

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ВОДИ В БАСЕЙНІ Р. ІРПІНЬ	6
1.1. Географічне положення, геологічна будова та рельєф басейну.....	6
1.2. Кліматична характеристика	8
1.3. Ґрунти та рослинний покрив.....	9
1.4. Особливості водного режиму річки Ірпінь.....	10
1.5. Водогосподарське використання басейну	11
Висновки до розділу 1	13
РОЗДІЛ 2. ГІДРОЛОГІЧНА ВИВЧЕНІСТЬ Р. ІРПІНЬ ТА МЕРЕЖА ГІДРОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ	14
Висновки до розділу 2	16
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ СТОКУ ВОДИ РІЧОК.....	18
3.1. Система показників стоку та їх гідрологічне значення	18
3.2. Статистична обробка рядів спостережень.....	18
3.3. Графічний і порівняльний аналіз.....	20
Висновки до розділу 3	21
РОЗДІЛ 4. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ	22
4.1. Характеристика використаних гідрологічних даних	22
4.2. Повнота, однорідність і репрезентативність рядів	22
4.3. Первинні статистичні характеристики.....	23
4.4. Періодизація рядів для порівняльного аналізу	24
Висновки до розділу 4	29
РОЗДІЛ 5. БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ СТОКУ ВОДИ Р. ІРПІНЬ ТА ЙОГО СУЧАСНІ ЗМІНИ	30
5.1. Середній місячний та річний стік води.....	30
5.2. Максимальний стік води	32
5.3. Мінімальний стік води та узагальнення сучасних змін	33
Висновки до розділу 5	37
ВИСНОВКИ.....	39
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	41
ДОДАТКИ.....	44
Додаток А.....	44
Додаток Б	47
Додаток В.....	48
Додаток Г	50

ВСТУП

Актуальність теми. Річка Ірпінь належить до малих і середніх рівнинних річок правобережної частини басейну Дніпра, однак її водний режим має помітне практичне значення для Київського регіону. Басейн річки поєднує поліські та лісостепові риси, включає меліоровані заплавні території, ставки, водосховища, спрямлені ділянки русла та гідротехнічні споруди. Тому стік Ірпеня формується не лише під впливом опадів, температури повітря, снігового живлення, підземного притоку й рельєфу, а й за участі водогосподарського регулювання [1; 5; 14].

Для сучасного етапу особливо важливим є питання, чи змінюється структура стоку річки у часі. Середній річний стік характеризує загальну водність, максимальний стік показує інтенсивність високих вод і водопіль, а мінімальний стік відображає умови межені та стійкість річкової системи у маловодні періоди. Якщо аналізувати лише одну з цих характеристик, висновок буде неповним, адже максимальні, середні та мінімальні витрати можуть реагувати на кліматичні й антропогенні чинники по-різному.

Актуальність теми посилюється тим, що р. Ірпінь є значно трансформованим водним об'єктом. У другій половині XX ст. у її басейні активно розвивалися осушувально-зволожувальні системи, використовувалися ставки та водосховища, а нижня течія перебувала під впливом насосного водорегулювання [1; 14; 15]. Окремою подією новітнього періоду стало затоплення заплави річки у 2022 р., однак у цій роботі основний статистичний ряд завершується 2021 р., тому післявоєнні зміни розглядаються лише як контекст, а не як частина розрахункового аналізу.

Мета роботи полягає у встановленні особливостей багаторічної мінливості середнього, максимального та мінімального стоку води р. Ірпінь за даними гідрологічних спостережень і в оцінюванні сучасних змін структури її водного режиму.

Для досягнення мети необхідно виконати такі завдання: проаналізувати фізико-географічні умови формування стоку в басейні р. Ірпінь; охарактеризувати гідрологічну вивченість річки та мережу спостережень; обґрунтувати методику статистичної, графічної та ймовірнісної обробки гідрологічних рядів; систематизувати вихідні дані щодо середніх місячних, середніх річних, максимальних і мінімальних витрат води; розрахувати середні, медіанні, екстремальні значення, стандартне відхилення, коефіцієнти варіації й асиметрії; визначити модульні коефіцієнти, аномалії від норми та забезпечені витрати; оцінити внутрішньорічний розподіл стоку; порівняти базовий період 1961-1990 рр. із сучаснішим періодом 1991-2021 рр.; узагальнити, які саме елементи водного режиму змінилися найбільше.

Об'єктом дослідження є водний режим річки Ірпінь у створі гідрологічного поста Ірпінь - Гостомель (с. Мостище). Предметом дослідження є багаторічна мінливість середнього, максимального та мінімального стоку води р. Ірпінь, а також співвідношення цих характеристик у різні періоди спостережень.

Інформаційну основу роботи становлять надані ряди гідрологічних спостережень за р. Ірпінь у створі Гостомель (с. Мостище), зокрема середні місячні витрати, середні річні витрати, річні максимуми та річні мінімуми витрати води за період від 1914 до 2021 рр. з наявними пропусками.

У роботі застосовано методи математичної статистики та гідрологічного аналізу: розрахунок середнього арифметичного, медіани, мінімальних і максимальних значень, стандартного відхилення, коефіцієнтів варіації та асиметрії, модульних коефіцієнтів, відхилень від багаторічної норми, емпіричної забезпеченості витрат і лінійного тренду. Для інтерпретації результатів використано порівняльно-географічний, графоаналітичний і гідролого-генетичний підходи. Розрахункова частина зосереджена в четвертому та п'ятому розділах і виконана за фактичними значеннями рядів без довільного заповнення пропусків.

Робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і додатків. Перший розділ містить стислу характеристику природних та антропогенних умов формування стоку. Другий розділ присвячений гідрологічній вивченості. Третій розділ пояснює методичну схему дослідження. У четвертому розділі виконано підготовку та первинний аналіз вихідних даних. У п'ятому розділі подано основний розрахунковий аналіз багаторічної мінливості середнього, максимального та мінімального стоку води р. Ірпінь.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ УМОВИ ТА ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ ВОДИ В БАСЕЙНІ Р. ІРПІНЬ

1.1. Географічне положення, геологічна будова та рельєф басейну

Для гідрологічного аналізу важливо, що басейн Ірпеня не є однорідним за умовами стікання. Верхів'я і частина середньої течії мають більші ухили, краще виражену балково-яружну мережу та швидше реагують на сильні опади. Нижня частина, навпаки, пов'язана з широкою заплавою, осушувальними каналами, пониженими ділянками та штучним регулюванням. Тому одна й та сама сума опадів може давати різний гідрологічний ефект у різних частинах водозбору.

Рельєф безпосередньо визначає час добігання води до русла. На підвищених ділянках поверхневий стік формується швидше, особливо тоді, коли ґрунт перезволожений або промерзлий. На низинних ділянках частина води затримується у заплаві, болотах, канавах і локальних пониженнях. У багаторічному вимірі це створює передумови для згладжування окремих паводків, але водночас підтримує водність у меженні періоди.

Геологічна будова має подвійний вплив. Проникні піщані та супіщані відклади збільшують інфільтрацію, а отже, частково переводять поверхневий стік у підземне живлення. Менш проникні суглинки і глини, навпаки, можуть посилювати швидке стікання води до русла. Через чергування цих відкладів у межах басейну Ірпеня не можна очікувати однакової реакції на опади або танення снігу.

У роботі ці фізико-географічні обставини не розглядаються як самостійний об'єкт дослідження, але вони потрібні для пояснення розрахункових результатів. Якщо у п'ятому розділі виявляється зниження максимального стоку, то його слід співвідносити не лише з часовим трендом, а й з тим, що басейн має значну здатність до водоаккумуляції і за останні десятиріччя зазнав інженерного перетворення.

Басейн річки Ірпінь розташований у північній частині Правобережної України та належить до басейну Дніпра. Річка бере початок поблизу с. Яроповичі Житомирської області, протікає територією Житомирської та Київської областей і завершує свій шлях у зоні Київського водосховища. Загальна довжина річки становить близько 162 км, площа басейну - близько 3340 км², а площа водозбору в створі гідрологічного поста Гостомель (Мостище) - 2840 км² [5].

Загальне положення басейну р. Ірпінь у системі правобережної частини Дніпровського басейну узагальнено на рисунку 1.1.

