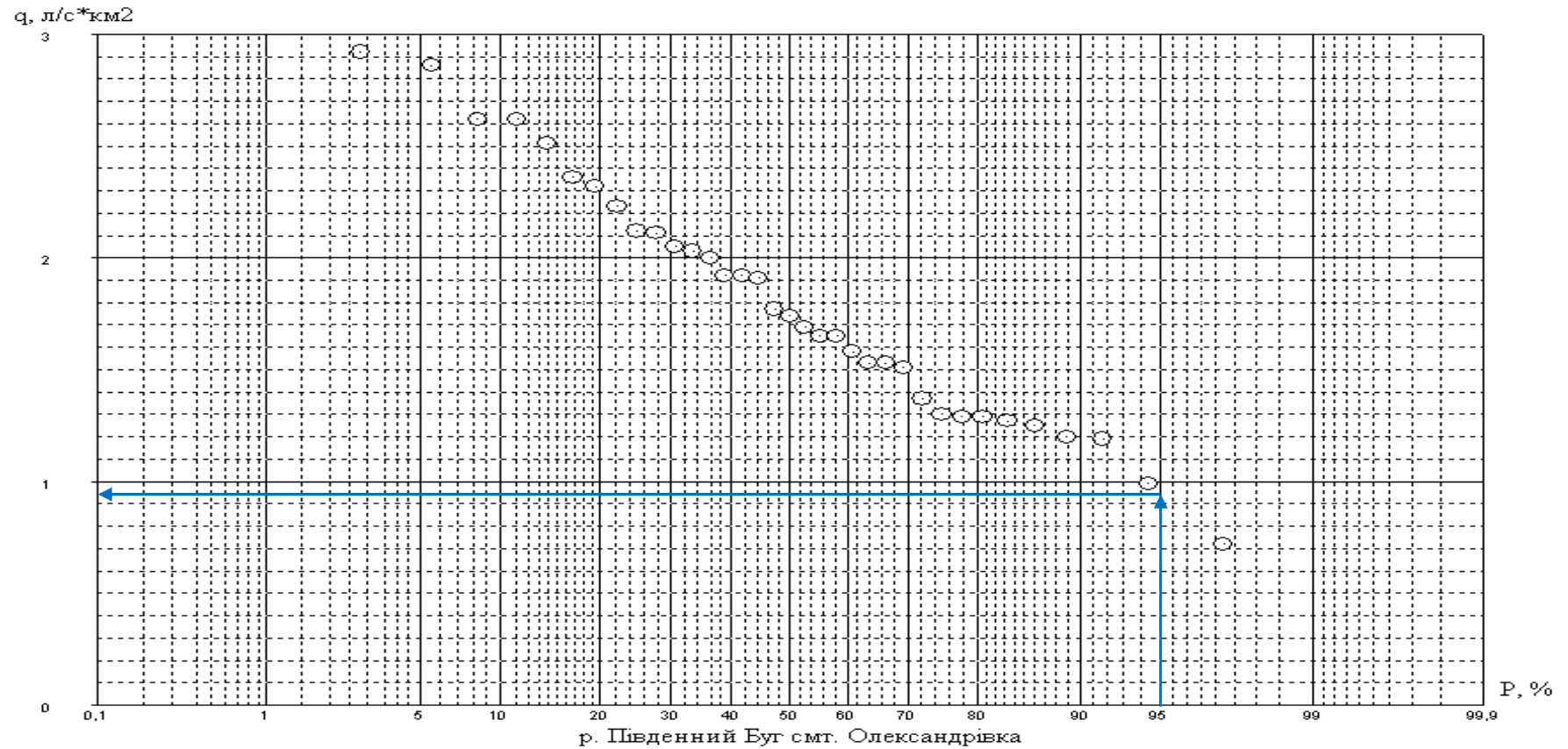


Рисунок 5.7 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Південний Буг смт. Олександрівка період 1981-2015 рокиЗ даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,95 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$  який приблизно дорівнює значенню 2012 року ( $0,99 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ )

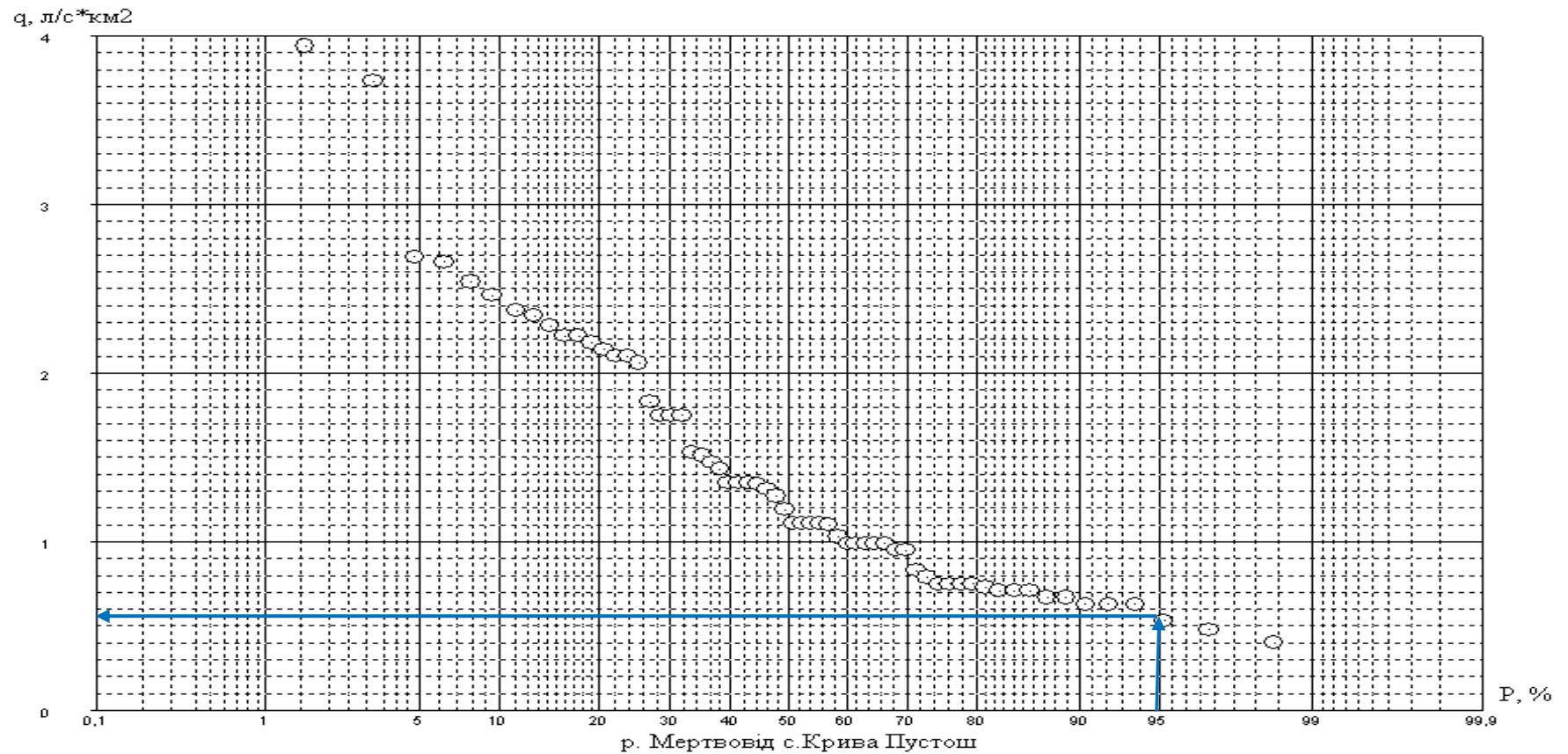


Рисунок 5.8 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Мертвовід с.Крива Пустош період 1949 - 2010 рік  
 З даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0,51 л/с·км<sup>2</sup> який приблизно дорівнює значенню 1954 року (0,53 л/с·км<sup>2</sup>)