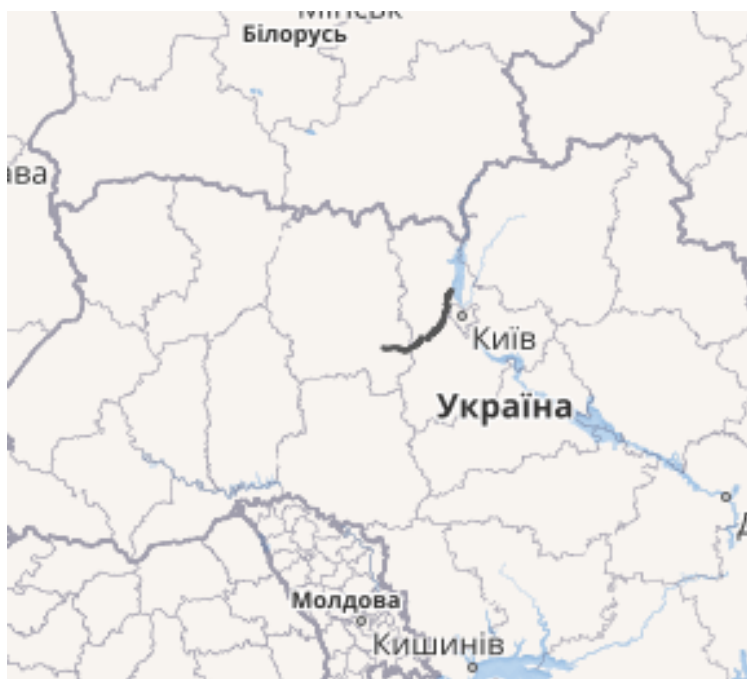


Рисунок 1.1 - Схематичне положення басейну р. Ірпінь у системі Дніпра

Географічне положення басейну визначає перехідний характер природних умов. Верхня та середня частини басейну пов'язані з відрогами Придніпровської височини, тоді як північні й нижні ділянки мають риси поліських рівнин. Така просторово неоднорідна будова важлива для стоку: підвищені й більш розчленовані ділянки швидше відводять поверхневі води, а низинні, заболочені та слабо дреновані частини довше утримують вологу і підтримують підземне живлення.

Геологічна будова басейну також впливає на водний режим. У межах водозбору поширені четвертинні алювіальні, водно-льодовикові та

лесоподібні відклади різної водопроникності. Піски та супіски сприяють інфільтрації, тоді як суглинки й глини посилюють поверхневий стік під час інтенсивних опадів або сніготанення. Саме поєднання проникних і слабопроникних відкладів зумовлює змінність частки поверхневого та підземного живлення.

1.2. Кліматична характеристика

Найбільше значення для максимального стоку має характер холодного періоду. У роки зі стійким сніговим покривом і швидким весняним потеплінням вода надходить до русла концентровано, що сприяє високому водопіллю. У роки з частими відлигами танення відбувається частинами, і потенційний весняний максимум знижується. Саме тому зміни зимового температурного режиму можуть впливати на максимальні витрати сильніше, ніж на середній річний стік.

Для середнього річного стоку важлива не лише весняна фаза, а баланс усього року. Якщо весняний максимум слабшає, але протягом року зберігаються дощові поповнення або підземне живлення, середня річна витрата може зменшуватися не так різко. Цим пояснюється потреба окремо порівнювати середній і максимальний стік, а не робити висновок про водність тільки за одним із них.

Мінімальний стік пов'язаний із тривалістю бездощових періодів, випаровуванням, ґрунтовим зволоженням та підземним живленням. За тривалого дефіциту опадів у теплий сезон мінімальні витрати можуть різко зменшуватися навіть тоді, коли середньорічний показник залишається близьким до норми. Для екологічного стану річки такі короткі періоди низької водності іноді важливіші, ніж середній показник за весь рік.

Отже, кліматичний блок у роботі зведено до тих положень, які безпосередньо пояснюють стік. Детальний опис усіх сезонів сам по собі не є метою дослідження. Натомість основна увага приділяється тому, як сезонність

опадів, снігу, температури та випаровування проявляється у середніх, максимальних і мінімальних витратах.

Клімат басейну р. Ірпінь помірно континентальний. Для нього характерні відносно м'яка зима, тепле літо, нестійкий сніговий покрив і нерівномірний розподіл опадів упродовж року. Середньорічна кількість опадів у межах басейну орієнтовно становить 600-650 мм, при цьому найбільша їх частка припадає на теплий період року [5; 17].

Формування стоку залежить не лише від суми опадів, а й від сезонного співвідношення температури, снігового покриву та випаровування. За умов холодної зими зі стійким снігом навесні може формуватися виразне водопілля. Натомість теплі зими з частими відлигами зменшують запаси води у снігу і можуть розтягувати надходження талої води у часі. Це безпосередньо позначається на максимальному стоку.

Літньо-осінній період залежить від дощових паводків і підземного живлення. Зливові опади можуть короткочасно підвищувати витрати води, але за тривалих посушливих умов річка переходить до меженного режиму. Тому мінімальний стік Ірпеня є чутливим не тільки до кількості опадів, а й до стану ґрунтово-підземного зволоження басейну.

1.3. Ґрунти та рослинний покрив

Ґрунтовий покрив басейну відображає перехід від поліських до лісостепових умов. У північних і заплавних ділянках поширені дерново-підзолисті, лучно-болотні й торфово-болотні ґрунти, а в центральній та південній частинах - сірі лісові ґрунти, опідзолені чорноземи та локально чорноземи типові. Для гідрологічного аналізу важливо, що різні ґрунти мають неоднакову водоутримувальну здатність і по-різному реагують на опади.

Рослинний покрив виконує регулюючу роль: лісові масиви зменшують швидкість поверхневого стоку, посилюють інфільтрацію і частково стабілізують меженні витрати. Натомість розорані землі та урбанізовані території прискорюють стікання води, зменшують природне затримання

вологи та можуть посилювати різкість короточасних паводків. Узагальнену характеристику ґрунтового-рослинних умов подано в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1

Узагальнена характеристика ґрунтового та рослинного покриву басейну річки Ірпінь

Тип ґрунтів	Переважає поширення	Гідрологічне значення
Дерново-підзолисті	Північна частина басейну	Добре пропускають воду на піщаних відкладах, але мають невелику вологостійкість
Торфово-болотні та лучно-болотні	Заплави, пониження, заболочені ділянки	Накопичують вологу, підтримують підземне й ґрундове живлення у межах
Сірі лісові	Середня частина басейну	Сприяють помірному поверхневому та підземному живленню
Чорноземи опідзолені	Центральна і південна частини	Пов'язані з розораними землями, де стік залежить від агротехнічного стану поверхні
Піщані та супіщані	Локальні підвищення і тераси	Підсилюють інфільтрацію, але швидко втрачають вологу у посушливий період

1.4. Особливості водного режиму річки Ірпінь

Водний режим Ірпеня має помітну сезонну асиметрію. У природних умовах основний максимум повинен бути приурочений до весни, коли снігове живлення поєднується з початком активного поверхневого стікання. Однак у зарегульованому басейні частина води може затримуватися або перерозподілятися, тому фактична амплітуда водопілля залежить не лише від метеорологічних умов, а й від стану руслової та меліоративної мережі.

Меженний режим також не можна вважати повністю природним. Осушувальні канали змінюють рівень ґрунтових вод, ставки й водосховища затримують частину стоку, а локальні скиди можуть підтримувати витрати у руслі. Через це збільшення або стабільність мінімального стоку не завжди означає покращення природної водності. У п'ятому розділі це враховано під

час пояснення того, чому мінімальний стік не зменшується так само, як максимальний.

З погляду структури річного режиму найважливішим є співвідношення трьох елементів: весняних високих вод, літньо-осінньої межені та зимових умов. Якщо весняний максимум слабшає, річка може втрачати природну здатність до промивання русла і водообміну із заплавою. Якщо при цьому мінімальний стік залишається відносно стабільним, режим стає більш згладженим, але не обов'язково більш природним.

Водний режим р. Ірпінь має змішаний тип живлення з важливою роллю снігової, дощової та підземної складових. Весняне водопілля традиційно є головною фазою високої водності. Воно формується внаслідок танення снігу, стану промерзання ґрунту та синхронності надходження талої води з різних частин басейну.

У літньо-осінній період витрати води зазвичай зменшуються. Короткочасні паводки можливі після злив, однак вони не завжди істотно впливають на річний максимум, якщо весняне водопілля було достатньо високим. Узимку режим залежить від температури повітря, льодових явищ та відлиг. За теплих зим частина води може надходити до русла раніше, що зменшує різкість весняного максимуму.

Для дослідження теми важливо розглядати річний режим не тільки описово, а й через числові характеристики: середні місячні витрати, середні річні витрати, максимальні та мінімальні витрати за рік. Саме ці показники дають змогу перейти від загальної характеристики басейну до кількісного аналізу багаторічної мінливості.

1.5. Водогосподарське використання басейну

Водогосподарські об'єкти в басейні Ірпеня виконують різні функції: осушення перезволожених земель, накопичення води, регулювання рівнів, захист окремих територій від надмірного затоплення та забезпечення господарських потреб. Сукупний ефект цих втручань полягає у зміні

швидкості проходження води через басейн. Для статистичного ряду це означає, що фактичні витрати води відображають уже змінений режим.

Особливо відчутним є вплив на максимальний стік. Спрямлення русла і каналізація окремих ділянок можуть прискорювати відведення води, але ставки, водосховища та заплавні ємності можуть зменшувати пікові значення. Тому зниження максимальних витрат у сучасний період слід тлумачити обережно: воно може мати як кліматичні, так і водогосподарські причини.

У меженний період роль водогосподарських систем інша. Дренажна мережа може підтримувати відведення ґрунтової води до русла, тоді як водозабори й випаровування з водойм можуть зменшувати доступний стік. Через різноспрямованість цих процесів мінімальні витрати часто мають складнішу інтерпретацію, ніж здається за абсолютними значеннями.

Басейн р. Ірпінь належить до територій із тривалим водогосподарським освоєнням. На водний режим впливають осушувально-зволожувальні системи, ставки, водосховища, спрямлення русла, насосні станції та забудова заплавної ділянки [1; 14]. Через це сучасний стік річки не можна тлумачити як повністю природний.

Особливе значення має нижня течія, де водний режим пов'язаний із гідротехнічним регулюванням у зоні Київського водосховища. Функціонування насосних станцій і штучних споруд змінює умови водообміну, а меліоративні канали впливають на швидкість відведення води з заплави. Така ситуація може зменшувати природну амплітуду весняних водопіль і змінювати співвідношення високого та меженного стоку.

Отже, фізико-географічні та водогосподарські умови басейну створюють підстави очікувати неоднакову зміну різних характеристик стоку. Саме тому в подальших розділах середній, максимальний і мінімальний стік розглядаються окремо, а потім зіставляються між собою.

Узагальнений зв'язок природних і водогосподарських чинників, які враховуються під час інтерпретації результатів, подано на рисунку 1.2.



Схема узагальнює природні та водогосподарські чинники, що враховані під час аналізу стоку

Рисунок 1.2 - Основні чинники формування стоку води р. Ірпін

Висновки до розділу 1

Басейн р. Ірпін має перехідне фізико-географічне положення між поліськими та лісостеповими умовами, що зумовлює неоднорідність процесів стокоутворення.

Основними природними чинниками формування стоку є кліматичний режим, рельєф, проникність відкладів, ґрунтово-рослинний покрив і співвідношення снігового, дощового та підземного живлення.

Водогосподарське освоєння басейну істотно змінює природний режим річки. Тому аналіз багаторічної мінливості стоку має враховувати, що отримані ряди відображають сумарну дію природних і антропогенних факторів.

РОЗДІЛ 2. ГІДРОЛОГІЧНА ВИВЧЕНІСТЬ Р. ІРПІНЬ ТА МЕРЕЖА ГІДРОМЕТРИЧНИХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Під гідрологічною вивченістю у цій роботі розуміється не загальна кількість згадок про річку в літературі, а наявність таких даних, які можна використати для кількісного аналізу. Для теми багаторічної мінливості вирішальними є довгі ряди спостережень. Короткі експедиційні описи або разові вимірювання можуть пояснювати окремі процеси, але вони не замінюють багаторічного ряду витрат води.

Спостереження у створі Гостомель (Мостище) мають особливу цінність через те, що цей пост розташований нижче значної частини водозбору. Він дає інтегральну характеристику стоку, сформованого у басейні вище створу. Така інформація придатна для загальної оцінки річки, хоча для локального аналізу окремих приток були б потрібні додаткові пости.

Важливо відокремлювати два рівні достовірності. Перший рівень - це достовірність самих виміряних значень. Другий рівень - репрезентативність ряду для опису довгострокових змін. Навіть точні виміри не завжди дають однаково надійну картину для всіх періодів, якщо в ряді є пропуски або якщо умови формування стоку за час спостережень істотно змінилися.

У цій роботі ряди не вирівнювалися за допомогою довільних інтерполяцій. Такий підхід обрано свідомо. Для студентської кваліфікаційної роботи важливіше прозоро показати фактичний масив і зробити обережні висновки, ніж створити штучно безперервний ряд, достовірність якого неможливо перевірити без додаткових гідрологічних матеріалів.

Разом з тим, наявна довжина рядів є достатньою для оцінки загальної багаторічної мінливості. Ряд включає довоєнні, післявоєнні, радянські та сучасні десятиріччя. Завдяки цьому можна побачити не лише окремі роки, а й зміну рівнів стоку в укрупнених інтервалах, зокрема порівняти 1961-1990 та 1991-2021 рр.

Гідрологічна вивченість р. Ірпінь також пов'язана з екологічними й водогосподарськими дослідженнями. Публікації останніх років акцентують увагу на трансформації гирлової ділянки, стані заплавних угідь, змінах водних екосистем і проблемах відновлення басейну [2; 6; 21]. Ці матеріали не замінюють ряди витрат, але допомагають інтерпретувати отримані статистичні результати.

Гідрологічна вивченість р. Ірпінь пов'язана з практичними потребами водного господарства, меліорації, захисту територій від надмірного зволоження та забезпечення водними ресурсами населених пунктів. Для цієї роботи ключове значення мають не загальні описи басейну, а саме стаціонарні гідрометричні дані, які дають змогу виконати кількісну оцінку багаторічних змін.

Основним пунктом спостережень є гідрологічний пост Ірпінь - Гостомель (с. Мостище), код 80099. У створі поста площа водозбору становить 2840 км². Цей створ замикає значну частину басейну, тому дані поста придатні для аналізу загальної багаторічної мінливості стоку річки. Основні відомості про пост подано в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Відомості про гідрологічний пост Ірпінь - Гостомель (с. Мостище)

Річка - гідрологічний пост	Область	Код поста	Широта	Довгота	Висота, м	Площа водозбору, км²
р. Ірпінь - Гостомель (с. Мостище)	Київська	80099	50°33'	30°17'	109	2840

Спостереження за витратами води на р. Ірпінь мають тривалу історію, але ряд не є повністю безперервним. У наданому масиві присутні значення за окремі роки раннього періоду, далі спостерігається значна кількість даних від другої половини 1950-х років до початку XXI ст., а також доповнення за 2017-2021 рр. Для статистичного аналізу це означає, що повнота рядів для середніх, максимальних і мінімальних витрат різна.

Наявність пропусків не робить ряд непридатним, але потребує обережної інтерпретації. У роботі не виконувалося довільне відновлення

пропущених років. Усі розрахунки проведено за фактично наявними значеннями. Такий підхід є прозорим: він не створює штучної точності, а прямо показує, яка кількість спостережень використана для кожної характеристики.

Для середнього річного стоку наявно 88 річних значень, для максимального стоку - 94 значення, для мінімального стоку - 90 значень. Саме ці обсяги вибірок покладено в основу подальших розрахунків. Найдовший і найнадійніший для порівняння відрізок припадає на другу половину XX - початок XXI ст., але ранні екстремальні роки також збережено в аналізі, оскільки вони важливі для оцінки діапазону можливих коливань.

Логіку використання гідрометричних спостережень у роботі показано на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 - Використання гідрометричних спостережень у дослідженні

Висновки до розділу 2

Річка Ірпінь має достатню гідрологічну вивченість для аналізу багаторічної мінливості стоку, оскільки в роботі використано тривалі ряди спостережень у створі Гостомель (Мостище).

Вихідні дані мають різну повноту для середнього, максимального й мінімального стоку. Тому у подальших розрахунках для кожного показника окремо зазначається кількість фактичних значень.

Відмова від механічного заповнення пропусків дає змогу уникнути необґрунтованого згладжування ряду та зберегти фактичну інформацію про екстремальні роки.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ДОСЛІДЖЕННЯ БАГАТОРІЧНОЇ МІНЛИВОСТІ СТОКУ ВОДИ РІЧОК

3.1. Система показників стоку та їх гідрологічне значення

У роботі розглянуто три групи характеристик стоку р. Ірпінь: середні місячні витрати, середні річні витрати, річні максимальні витрати та річні мінімальні витрати. Такий поділ є принциповим, оскільки середній річний стік відображає інтегральну водність року, максимальний стік характеризує високі води й паводкові прояви, а мінімальний стік показує умови межені та стійкість річкового режиму в маловодні періоди.

Середній місячний стік використано для оцінки внутрішньорічного розподілу. За ним визначено, які місяці формують основну частку річної водності, де розташований сезонний максимум і наскільки виражена літньо-осіння межень. Для р. Ірпінь це важливо через змішаний тип живлення, у якому поєднуються снігова, дощова та підземна складові.

Середній річний стік використано для порівняння років між собою. Він згладжує короткі паводкові події, але добре відображає загальний рівень водності. Максимальна річна витрата розглядається окремо, оскільки один короткий пік може мати істотне водогосподарське значення. Мінімальна річна витрата також не є другорядним показником: вона характеризує найнапруженіші умови існування водної екосистеми та чутливість річки до водозаборів, зарегулювання і тривалих бездощових періодів.