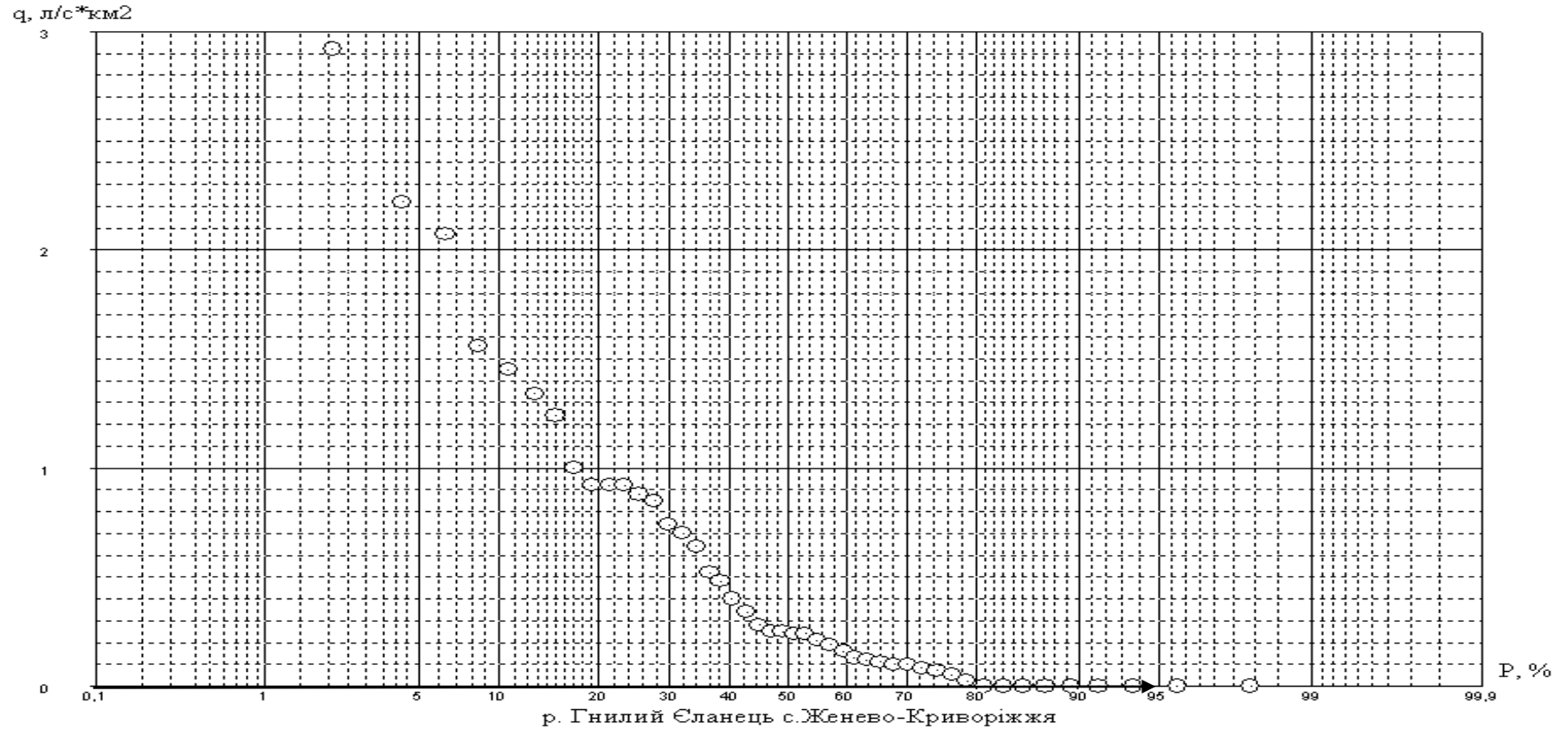


Рисунок 5.9 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Гнилий Єланець с.Женево-Криворіжжя період 1936 - 1987 роки

З даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0 л/с\*км<sup>2</sup> який приблизно дорівнює значенню 1972 року (0 л/с\*км<sup>2</sup>)

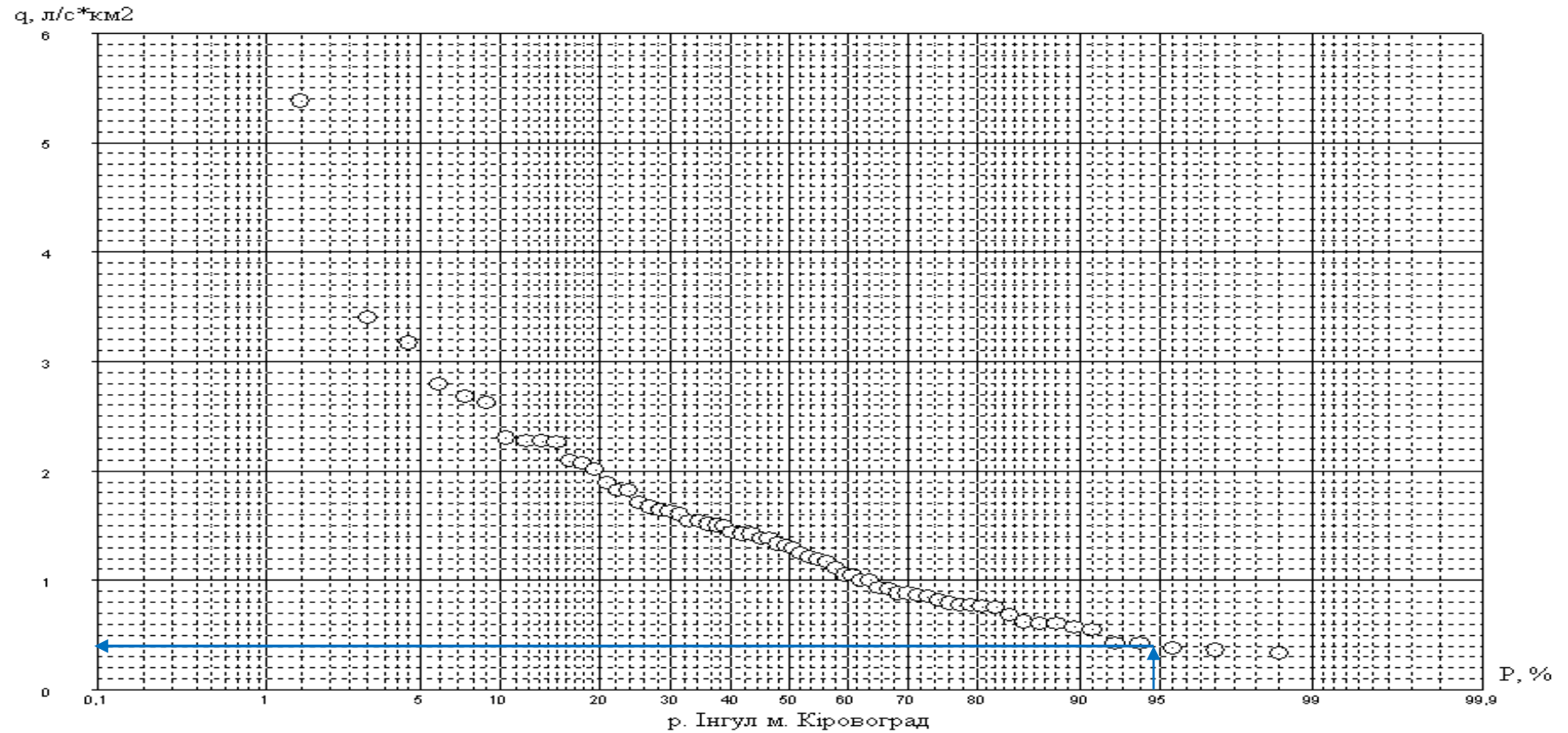


Рисунок 5.10 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Інгул м. Кіровоград період 1945 - 2010 роки  
 З даного графіку знято значення 95% забезпеченості 0,56 л/с·км<sup>2</sup> який приблизно дорівнює значенню 1954 року (0,55 л/с·км<sup>2</sup>)



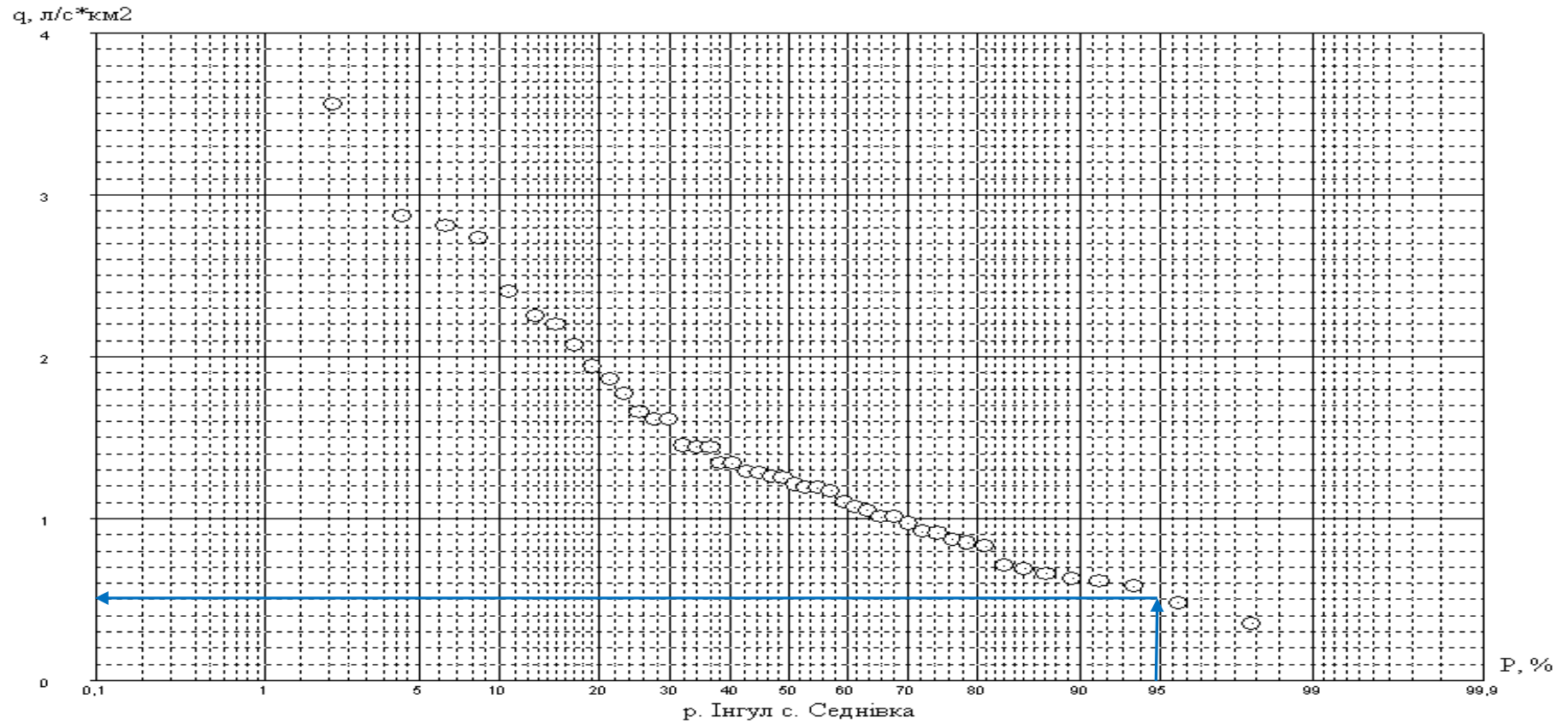


Рисунок 5.11 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Інгул с. Седнівка період 1954 - 2000 рік  
 З даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,61 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  який дорівнює значенню 1959 року ( $0,61 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ )

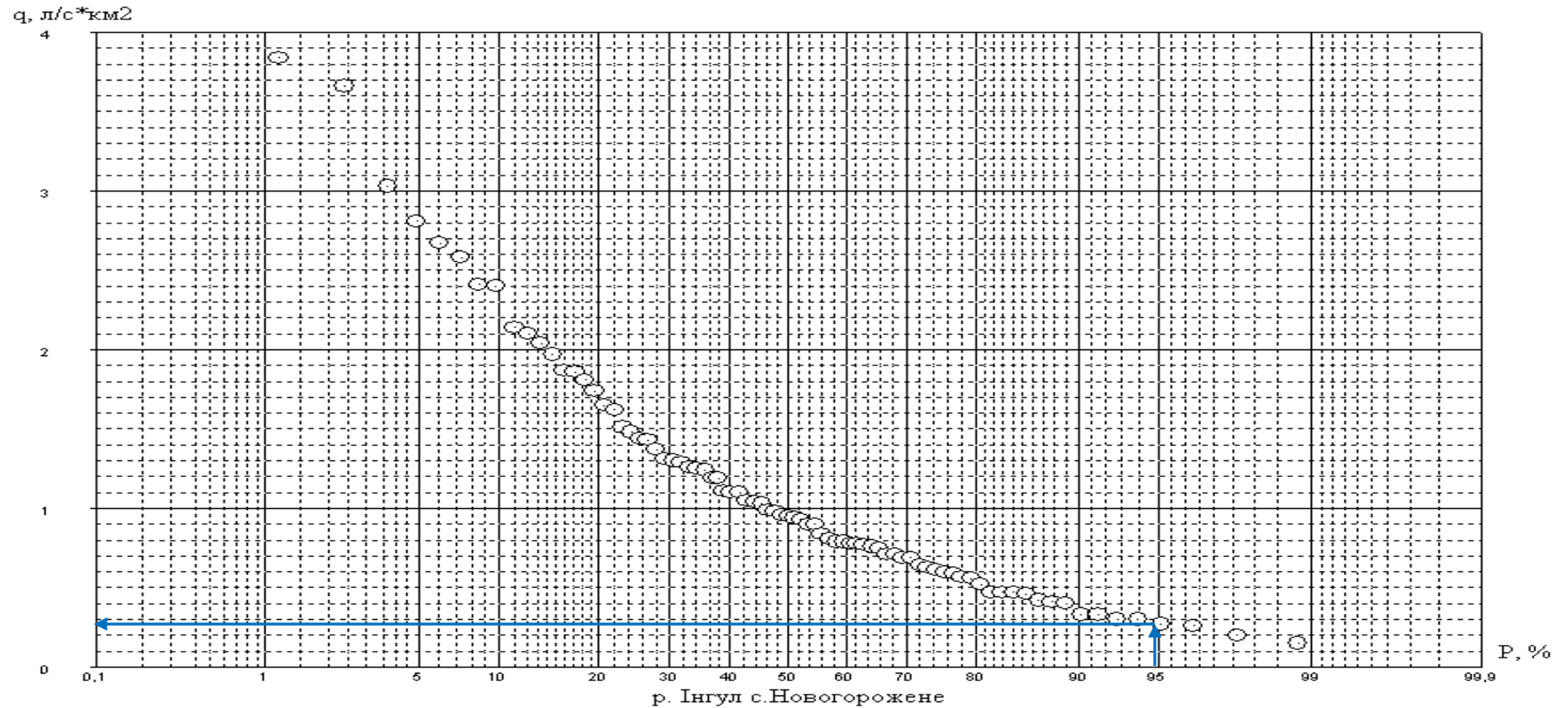


Рисунок 5.12 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Інгул с.Новогорожене період 1931 - 2015 рік  
З даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,27 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$  який дорівнює значенню 1997 року ( $0,27 \text{ л/с} \cdot \text{км}^2$ )

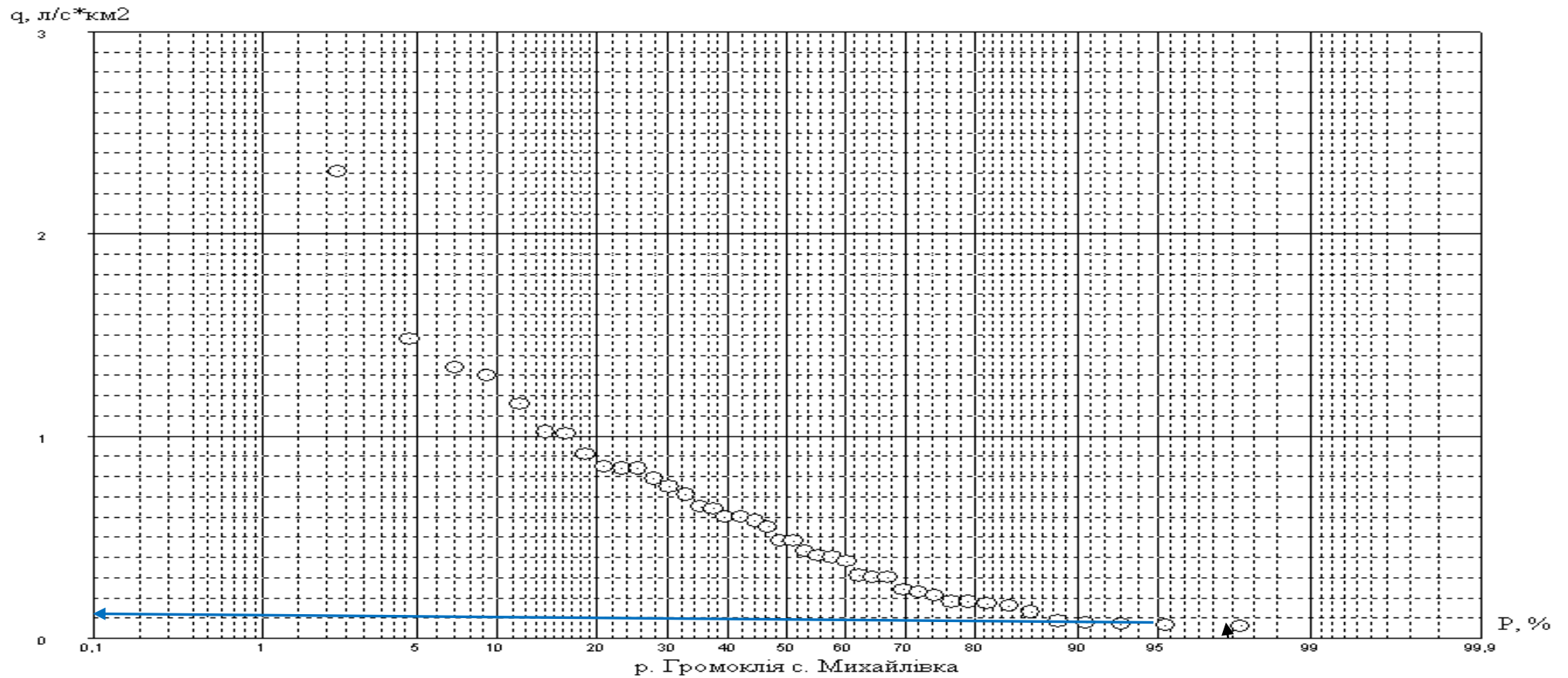


Рисунок 5.13 - Крива забезпеченості середніх річних витрат води р. Громокля с. Михайлівка період 1946 - 1987 роки  
 З даного графіку знято значення 95% забезпеченості  $0,07 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$  який дорівнює значенню 1959 року ( $0,07 \text{ л/с}\cdot\text{км}^2$ )

Результат розрахунків та дані зняті з робочих графіків для 11 постів було занесено у табл.5.2, модулі стоку  $q$  перевели у  $Q$  за допомогою формули:

$$Q = (q * F)/1000, \quad (5.1)$$

де  $F$  – площа водозборів, км<sup>2</sup>.

Таким чином, в результаті розрахунків отримані екологічні витрати води для річок досліджуваної території, які змінюються в діапазоні від 0 (р.Тилігул, Кодима) до 11.4 м<sup>3</sup>/с (р.Південний Буг- Олександрівка).

Таблиця 5.2 – Визначення екологічних витрат води на річках Півдня України

№ п/п	Річка - пост	Період спостережень п років	Площа водозборів, $F$ , км <sup>2</sup>	$Q_{95\%}$ , м <sup>3</sup> /с	Рік близький до $P=95\%/Q_{сер}$	Мінімальна середня місячна витрата води з червня по листопад	Екологічна витрата $Q_{min_{се}}$ р/місяць *0,75 м <sup>3</sup> /с
1	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	33	810	0,162	1959/0,17	0	<b>0</b>
2	р. Тилігул - с. Березівка	57	3170	0	1974/0	0	<b>0</b>
3	р. Кодима с.Катеринка	35	2390	0,81	2007/0,81	0,0	<b>0</b>
4	р. Чорний Ташлик с. Піщаний Брід	23	1830	0,57	1984/0,55	0,32	<b>0,24</b>
5	р. Чорний Ташлик м. Тарасівка	80	2230	1.05	1957/1.05	0,1	<b>0,075</b>
6	р. Південний Буг смт. Олександрівка	35	46200	43,89	2012/45,73	15,2	<b>11,4</b>
7	р. Мертвовід с.Крива Пустош	62	252	0,13	1954/0,133	0,03	<b>0,023</b>
8	р. Гнилий Єланець с.Женево-Криворіжжя	46	1190	0	1972/0	0	<b>0</b>
9	р. Інгул м. Кіровоград	66	840	0,47	1954/0,46	0,091	<b>0,068</b>
10	р. Інгул с. Седнівка	47	4770	2,9	1959/2,9	0,18	<b>0,135</b>
11	р. Інгул с.Новогорожене	81	6670	1,8	1997/1,8	1,05	<b>0,786</b>
12	р. Громоклія с.Михайлівка	42	1410	0,1	1959/0,1	0	<b>0</b>