Щоб уникнути підміни гідрологічного аналізу простим проведенням трендових ліній, у роботі використано декілька взаємодоповнювальних способів оцінювання мінливості: описову статистику, коефіцієнти варіації та асиметрії, модульні коефіцієнти, емпіричну забезпеченість, порівняння періодів і графічну перевірку фактичних часових рядів.

3.2. Статистична обробка рядів спостережень

Перед розрахунками для кожного ряду було визначено кількість фактичних значень. Пропущені роки не заповнювалися нулями і не відновлювалися довільною інтерполяцією, оскільки це спотворило б і середні

значення, і екстремальні характеристики. Розрахунок кожного показника виконано лише за тими роками, для яких відповідне значення фактично наявне.

Перший блок статистичної обробки охоплює середнє арифметичне, медіану, мінімальне та максимальне значення. Середнє арифметичне використано як норму ряду, а медіану - як стійкішу характеристику типового рівня. Для максимального стоку різниця між середнім і медіаною особливо важлива, тому що окремі історичні максимуми можуть різко підвищувати середній рівень.

$$Q_{\text{сер}} = \Sigma Q_i / n, \quad (3.1)$$

де $Q_{\text{сер}}$ - середнє значення витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$; Q_i - окреме фактичне значення; n - кількість фактичних значень у ряді.

Другий блок включає показники розсіювання. Стандартне відхилення показує абсолютний розмах коливань навколо середнього рівня, а коефіцієнт варіації дає змогу зіставляти ряди різного масштабу. Саме C_v показує, наскільки нестійким є відповідний елемент водного режиму відносно власної норми.

$$\sigma = \sqrt{[\Sigma(Q_i - Q_{\text{сер}})^2 / (n - 1)]}, \quad (3.2)$$

$$C_v = \sigma / Q_{\text{сер}}. \quad (3.3)$$

Третій блок пов'язаний з формою розподілу та відносними відхиленнями. Для цього використано коефіцієнт асиметрії C_s , модульні коефіцієнти K_i та аномалії від норми. Модульний коефіцієнт показує, у скільки разів конкретний рік був більшим або меншим за норму відповідного ряду.

$$K_i = Q_i / Q_{\text{сер}}. \quad (3.4)$$

$$\Delta Q_i = Q_i - Q_{\text{сер}}; \quad \Delta Q_i\% = (Q_i - Q_{\text{сер}}) / Q_{\text{сер}} \cdot 100. \quad (3.5)$$

Четвертий блок становить емпірична забезпеченість. Для кожного ряду значення впорядковано за спаданням, після чого кожному члену ряду надано порядковий номер m . Забезпеченість розраховано за формулою Вейбулла, що

є базовим прийомом для побудови емпіричних кривих забезпеченості у гідрології.

$$P = m / (n + 1) \cdot 100 \% . \quad (3.6)$$

Забезпечені витрати Q10%, Q25%, Q50%, Q75% і Q90% використано не для прогнозу, а для додаткової характеристики розподілу фактичних значень. Вони показують, які рівні стоку відповідають багатоводним, типовим і маловодним умовам.

3.3. Графічний і порівняльний аналіз

Графічний аналіз виконано за фактичними значеннями, наведеними у додатках. На графіках не використовувалися штучно згенеровані ряди. Якщо для певного року значення відсутнє, такий рік не включався до лінії відповідного показника. Тому форма графіків відображає саме наявний масив спостережень, а не умовне згладжене наближення.

Лінійний тренд використано лише як допоміжну описову характеристику спрямованості змін. Він не замінює аналізу фактичних років, коефіцієнтів варіації, забезпечених витрат і порівняння періодів. Для оцінки переконливості тренду додатково враховано р-значення: якщо $p < 0,05$, тенденцію можна розглядати як статистично значущу на 5-відсотковому рівні; якщо $p > 0,05$, тренд має лише описовий характер.

Порівняння виконано у двох масштабах. Спочатку ряди згруповано за укрупненими інтервалами 1912-1940, 1941-1970, 1971-2000 та 2001-2021 рр. Потім окремо зіставлено базовий період 1961-1990 рр. і сучасніший період 1991-2021 рр. Це дає змогу відокремити загальну багаторічну мінливість від змін останніх десятиріч.

Отже, методика розрахункової частини включає не один трендовий графік, а систему взаємопов'язаних процедур: перевірку повноти даних, розрахунок основних статистичних характеристик, оцінку мінливості через S_v і S_s , модульний аналіз, емпіричну забезпеченість, порівняння періодів та інтерпретацію фактичних часових рядів.

Висновки до розділу 3

Методика роботи побудована на комплексній оцінці трьох характеристик водного режиму: середнього, максимального та мінімального стоку.

Крім лінійного тренду, у роботі використано базові статистичні та гідрологічні прийоми: середні й медіанні значення, стандартне відхилення, коефіцієнти варіації та асиметрії, модульні коефіцієнти, відхилення від норми й емпіричну забезпеченість.

Усі графіки та таблиці розрахункової частини побудовано за фактичними даними, без створення штучних рядів і без механічного заповнення пропусків.

РОЗДІЛ 4. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ

4.1. Характеристика використаних гідрологічних даних

Вихідний масив дослідження включає середні місячні, середні річні, максимальні та мінімальні витрати води р. Ірпінь у створі гідрологічного поста Гостомель (с. Мостище). Основний часовий діапазон охоплює 1914-2021 рр., однак для різних показників кількість фактичних значень є неоднаковою через наявні пропуски.

Усі витрати води подано в єдиній одиниці - м³/с. Порожні клітинки в початковому масиві трактувалися як відсутність інформації, а не як нульова витрата. Це суттєво, оскільки заміна пропусків нулями або довільними середніми значеннями призвела б до викривлення середніх характеристик, коефіцієнтів варіації та трендових оцінок.

Для середнього річного стоку в роботі використано 88 фактичних значень, для максимального стоку - 94 значення, для мінімального стоку - 90 значень. Повний фрагмент річних значень наведено у додатку А, середні місячні характеристики - у додатку Б, а модульні коефіцієнти - у додатку В.

4.2. Повнота, однорідність і репрезентативність рядів

Повнота рядів є достатньою для оцінки багаторічної мінливості, але не однаковою для всіх показників. У деяких роках наявний лише максимум або мінімум без середньорічного значення. Такі роки не вилучалися повністю, а використовувалися тільки для того показника, щодо якого є фактичне спостереження.

Однорідність ряду р. Ірпінь не можна трактувати як абсолютну, оскільки басейн протягом ХХ-ХХІ ст. зазнавав меліоративного, руслового та водогосподарського перетворення. Тому отримані ряди відображають фактичний, тобто природно-антропогенно змінений режим. Саме ця обставина врахована під час інтерпретації: зменшення або збільшення показників не зводиться тільки до кліматичної причини.

Репрезентативність забезпечується довжиною рядів і наявністю різних фаз водності: багатоводних років першої половини ХХ ст., періодів

підвищеної водності в середині століття, а також маловодних років початку XXI ст. Найнадійнішим для порівняння сучасних змін є відрізок 1961-2021 рр., оскільки в ньому кількість спостережень є найбільш сталою.

4.3. Первинні статистичні характеристики

Первинні статистичні характеристики розраховано окремо для кожного ряду. Результати показують, що максимальний стік має найбільшу мінливість, тоді як середній річний і мінімальний стік змінюються у значно вужчому діапазоні.

Таблиця 4.1

Основні статистичні характеристики рядів стоку р. Ірпінь

Показник	n	Середнє	Медіана	Мінімум	Максимум	σ	Cv	Cs
Середній річний стік	88	7.25	6.92	2.50 (2020)	19.00 (1948)	3.38	0.47	1.40
Максимальний стік за рік	94	77.79	36.95	6.56 (2020)	573.00 (1932)	103.76	1.33	2.78
Мінімальний стік за рік	90	1.73	1.59	0.20 (1964)	5.32 (1983)	0.99	0.57	0.82

З таблиці 4.1 видно, що для максимального стоку середнє значення 77,79 м³/с набагато перевищує медіану 36,95 м³/с. Це пояснюється окремими історичними піками, зокрема максимумом 573,00 м³/с у 1932 р. Саме тому оцінка максимального стоку лише за середнім значенням була б недостатньою. Коефіцієнт варіації Cv = 1,33 підтверджує дуже високу мінливість цього ряду. Для середнього річного стоку Cv = 0,47, а для мінімального - 0,57, тобто їхня відносна мінливість помітна, але не така різка, як у максимумів.

Таблиця 4.2

Трендові характеристики рядів стоку р. Ірпінь

Показник	Тренд за 10 років, м ³ /с	p-значення	Інтерпретація
Середній річний стік	-0.223	0.060	описовий, статистично незначущий
Максимальний стік за рік	-14.524	<0.001	статистично значущий
Мінімальний стік за рік	-0.008	0.814	описовий, статистично незначущий

Трендові оцінки не розглядаються як єдиний доказ зміни режиму. Вони лише показують загальну спрямованість лінійної залежності. Найпереконливішим є спадний тренд максимального стоку: $-14,524 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 років при $p < 0,001$. Для середнього річного стоку спадний напрям близький до порогу значущості, але не досягає 5-відсоткового рівня. Для мінімального стоку лінійний тренд практично відсутній.