## ВИСНОВКИ

- В останні роки, у зв'язку з глобальними і регіональними змінами клімату мінімальний стік річок може зазнавати суттєвого впливу та змін, зокрема внаслідок підвищення температури повітря на Півдні України;
- В даній кваліфіційній роботі визначені статистичні характеристики мінімального добового стоку річок в басейні Південного Бугу з використанням методів моментів та найбільшої правдоподібності, а також визначені коефіцієнти автокореляції, які для окремих річок досягають значущих величин.
- Проаналізована циклічність коливань мінімального добового стоку річок досліджуваної території за допомогою метода різницьних інтегральних кривих. В цілому на досліджуваній території річки мають синхронні та синфазні коливання, але в окремих випадках вони асинхронні (р. Згар – смт Літин; р. Мертвовод - с. Крива Пустощ; р. Синюха – Синюхін Брід).
- Для уточнення статистичних параметрів при недостатності та відсутності спостережень використана кореляційна матриця, яка дозволила визначити аналоги для кожного ряду, де похибка перевищує допустимі 15% .
- Виконане уточнення статистичних параметрів для річок з короткими рядами за допомогою графічного методу.
- З метою оцінки впливу інтразональних факторів побудовані залежності, а також для дослідження впливу висоти і широти місцевості побудовані відповідні залежності
  - Аналіз отриманих залежностей показав тенденцію до зміни середньорічного мінімального добового стоку зі збільшенням висоти місцевості та наявність значущої залежності від широти та довготи місцевості.
  - Визначення екологічних витрат води є актуальною задачею комплексного управління водних ресурсів, як в світі, так й в Україні.
  - Екологічний стік – це доволі нова концепція у сфері природоохоронної діяльності, але розвивається вона достатньо швидкими темпами. Реалізація концепції екологічного стоку відбувається, насамперед, шляхом регламентації та оптимізації роботи гідротехнічних споруд,

режимів роботи ГЕС, станцій водозабору, тощо. На сьогодні світовими державами-лідерами, які впроваджують цю концепцію на практиці на зарегульованих річках та водних об'єктах з інтенсивним водокористуванням, є США, Австралія, ПАР, Англія, Іспанія та ін.

- В Україні для визначення екологічних витрат використовується Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об'єктах суші України, яке затверджене для використання у 2020 році, розроблене в УкрГМЦ.

- В даній роботі визначення екологічних витрат води на річках Півдня України виконане за методикою УкрГМЦ.

- Для розрахунку використовуються дані про витрати води, що опубліковані в гідрологічних щорічниках. Якщо у багаторічному ряді можна виділити кілька років з середніми річними витратами води, близькими до 95% забезпеченості, то для визначення екологічної витрати перевагу слід надати року з меншими абсолютними значеннями середніх місячних витрат літньо-осіннього періоду.

- В результаті розрахунків отримані екологічні витрати води для річок досліджуваної території, які змінюються в діапазоні від 0 (р.Тилігул, Кодима) до 11.4 м<sup>3</sup>/с (р.Південний Буг- Олександрівка).

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи / Афанасьєв С., Бедзь Н., Боднарчук Т., За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. — Київ: Вид-во ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 174 с
2. Атлас. Фізична географія України / О.Я. Скуратович. - К.: Картографія, 2014.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Описание рек и озер. Том 6. Украина и Молдавия. Выпуск 1. Западная Украина и Молдавия. Ленинград: Гидрометеиздат, 1978. 490 с.
4. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландафтно-гідрологічний аналіз). Київ : Ніка-центр, 2010. 316 с.
5. Водна Рамкова Директива ЄС 2000/60/ЄС. Основні терміни та їх визначення : вид. офіційне. Київ : Твій формат, 2006. 240 с.
6. Гребінь В.В., Яцюк М.В., Чунарьов О.В. Гідрографічне районування території України як передумова розробки планів інтегрованого управління річковими басейнами. *Гідрологія, Гідрохімія і Гідроекологія*. 2012. Т. 2(27). Київ, 2012. С. 8-16.
7. Електронний ресурс. Гідрографічне районування України:  
[https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5\\_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F\\_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8](https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%93%D1%96%D0%B4%D1%80%D0%BE%D0%B3%D1%80%D0%B0%D1%84%D1%96%D1%87%D0%BD%D0%B5_%D1%80%D0%B0%D0%B9%D0%BE%D0%BD%D1%83%D0%B2%D0%B0%D0%BD%D0%BD%D1%8F_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8)
8. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу В.В.Гребінь, В.Б.Мокін, В.А.Сташук, В.К.Хільчевський, М.В.Яцюк, О.В.Чунарьов, Є.М.Крижановський, В.С.Бабчук, О.Є.Ярошевич К.:Інтерпрес ЛТД, 2013. 55 с.
9. Клімат України / за ред. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.

10. Хільчевський В.К. Водні ресурси та якість річкових вод басейну Південного Бугу / В.К. Хільчевський [и др.]. 2009. Ніка-Центр, 2009. 184 с.
11. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Ленинград: Гидрометеиздат, 1984. 447 с.
12. Збірник методичних вказівок „Мінімальний стік” до самостійної роботи студентів IV курсу гідрологічного факультету денної форми навчання за спеціальністю „Гідрологія і гідрохімія”\Укладачі: Овчарук В.А. – Одеса, ОДЕКУ, 2002, 33 с, <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/51/>
13. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: Підручник. Одеса: ТЕС, 2014. – 484 с.
14. The Brisbane Declaration. Environmental Flows are Essential for Freshwater Ecosystem Health and Human Well-Being. Declaration of the 10th International River symposium and International Environmental Flows Conference, Brisbane, Australia, 3-6 September 2007
15. Directive 2007/60/EC of the European Parliament and of the Council of 23 October 2007 on the assessment and management of flood risks (Text with EEA relevance). Official Journal of the European Union. 2007. L 288/27. URL: [\[https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/\]](https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/)
16. Розлач З.В., Гуляєва О.О., Усов О.Є. ЕКОЛОГІЧНИЙ СТИК В УПРАВЛІННІ ВОДНИМИ ЕКОСИСТЕМАМИ. *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Управління водними ресурсами в умовах змін клімату»*. Київ. 2017. С. 228 – 229.
17. Положення про порядок оцінки та інформування про маловоддя (гідрологічну посуху) на водних об’єктах суші України. Київ: Український гідрометеорологічний центр, 2020. 13 с
18. Дубинина В. Г. Методические основы экологического нормирования безвозвратного изъятия речного стока и установления экологического стока (попуска). Москва: Экономика и информатика, 2001. 118 с.
19. O’Keefe, J. H. Sustaining river ecosystems: balancing use and protection. *Progress in Physical Geography* 33(3) (2009) pp. 339-357.