Таблиця 4.3

Забезпечені витрати води за фактичними рядами

Показник	Q10%, $\text{м}^3/\text{с}$	Q25%, $\text{м}^3/\text{с}$	Q50%, $\text{м}^3/\text{с}$	Q75%, $\text{м}^3/\text{с}$	Q90%, $\text{м}^3/\text{с}$
Середній річний стік	11.33	8.46	6.92	4.86	3.85
Максимальний стік за рік	183.30	88.25	36.95	20.80	11.26
Мінімальний стік за рік	3.13	2.39	1.59	0.99	0.59

Таблиця 4.3 доповнює трендовий аналіз. Значення Q10% характеризують висоководну частину розподілу, Q50% відповідає медіанному рівню, а Q90% - маловодним умовам.

Для максимального стоку різниця між Q10% і Q90% особливо велика, що ще раз підтверджує різку нерівномірність високих вод у багаторічному розрізі.

4.4. Періодизація рядів для порівняльного аналізу

Для порівняння багаторічних змін ряди згруповано за укрупненими періодами. Окремо виділено 1961-1990 рр. як базовий інтервал і 1991-2021 рр. як сучасніший інтервал. Розрахунки наведено у таблиці 4.4.

Таблиця 4.4

Середні характеристики стоку за окремими періодами

Період	К-сть років для $Q_{\text{сер}}$	$Q_{\text{сер}}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{max}}, \text{м}^3/\text{с}$	$Q_{\text{min}}, \text{м}^3/\text{с}$
1912-1940	20	7.52	127.99	2.06
1941-1970	18	8.29	118.93	1.03
1971-2000	30	7.43	48.90	2.03
2001-2021	20	5.76	21.09	1.61
1961-1990	30	7.57	61.46	1.57
1991-2021	30	6.10	22.99	1.82

Найбільша відмінність між періодами простежується для максимального стоку. У 1912-1940 рр. і 1941-1970 рр. середні значення річних максимумів перевищували $100 \text{ м}^3/\text{с}$, тоді як у 2001-2021 рр. вони знизилися до $21,09 \text{ м}^3/\text{с}$.

Середній річний стік зменшується менш різко, а мінімальний стік не демонструє односпрямованого зниження на всіх інтервалах.

4.5. Контрольний протокол виконання розрахунків

Для усунення головного недоліку попередніх варіантів у роботі окремо подано контрольний протокол розрахунків. Його призначення полягає в тому, щоб показати не лише кінцеві графіки, а й саму послідовність отримання числових результатів. Усі розрахунки виконувалися за фактичними значеннями, наведеними в додатках; роки без даних не замінювалися нулями і не включалися до статистики відповідного показника.

Першим етапом було визначення інформаційної повноти кожного ряду. Для цього календарний інтервал 1914-2021 рр. порівнювався з кількістю фактичних значень середнього, максимального і мінімального стоку. Отримані результати подано в таблиці 4.5. Саме ці значення n використані в усіх подальших формулах, тому вони збігаються з додатковими таблицями у додатках.

Таблиця 4.5

Контроль повноти вихідних рядів стоку р. Ірпінь

Показник	Період	Календарних років	Фактичних значень	Пропусків	Повнота, %	Основні пропущені роки
Середній річний стік	1914-2021	108	88	20	81.5	1917, 1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1925, 1941, 1943, 1944, 1949, 1950...
Максимальний стік за рік	1914-2021	108	94	14	87.0	1917, 1920, 1921, 1922, 1923, 1925, 1949, 1950, 1951, 1952, 1953, 1954...
Мінімальний стік за рік	1914-2021	108	90	18	83.3	1919, 1920, 1921, 1922, 1923, 1925, 1941, 1943, 1949, 1950, 1951, 1952...

Розрахунок середнього арифметичного виконано як відношення суми фактичних значень до їх кількості. Для середнього річного стоку отримано: $\Sigma Q = 637,75 \text{ м}^3/\text{с}$; $n = 88$; $Q_{\text{сер}} = 637,75 / 88 = 7,25 \text{ м}^3/\text{с}$. Для максимального

стоку: $\Sigma Q_{\max} = 7311,92 \text{ м}^3/\text{с}$; $n = 94$; $Q_{\max, \text{сер}} = 77,79 \text{ м}^3/\text{с}$. Для мінімального стоку: $\Sigma Q_{\min} = 156,04 \text{ м}^3/\text{с}$; $n = 90$; $Q_{\min, \text{сер}} = 1,73 \text{ м}^3/\text{с}$.

Стандартне відхилення обчислено через суму квадратів відхилень від середнього. Наприклад, для середнього річного стоку сума квадратів відхилень становить 994,63, тому $\sigma = \sqrt{(994,63 / 87)} = 3,38 \text{ м}^3/\text{с}$. Далі коефіцієнт варіації становить $C_v = 3,38 / 7,25 = 0,47$. Аналогічні дії виконано для річних максимумів і мінімумів.

Таблиця 4.6

Контрольні підстановки для основних статистичних характеристик

Показник	n	ΣQ	$Q_{\text{сер}}$	$\Sigma(Q - Q_{\text{сер}})^2$	σ	C_v	C_s
Середній річний стік	88	637.75	7.25	994.63	3.38	0.47	1.40
Максимальний стік за рік	94	7311.92	77.79	1001198.37	103.76	1.33	2.78
Мінімальний стік за рік	90	156.04	1.73	86.92	0.99	0.57	0.82

Отримані величини показують, що найбільш проблемним для інтерпретації є ряд максимального стоку. Його коефіцієнт варіації перевищує одиницю, а коефіцієнт асиметрії дорівнює 2,78. Це означає, що ряд має правосторонню асиметрію, зумовлену рідкісними, але дуже великими значеннями високого стоку. Тому для максимального стоку недостатньо побудувати один тренд: обов'язково потрібно враховувати медіану, забезпечені витрати та ранжований ряд.

4.6. Модульні коефіцієнти та аномалії від норми

Модульний коефіцієнт K_i використано для того, щоб перейти від абсолютних витрат води до відносної оцінки водності конкретного року. Якщо $K_i > 1$, то рік перевищує норму відповідного показника; якщо $K_i < 1$, то рік нижчий за норму. У роботі для орієнтовної інтерпретації використано три групи: $K < 0,8$ - знижений рівень, $0,8 \leq K \leq 1,2$ - близький до норми, $K > 1,2$ - підвищений рівень.

Для прикладу, середній річний стік 1948 р. становить $19,00 \text{ м}^3/\text{с}$. За норми $7,25 \text{ м}^3/\text{с}$ модульний коефіцієнт дорівнює $K = 19,00 / 7,25 = 2,62$, тобто

цей рік більш ніж удвічі перевищує середній багаторічний рівень. Для 2020 р. середній річний стік становить $2,50 \text{ м}^3/\text{с}$, тому $K = 2,50 / 7,25 = 0,35$. Це один із наймаловодніших років у ряді середнього стоку.

Групування років за модульними коефіцієнтами

Показник	n	$K < 0,8$	$0,8 \leq K \leq 1,2$	$K > 1,2$	Частка $K < 0,8$, %	Частка норми, %	Частка $K > 1,2$, %
Середній річний стік	88	31	37	20	35.2	42.0	22.7
Максимальний стік за рік	94	60	12	22	63.8	12.8	23.4
Мінімальний стік за рік	90	41	19	30	45.6	21.1	33.3

З таблиці 4.7 видно, що для максимального стоку більшість років належить до групи $K < 0,8$. Це пояснюється дуже високою нормою, яку підвищують екстремальні роки 1932, 1933, 1942 і 1947. Для середнього річного стоку розподіл більш збалансований, а для мінімального стоку підвищені та знижені роки чергуються, що підтверджує відсутність простого односпрямованого тренду.

4.7. Емпірична забезпеченість фактичних значень

Емпірична забезпеченість розраховувалася за формулою Вейбулла $P = m/(n + 1) \cdot 100 \%$, де m - порядковий номер значення у ранжованому за спаданням ряду. Такий підхід дозволяє показати, які витрати відповідають багатоводній, типовій та маловодній частинам розподілу без припущення про теоретичний закон розподілу.