20. Иофин З.К. Экологически допустимые изъятия речного стока. Экстремальные гидрологические события в Арало-Каспийском регионе: труды международной научной конференции (Москва, 19-20 октября 2006 г.). Москва, 2006. С. 252–254
21. Иофин З.К. Экологическая обоснованность остаточного минимального расхода воды. Фундаментальные проблемы изучения и использования воды и водных ресурсов: материалы научной конференции. Иркутск, 2005. С. 80–83.
22. King J.M., Brown C.A. & Sabet H. 2003. A scenariobased holistic approach to environmental flow assessments for rivers. *River Research and Applications*, 19: 619-640.
23. Кущенко, Л. В., Овчарук, В. А., Прокоф'єв, О. М., Гопцій, М.В., Андреевська, Г.М. (2021) Мінімальний та екологічний стік річок у зоні недостатньої водності України. *Науково-практичний журнал. Екологічні науки*, 2 (35). С. 30-36.
24. ЗАГАЛЬНА ГІДРОЛОГІЯ . Підручник. За редакцією В.К. Хільчевського та О.Г. Ободовського, Київ. 2008. 399 с

**ДОДАТКИ**

## Додаток А

Перелік досліджуваних гідропостів та їх гідрографічних характеристик у басейні річки Південний Буг

№ поста	Річка - пост	F, км <sup>2</sup>	Відстань від витоку	Ухил, %	Середня висота водозбору	Озерність, %	Заболоченість, %	Залісненість, %	Розораність, %
1	р.Тилігул - с. Нова-Українка	810	57	2,9	170	<1	0	<1	65
2	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	76	0,7	320	<1	3	8	75
3	р. Південний Буг - с Лелітка	4000	152	0,6	320	<1	5	8	
4	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	235	0,4	310	<1	6	11	
5	р.Південний Буг - с. Хащувате	20700							
6	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	587	0,4		<1	3	14	
7	р. Південний Буг – с.Первомайськ	44000							
8	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	46200	674	0,5		<1	2	9
9	р Бужок - смт.Меджибік	698	72	0,8	320	<1	7	1	70
10	р Іква - с.Старый Синява	439	45	1,2	310	1	4	5	70
11	р. Згар – смт Літин	692	59	1	320	3	11	13	65
12	р. Десна - с. Сосновка	1300							
13	р. Савранка - с.Осички	1740	91	1,7	200	<1	2	15	65
14	р. Синица - с. Кам'яний Брід	753	67	2,3	190	<1	<1	8	70
15	р. Кодима - с. Обжила	145	12	5,6	230	<1	2	19	70
16	р. Кодима - с. Катеринка	2390	137	1,4	170	<1	1	11	75
17	р. Синюха - с.Синюхин Брод	16700	99	1,3	190	<1	1	5	
18	р. Горний Тикич - с. Тальное	3400							

## Продовження додатку А. 1

№ поста	Річка - пост	F, км <sup>2</sup>	Відстань від витоку	Ухил, %	Середня висота водозбору	Озерність, %	Заболоченість, %	Залісненість, %	Розораність, %
19	р. Манькова - с. Кинашевка	76,7							
20	р. Велика Вись - с. Ямполь	2820	156	0,7	180	<1	1	3	70
21	р. Ятрань - с. Покотилово	2140	99	1,5	200	<1	<1	7	75
22	р. Уманка - г. Умань	275							
23	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	117	1,3	200	<1	<1	2	75
24	р. Мертвовод - с. Крива Пустощ	252	26	4,8	190	<1	<1	2	70
25	р. Інгул - г. Кировоград	840	38	1	170	<1	<1	2	75
26	р. Інгул - с. Інгуло-Каменка	3080							
27	р. Інгул - с. Седнівка	4770	149	0,6	160	<1	<1	2	
28	р. Інгул - с. Новогорожено	6670	236	0,6	150	<1	<1	1	

## Додаток Б - Вихідні данні по мінімальному добовому стоку річок басейну Південного Бугу

Рік	р.Тилігул - с. Нова- Українка	р. Південний Буг - с. Пирогівці	р. Південний Буг - с Лелітка	р. Південний Буг - с. Сабарів	р.Південни й Буг - с. Хашувате	р. Південни й Буг - с. Підгір'я	р. Південний Буг – с.Первомайськ	р. Південний Буг - смт Олександрівк а	р Бужок - смт.Меджибі к	р Іква - с.Старый Синява	р. Згар – смт Літин
1905											
1906											
1907											
1908											
1909											
1910											
1911											
1912											
1913											
1914								22,6			
1915								17,1			
1916								21,3			
1917								23,9			
1918								19,7			
1919								19,7			
1920								12,5			
1921								14,0			
1922								21,3			
1923					23,2			34,5			
1924					20,6			31,4			
1925					28,4			26,8			
1926			2,2		15,6	24,8		33,5			
1927			3,2		12,0	13,9		19,5			
1928			1,6		12,2	5,8		11,0			

1929			2,8	5,0	11,0	13,9		13,1			
1930			1,7	1,8	10,3	10,5		11,9			
1931			2,4	5,8	10,5	11,9		14,9			0,0
1932			2,0	4,9	10,6	14,4		25,3			0,3
1933			0,5	2,8	17,0	26,3		47,4			0,5
1934			1,7	2,3	6,8	6,8		12,9			0,0
1935			0,8	4,3	8,9	12,3		17,9			0,2
1936			0,7	1,8	5,0	2,0		4,3			0,0
1937			1,9	4,5	11,9	9,5		12,3			0,5
1938			1,0	8,2	26,1	13,9		19,4			0,4
1939			0,6	6,1	16,7	11,0		20,2			0,1
1940			1,6	6,0		9,0		19,8			0,3
1941											0,9
1942			0,5	4,1		13,9		42,8			0,2
1943			0,5	4,7		14,5		36,5			
1944			0,8	8,7		12,6		25,6			0,5
1945			0,8	3,6			16,9	18,9			0,1
1946			0,5	2,0			11,7	7,7		0,7	0,0
1947				4,2			15,8	10,5		0,6	0,6
1948				7,6			36,6	39,3		0,6	1,3
1949				6,1			20,0	39,3		0,6	0,7
1950				2,2			14,8	16,5		0,7	0,0
1951				2,4			14,2	13,6		0,6	0,0
1952				1,1			17,9	12,5	0,0	0,7	
1953				2,5			19,0	17,3	0,0	0,3	
1954				3,8			21,5	21,6	0,0	1,0	0,1
1955	0,0			4,4			23,0	30,1	0,2	0,6	0,3
1956				3,6			22,0	17,8	0,0	0,7	0,1
1957				1,2			6,4	6,4	0,0	0,3	0,0

1958				1,8		11,0		13,4	0,2	0,3	0,0
1959				1,5		5,7		7,2	0,0	0,3	
1960				2,3		18,0		18,8	0,2	0,3	0,1
1961				4,4		9,2		18,0		0,4	
1962				3,3		18,7		27,0		0,5	
1963				1,8		10,3		10,3	0,1	0,2	0,1
1964		0,3	1,2	4,2		9,9		18,1		0,5	0,1
1965		0,4	4,6	13,7		22,6		32,6	0,6	0,8	0,1
1966		0,6	2,6	9,3		20,0		29,9	0,8	0,8	0,0
1967		0,3	1,8	6,3		9,6		24,8		0,6	0,1
1968		0,6	1,4	1,9		14,9		4,8		0,4	0,1
1969		0,7	8,5	14,6		32,1		40,4	2,4	1,0	0,2
1970	0,2	1,7	8,4	15,6		36,7		30,3	1,3	1,2	0,2
1971		1,3	1,5	2,9		19,1		22,8		0,4	0,1
1972		1,3	3,6	11,1		15,7		24,8	0,5	0,7	0,5
1973	0,1	1,8	4,0	12,4		22,6		31,2	0,5	0,9	0,4
1974	0,1	1,2	12,8	11,3		17,9		22,7	0,8	0,6	0,2
1975		1,4	7,3	13,8		21,8		21,7	0,8	1,2	0,4
1976	0,1	0,6	10,5	11,6		16,9		15,8	0,7	1,2	0,1
1977	0,3	1,2	8,1	11,0		27,4		44,8	0,9	0,8	0,1
1978	0,2	0,6	7,7	22,9		22,8		45,4	0,5	1,3	0,3
1979	0,3	1,7	7,7	22,3		30,5		28,2	1,5	1,7	0,1
1980	0,2	3,1	11,1	23,6		32,2		58,8	0,4	1,1	0,4
1981	0,1	2,2	12,0	19,2		36,3		38,9	2,0	0,8	0,2
1982	0,1	2,6	11,4	21,0		39,2		50,5	0,8	0,8	0,2
1983	0,1	1,8	8,0	22,9		40,6		44,4	0,7	0,9	0,2
1984	0,1	1,6	7,7	24,2		30,9		42,1	0,6	0,7	0,2
1985	0,1	1,6	9,3	24,6		41,1		47,5	0,4	0,6	0,2
1986		1,1	3,7			20,7		23,3	0,4	1,1	0,1

1987	0,0	1,4	1,0			27,4		29,2	0,3	0,5	0,1
1988		1,7	7,5			27,2		38,2		0,5	0,2
1989		1,8	5,0			18,8		25,9		0,3	0,3
1990		0,8	4,2	14,0		11,2		24,9		0,5	0,1
1991		1,8	3,1	29,4		44,8		51,4		0,4	1,8
1992		2,3	4,2			14,3		10,8		0,5	0,9
1993		2,5	5,9			20,2		21,1		0,5	1,0
1994		1,0	4,9			13,6		16,9		0,5	0,7
1995		2,0	3,2			14,3		17,2		0,5	0,6
1996		3,4	5,4			15,3		29,3		0,7	1,3
1997		3,5	5,3			21,1		44,3		0,6	1,7
1998		4,6	8,3			38,7		49,5		0,9	1,5
1999		3,7	4,8			16,0		22,7		1,1	1,0
2000		4,4	6,8			22,0		37,5		1,1	0,6
2001		3,6	10,8			19,6		37,2		1,4	1,4
2002		2,0	7,6			20,5		28,4		1,3	1,2
2003		2,2	4,0			13,0		13,4		0,7	0,8
2004		1,2	2,7			14,3		15,8		0,7	0,9
2005		0,5	4,7			16,2		22,4		0,7	0,6
2006		2,3	8,0			21,7		12,8		1,5	0,4
2007		2,4	4,5			10,6		8,6		0,9	0,5
2008		1,3	4,6			13,8		11,5		1,2	0,63
2009		0,9	5,58			9,27		13		1,27	0,35
2010		1,4	3,6			11,9		15,2		0,76	0,39
2011		0,4	9,8			40,8		40,3		0,4	0,2
2012		0,9	4,2			13,4		14,6		0,5	0,0
2013		0,9	5,6			14,2		34,0		0,8	0,3
2014		0,6	11,9			30,2		20,3		1,0	0,3
2015		0,4	4,8			22,5		24,6		0,3	0,6





1929					2,5									
1930					2,1	1,6								
1931		0,3		0,9	2,7	1,9								0,3
1932		0,2		0,1	7,0	4,9								1,2
1933		0,3		0,5	13,8					0,2				0,7
1934		0,1		0,0	4,2	1,0				0,1				0,3
1935		0,1		0,0	3,2	0,9				0,1				0,1
1936	0,2	0,1			1,5	1,6				0,0				0,1
1937	0,5	0,2		0,0	4,0	1,3				0,1				0,2
1938	0,3	0,1		0,0	5,2	0,9		0,1		0,1				0,2
1939	0,0	0,1			4,5	2,6		0,2		0,1		0,0		0,2
1940	0,5	0,3		0,1	9,4			0,3		0,2		0,1		1,8
1941						2,0								
1942		0,5			7,2					0,2				
1943					9,8	1,2				0,1				0,5
1944		0,1		0,0	4,9	1,7								0,6
1945		0,1			3,7	1,0		0,1					0,3	0,1
1946		0,1	0,0		3,9		0,0	0,1		0,3			0,3	0,2
1947		0,0	0,0	0,0	4,6	1,5	0,0	0,1		0,1		0,0	0,1	0,5
1948		0,1	0,0	0,4	8,1		0,1	0,1		0,2	0,1	0,0	0,2	0,3
1949		0,0	0,0	0,0	12,6		0,1	0,2		0,2	0,1	0,0	0,1	0,2
1950		0,0	0,0		5,9		0,1	0,0		0,5		0,0	0,1	0,5
1951		0,1	0,0		3,1		0,0			0,3		0,0	0,1	0,2
1952		0,0	0,0	0,0	6,0		0,1			0,1		0,0	0,1	0,3
1953	0,0	0,0	0,0	0,0	7,7		0,0			0,3		0,0	0,1	0,2
1954	0,0	0,1	0,0	0,2	4,7		0,0			0,2			0,1	0,2
1955	0,7	0,1	0,0	0,0	5,9		0,0			0,2			0,1	0,4
1956	0,1	0,0	0,0		7,5					0,2			0,1	0,3
1957	0,0	0,1	0,0	0,0	0,1					0,3			0,0	0,1

1958	0,3	0,0	0,0		5,7					0,0	0,0		0,1	0,4
1959	0,1	0,0	0,0	0,0	1,0					0,2			0,1	0,1
1960	0,2	0,1	0,0		4,5					0,1			0,1	0,4
1961	0,3	0,0	0,0		0,4					0,1			0,0	0,1
1962	0,5	0,1	0,0		1,9			1,0		0,2	0,0		0,1	0,4
1963	0,1	0,2	0,0		3,0			0,5		0,4			0,0	0,3
1964	0,2	0,1	0,0		3,3			0,4		1,3	0,0		0,0	
1965	0,4	0,2	0,0	0,0	5,2			0,6	0,1	0,4	0,0		0,0	
1966	0,7	0,1	0,0	0,0	4,2			1,4	0,6	0,6	0,0		0,1	
1967	0,4	0,2	0,0	0,0	2,7			1,2	0,2	0,9	0,0		0,1	
1968	0,2	0,2	0,0	0,0	5,2			0,9	1,5	0,7	0,0		0,1	
1969	0,6	0,2	0,0	0,0	6,2			1,6	1,5	0,7	0,1		0,0	
1970	1,0	0,5	0,0	0,4	6,1			1,0	1,3	1,2	0,1		0,1	
1971	1,1	0,2	0,0	0,3	6,2			1,3	0,5	1,2	0,1		0,0	
1972	0,7		0,1	0,3	4,2			1,3	0,5	0,7	0,0		0,2	
1973	1,1		0,0	0,1	5,5			1,2	0,9	1,0	0,1		0,2	
1974	0,7		0,1	0,1	7,8			0,9	0,6	0,6	0,0		0,2	
1975	0,4		0,0	0,0	1,3			0,6	0,2	0,5	0,0		0,1	
1976	0,9		0,0	0,0	4,9			1,2	1,0		0,0		0,1	
1977	1,0		0,0	0,9	6,5			1,4	1,8	0,3			0,5	
1978	1,2		0,1	1,2	8,2			1,4	0,3	1,1			0,3	
1979	1,2		0,0	0,8	3,7			1,0	1,1	1,1			0,2	
1980	1,8		0,1	0,7	13,5			2,7	0,8	0,7			0,3	
1981	0,8		0,1	0,4	1,5			0,7		0,2	0,1		0,3	
1982	1,4		0,0	1,2	8,6			1,0		1,4	0,2		0,5	
1983	1,0		0,1	0,3	4,6			0,6		1,9	0,1		0,2	
1984	1,4		0,1	0,4	6,2			1,0		1,6	0,1		0,2	
1985	1,6		0,0	1,3	3,8			1,7		1,7	0,1		0,1	
1986	1,0		0,0	0,0	3,9			0,6		1,3	0,0		0,0	