Таблиця 4.8

Забезпечені витрати та їх гідрологічне трактування

Показник	Q10%, м³/с	Q25%, м³/с	Q50%, м³/с	Q75%, м³/с	Q90%, м³/с
Середній річний стік	11,33	8,46	6,92	4,86	3,85
Максимальний стік	183,30	88,25	36,95	20,80	11,26
Мінімальний стік	3,13	2,39	1,59	0,99	0,59

Для максимального стоку $Q10\% = 183,30 \text{ м}^3/\text{с}$, а $Q90\% = 11,26 \text{ м}^3/\text{с}$. Така різниця майже у 16 разів показує, що високий стік р. Ірпінь формується не як рівномірний фон, а як сукупність окремих різких водопіль і паводкових подій. Саме тому в розрахунковій частині далі окремо аналізуються історичні піки та сучасне зменшення максимумів.

Висновки до розділу 4

Вихідні дані мають різну повноту для середнього, максимального та мінімального стоку, тому кожний ряд аналізувався за власною кількістю фактичних значень.

Максимальний стік є наймінливішим показником: він має найбільші σ , C_v і C_s , а також різку різницю між середнім і медіанним рівнем.

Лінійний тренд статистично переконливо підтверджений лише для максимального стоку. Для середнього річного стоку він має описовий характер, а для мінімального стоку практично не проявляється.

Періодизація показала, що найбільші зміни сучасного періоду пов'язані не з мінімальними витратами, а зі значним ослабленням високого стоку.

РОЗДІЛ 5. БАГАТОРІЧНА МІНЛИВІСТЬ СТОКУ ВОДИ Р. ІРПІНЬ ТА ЙОГО СУЧАСНІ ЗМІНИ

5.1. Середній місячний та річний стік води

Внутрішньорічний розподіл середніх місячних витрат показує чітку сезонну нерівномірність водного режиму р. Ірпінь. Найбільші середні місячні витрати припадають на березень і квітень. У березні середня витрата становить 21,49 м³/с, або 23,2 % від річної суми середніх місячних значень, у квітні - 15,10 м³/с, або 16,3 %. Разом ці два місяці формують майже 40 % річної водності за багаторічним узагальненням.

Таблиця 5.1

Внутрішньорічний розподіл середніх місячних витрат води р. Ірпінь

Місяць	Q _{сер} , м ³ /с	К-сть значень	Частка, %
Січ	5.90	97	6.4
Лют	7.04	97	7.6
Бер	21.49	98	23.2
Квіт	15.10	97	16.3
Трав	7.08	95	7.6
Черв	5.01	93	5.4
Лип	5.45	92	5.9
Серп	4.17	92	4.5
Вер	4.54	93	4.9
Жовт	5.34	96	5.8
Лис	6.13	99	6.6
Груд	5.54	99	6.0

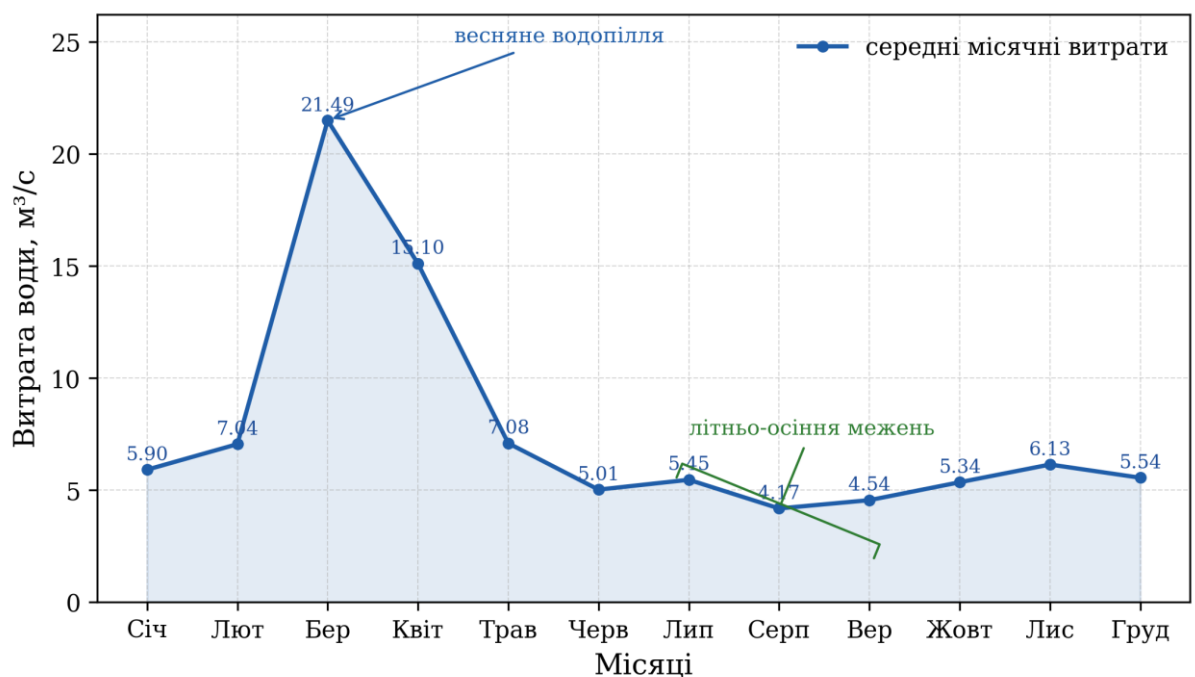


Рисунок 5.1 - Внутрішньорічний розподіл середніх місячних витрат води р. Ірпінь

Після весняного максимуму витрати швидко зменшуються. У серпні та вересні вони становлять відповідно 4,17 і 4,54 м³/с, що відображає літньо-осінню межень. Наприкінці року витрати дещо зростають за рахунок збільшення опадів, зменшення випаровування та посилення підземного живлення.

Середній річний стік за фактичним рядом має норму 7,25 м³/с і медіану 6,92 м³/с. Максимальне середньорічне значення становить 19,00 м³/с у 1948 р., мінімальне - 2,50 м³/с у 2020 р. Коефіцієнт варіації $C_v = 0,47$ свідчить про помітну міжрічну мінливість, але вона суттєво нижча, ніж для максимального стоку.

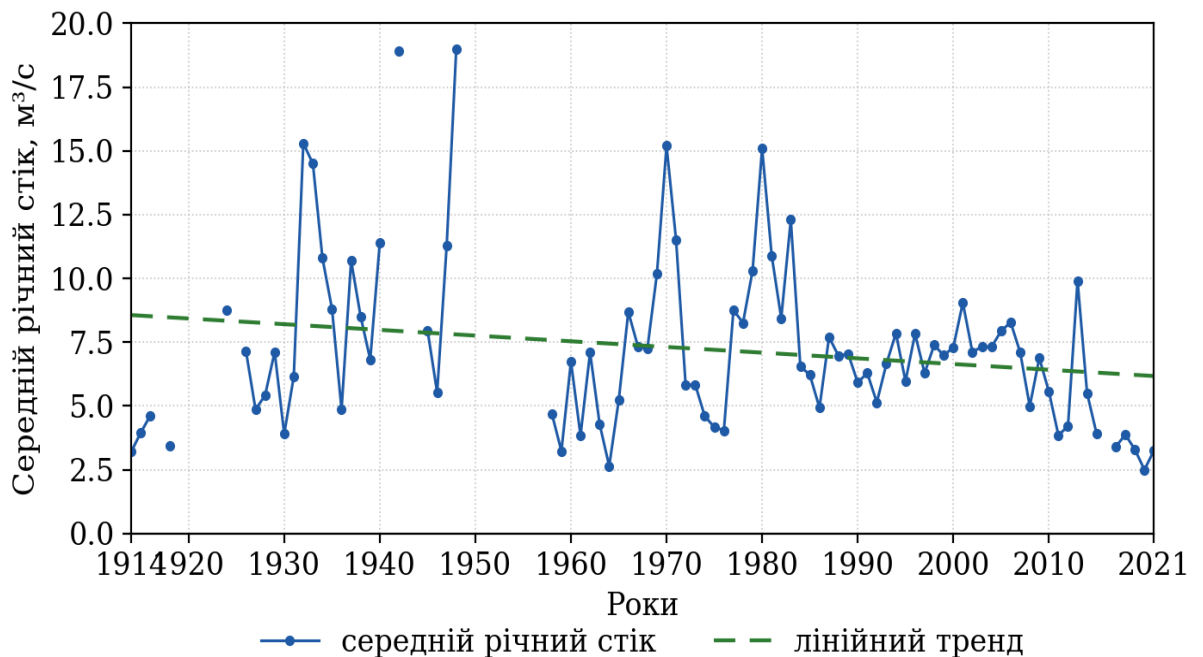


Рисунок 5.2 - Багаторічна мінливість середнього річного стоку води р. Ірпінь

На рисунку 5.2 видно, що ряд не є плавним: поряд із багатоводними роками є тривалі відрізки зі зниженою водністю. Лінійний тренд для середнього річного стоку становить -0,223 м³/с за 10 років, однак $p = 0,060$, тобто на 5-відсотковому рівні статистичної значущості він не є достатньо переконливим. Тому правильніше говорити не про доведений рівномірний спад, а про описову тенденцію до зменшення загальної водності, підтверджену також порівнянням періодів.