1987	1,3		0,1	0,4	3,2			0,5		0,9			0,3	
1988	1,1		0,1	0,9	6,2			0,6		1,0	0,0		0,4	
1989	0,9			0,3	0,8			0,6		0,4	0,0		0,5	
1990	0,7			0,4	0,9			1,1		0,5	0,0		0,5	
1991	2,1			1,1	8,4			1,4		1,3	0,1		0,7	
1992	0,5			0,1	0,7			0,6		0,8	0,1		0,5	
1993	1,2			0,5	2,3			2,0		0,3	0,1		0,8	
1994	0,5			0,0	1,9			1,5		0,1	0,1		0,9	
1995	0,5			0,0	1,1			1,3		0,2	0,1		0,8	
1996	1,7			0,0	2,7			0,8		0,1	0,1		0,8	
1997	1,2			1,0	5,9			2,6		0,4	0,1		1,2	
1998	1,5			1,5	4,9			0,8		0,5	0,2		0,4	
1999	1,1			0,1	2,5			0,3		0,9	0,1		0,2	
2000	0,6			0,1	3,1			0,8		0,6	0,1		0,2	
2001	1,6			0,6	3,2			0,9		0,4	0,1		0,0	
2002	1,2			0,1	2,3			0,5		0,7	0,0		0,0	
2003	0,9			0,2	1,7			1,4		0,2	0,1		0,0	
2004	1,5			0,3	1,7			0,7		0,9	0,1		0,2	
2005	1,4			0,3	1,8			1,1		1,5	0,2		0,1	
2006	0,2			0,2	1,8			0,9		1,0	0,1		0,1	
2007	0,1			0,0	1,2			0,4		0,3	0,0		0,2	
2008	0,46			0,029	0,89			0,42		0,71	0,008		0,35	
2009	0,31			0,042	0,86			0,24		0,49	0,041		0,22	
2010	0,31			0,08	0,93			0,6		0,78	0,051		0,31	
2011	0,5			0,2	1,1			0,6		1,6	0,1		0,7	
2012	0,0			0,0	0,5			0,2		0,4	0,0		0,4	
2013				0,1	1,1			0,2		0,4	0,0		0,4	
2014	0,2			0,0	1,6			0,3		0,5	0,0		0,5	
2015	0,1			0,0	1,3			0,3		0,1	0,1		0,6	

Додаток В  
Кореляційна матриця рядів мінімального добового стоку в басейні р.Південий Буг

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
1	1,00																											
2		1,00																										
3	0,13	0,23	1,00																									
4	0,22	0,62	0,74	1,00																								
5				0,72	1,00																							
6		0,19	0,63	0,85	0,52	1,00																						
7			1,00	0,81			1,00																					
8	0,31	0,31	0,45	0,74	0,58	0,78	0,80	1,00																				
9	0,34	0,01	0,37	0,54		0,52	0,37	0,46	1,00																			
10	0,68	0,24	0,44	0,55		0,22	0,28	0,22	0,53	1,00																		
11		0,63	0,13	0,33	0,55	0,16	0,78	0,29	0,11	0,10	1,00																	
12	0,73	0,59	0,45	0,46	0,24	0,59	0,16	0,57	0,51	0,49	0,41	1,00																
13	0,18	0,44	0,31	0,86		0,58	0,44	0,71	0,30	0,26	0,51	0,87	1,00															
14	1,00	0,81	0,42	0,43	0,23	0,50	0,15	0,42	0,62	0,41		0,28	0,64	1,00														
15		0,53	0,37	0,70		0,50	0,71	0,67	0,23	0,42	0,22	0,63	0,75	0,11	1,00													
16	0,49	0,36	0,33	0,68		0,60	0,81	0,67	0,14	0,10	0,25	0,54	0,68	0,53	0,43	1,00												
17	0,30	0,13	0,04	0,21	0,48	0,36	0,61	0,55		0,06	0,02	0,52	0,36	0,26	0,41	0,31	1,00											
18			0,26	0,10		0,01		0,04			0,10	0,38		0,19		0,10	0,15	1,00										
19				0,52			0,61	0,61		0,11	0,70	0,48			0,70	0,64	0,54		1,00									
20	0,37	0,18	0,27	0,57		0,28	0,44	0,44	0,05	0,01	0,20	0,28	0,49	0,46	0,35	0,44	0,26	0,98	0,31	1,00								
21	0,47	0,16	0,22			0,48		0,06	0,60	0,10		0,23	0,12	0,39		0,22	0,18		0,17	1,00								
22			0,34	0,74	0,54	0,59		0,39	0,27	0,26		0,25	0,51	0,43	0,43	0,40	0,02	0,02		0,21	0,00	1,00						
23	0,47	0,46	0,19	0,58		0,41		0,38	0,29	0,02	0,43	0,64	0,52	0,54	0,23	0,43	0,13			0,30	0,64	0,32	1,00					
24			1,00	0,29									1,00	0,99			0,30	1,00		0,78					1,00			
25	0,46	0,21		0,60		0,16	0,04	0,26	0,25		0,46	0,69	0,26		0,62	0,27				0,30	0,26		0,39	0,03	1,00			
26			0,31	0,27	0,03	0,22	0,25	0,29	0,79	0,14	0,17	0,31	0,47	0,60	0,31	0,04	0,48	0,80	0,06	0,11		0,10		0,96		1,00		
27	0,14	0,47	0,15	0,79		0,35	0,66	0,46	0,26	0,19	0,55	0,81	0,67	0,75	0,64	0,50	0,09			0,36	0,35	0,42	0,68		0,43	0,79	1,00	
28	0,42		0,36	0,52	0,24	0,41		0,30	0,46	0,35	0,04	0,45	0,44	0,71	0,48	0,22	0,09	0,17		0,39	0,21	0,49	0,19	0,84	0,02	0,65	0,34	1,00

## Додаток Г

Результати приведення до тривалого періоду рядів річного стоку річок Південного Бугу

№ по карте	Река-пост	q,	Cv	εq	r	CvN	qn	εqn
		л/с км <sup>2</sup>		%			л/с км <sup>2</sup>	%
4	р. Південний Буг - с. Сабарів	8,52	0,88	12,34	0,85	0,58	11	10,57
7	р. Південний Буг – с.Первомайськ	18,45	0,39	21	0,8	0,28	22	6,86
9	р Бужок - сmt.Меджибік	0,59	0,96	17,9	-	-	-	-
15	р. Кодима - с. Обжила	0,03	0,80	13,8	0,75	0,72	0,04	12,1
25	р. Інгул - г. Кировоград	0,26	0,98	11,72	0,69	0,57	0,17	10,96
26	р. Інгул - с.Інгуло- Каменка	0,37	0,94	17,43	0,79	0,502	0,99	13,67