У базовому періоді 1961-1990 рр. середній річний стік дорівнював 7.57 м³/с, а у періоді 1991-2021 рр. - 6.10 м³/с. Відносне зменшення становить 19.5 %. Це зниження є істотним для водогосподарської оцінки, хоча за всім рядом воно проявляється слабше, ніж зміна максимального стоку.

5.2. Максимальний стік води

Максимальний стік є найконтрастнішою характеристикою водного режиму р. Ірпінь. Його ряд має середнє значення 77,79 м³/с, але медіана становить лише 36,95 м³/с. Така різниця означає, що ряд асиметричний: більшість років мають помірні максимуми, а середній рівень підвищують окремі дуже великі водопілля та паводки.

Найбільше значення за фактичними даними становить 573,00 м³/с у 1932 р. Саме такі екстремальні роки не можна згладжувати або замінювати умовними значеннями, оскільки вони містять основну інформацію про амплітуду можливих високих вод. Мінімальне річне максимальне значення становить 6,56 м³/с у 2020 р., що показує різку контрастність ряду.

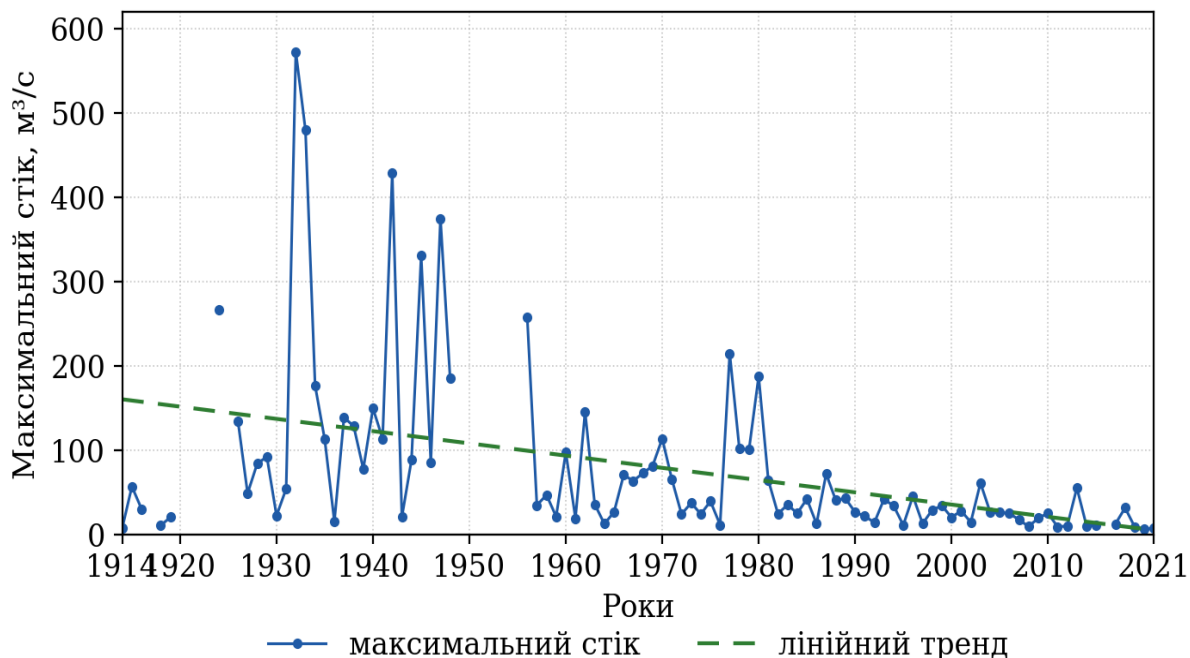


Рисунок 5.3 - Багаторічна мінливість максимального стоку води р. Ірпінь

Рисунок 5.3 побудований за фактичними значеннями річних максимумів. На ньому добре видно високі піки першої половини ХХ ст. та значно нижчий рівень максимумів у сучасний період. Лінійний тренд становить -14,524 м³/с за 10 років і є статистично значущим при $p < 0,001$. Це найчіткіший результат у всій роботі.

Порівняння базового та сучаснішого періодів підтверджує цей висновок. У 1961-1990 рр. середнє значення річного максимуму дорівнювало $61.46 \text{ м}^3/\text{с}$, а у 1991-2021 рр. - лише $22.99 \text{ м}^3/\text{с}$. Відносне зменшення становить 62.6 %. Це означає, що найбільша сучасна зміна водного режиму р. Ірпінь пов'язана саме зі зниженням високого стоку.

Гідрологічно таке зменшення може бути пов'язане з кількома чинниками: слабшим весняним сніготаненням, частішими зимовими відлигами, зарегулюванням і водоакумулювальною роллю ставків, водосховищ, заплавних понижень та меліоративної мережі. За наявними даними неможливо розділити вплив кожного чинника кількісно, тому висновок сформульовано як оцінку фактичної зміни стоку, а не як однозначне пояснення причини.

5.3. Мінімальний стік води та узагальнення сучасних змін

Мінімальний стік відображає умови межені та найнижчі витрати води за роками. На відміну від максимального стоку, цей ряд не демонструє виразного односпрямованого спадного тренду. Середнє значення становить $1,73 \text{ м}^3/\text{с}$, медіана - $1,60 \text{ м}^3/\text{с}$, мінімум - $0,20 \text{ м}^3/\text{с}$ у 1964 р., максимум - $5,32 \text{ м}^3/\text{с}$ у 1983 р.

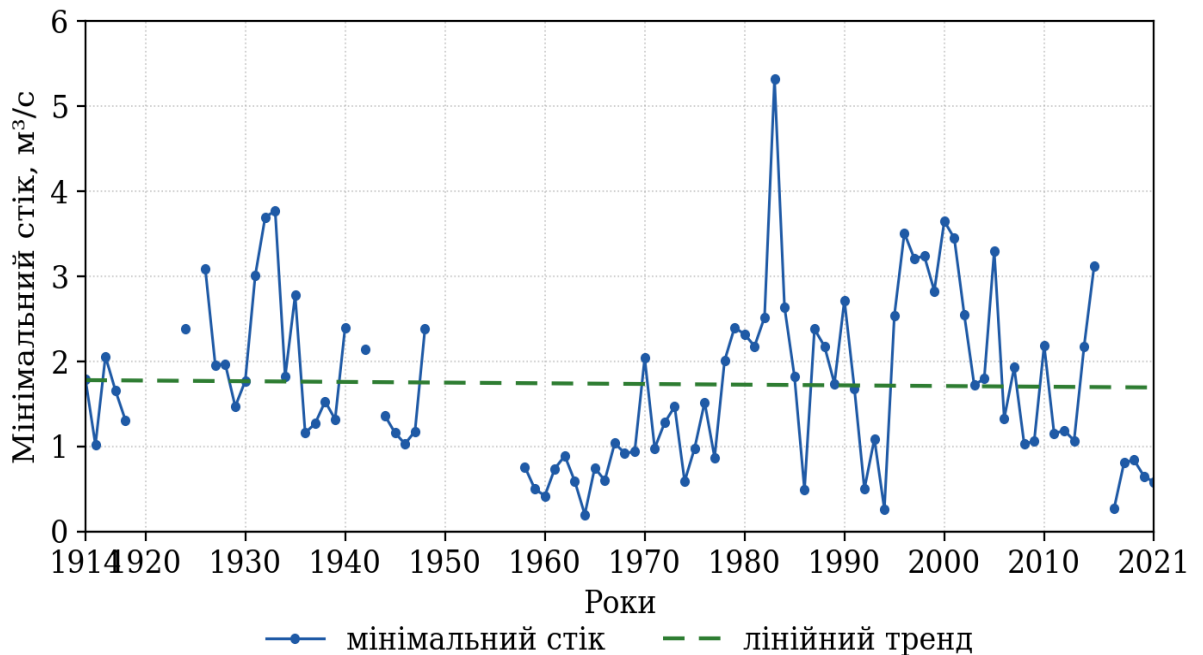


Рисунок 5.4 - Багаторічна мінливість мінімального стоку води р. Ірпінь

Лінійний тренд мінімального стоку дорівнює $-0,008 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 років, а $r = 0,814$. Отже, за всім рядом не можна стверджувати про статистично значуще зменшення мінімальних витрат. Водночас у межах окремих десятиріч простежуються контрастні маловодні роки, зокрема після 2010 р. Саме тому мінімальний стік слід оцінювати не лише за трендом, а й за екстремальними роками, забезпеченими витратами та порівнянням окремих періодів.

Порівняння 1961-1990 і 1991-2021 рр. показує, що середнє значення мінімального стоку змінилося з 1.57 до $1.82 \text{ м}^3/\text{с}$, тобто формально збільшилося на 16.2% . Це не суперечить наявності маловодних років на початку XXI ст., оскільки періодне середнє залежить від усього набору років, а не лише від останніх екстремумів. Для 2001-2021 рр. середній мінімальний стік становить $1,61 \text{ м}^3/\text{с}$, що нижче рівня 1971-2000 рр. ($2,03 \text{ м}^3/\text{с}$).

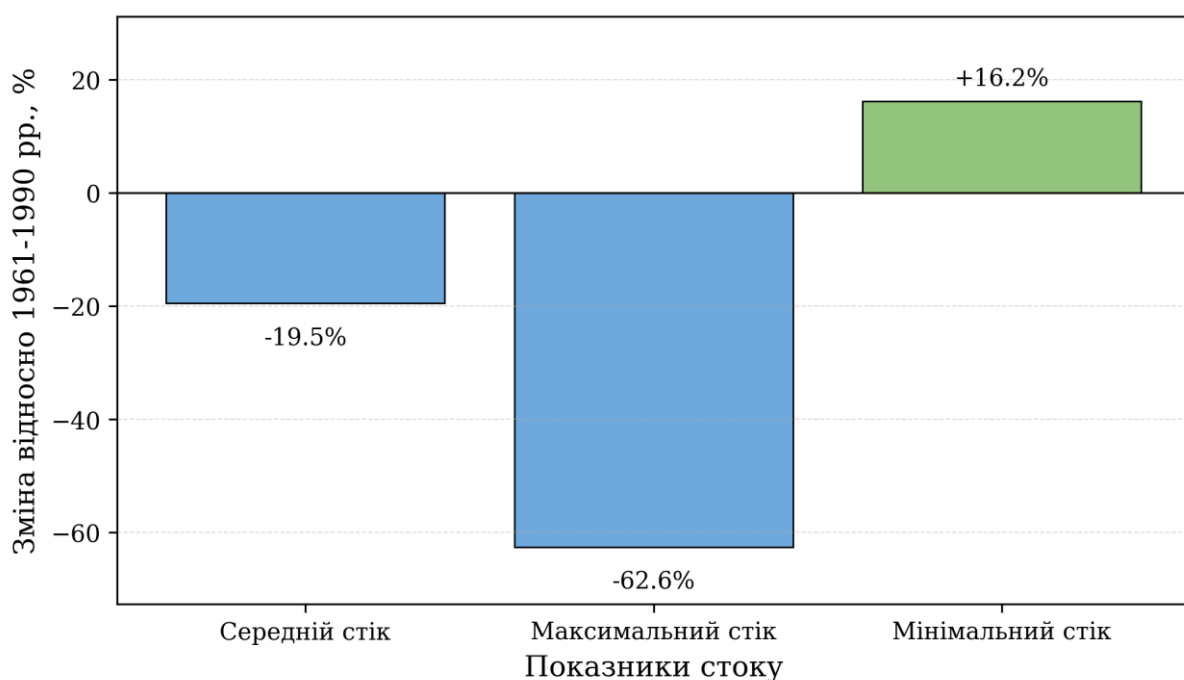


Рисунок 5.5 - Порівняння змін середнього, максимального та мінімального стоку води р. Ірпінь

На рисунку 5.5 узагальнено різноспрямованість змін. Середній річний стік у 1991-2021 рр. порівняно з 1961-1990 рр. зменшився приблизно на $19,5 \%$, максимальний стік - на $62,6 \%$, тоді як мінімальний стік за цими двома інтервалами збільшився на $16,2 \%$. Отже, головна зміна полягає не в однаковому зменшенні всіх характеристик, а в перебудові структури водного

режиму: високі води стали значно слабшими, середня водність знизилася помірно, а мінімальні витрати не мають єдиного спадного тренду.

5.4. Детальний розрахунок аномалій та сучасних змін

Для того щоб результати не обмежувалися тільки графіками, у цьому підрозділі наведено контрольні розрахунки аномалій для окремих характерних років і підсумкове порівняння двох періодів. Аномалія показує, наскільки фактичне значення відхиляється від багаторічної норми відповідного ряду. Саме через аномалії видно, чому окремі роки суттєво впливають на середні характеристики.

Таблиця 5.2

Приклади розрахунку модульних коефіцієнтів та аномалій для характерних років

Рік	Q _{сер}	K _{сер}	ΔQ _{сер} , %	Q _{max}	K _{max}	ΔQ _{max} , %	Q _{min}	K _{min}	ΔQ _{min} , %
1932	15.30	2.11	111.12	573.00	7.37	636.63	3.70	2.13	113.41
1933	14.50	2.00	100.08	480.00	6.17	517.07	3.77	2.17	117.44
1948	19.00	2.62	162.17	186.00	2.39	139.12	2.39	1.38	37.85
1964	2.64	0.36	-63.57	13.00	0.17	-83.29	0.20	0.12	-88.46
1983	12.30	1.70	69.72	35.60	0.46	-54.23	5.32	3.07	206.84
2001	9.05	1.25	24.88	28.40	0.37	-63.49	3.45	1.99	98.99
2013	9.91	1.37	36.74	55.60	0.71	-28.52	1.07	0.62	-38.29
2017	3.40	0.47	-53.09	12.90	0.17	-83.42	0.27	0.16	-84.43
2020	2.50	0.34	-65.50	6.56	0.08	-91.57	0.65	0.37	-62.51
2021	3.26	0.45	-55.02	7.62	0.10	-90.20	0.58	0.33	-66.55

У таблиці 5.2 спеціально залишено роки з різним характером водності. 1932 р. є ключовим для максимального стоку, оскільки $Q_{\max} = 573,00 \text{ м}^3/\text{с}$ і $K_{\max} = 7,37$. Це не технічна прикраса графіка, а фактичний екстремум, який визначає праву асиметрію розподілу. Натомість 2020 р. показує протилежний стан: середній річний стік становив лише 34,5 % від норми, а річний максимум - 8,4 % від середнього багаторічного максимального рівня.

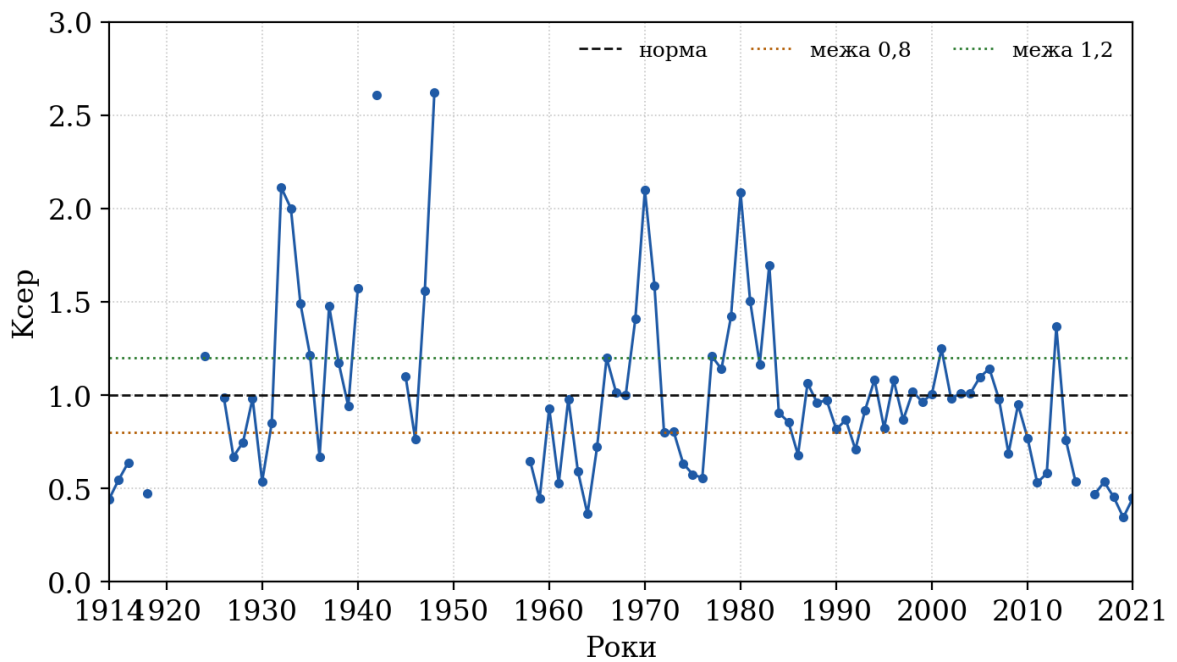


Рисунок 5.6 - Модульні коефіцієнти середнього річного стоку води р. Ірпінь

На рисунку 5.6 роки з $K_{сер}$ вище 1,2 можна трактувати як багатоводні за середнім річним стоком, а роки нижче 0,8 - як маловодні. Графік підтверджує, що зниження середнього річного стоку не є абсолютно рівномірним: у сучасному періоді трапляються роки, близькі до норми, але після 2010 р. збільшується частота низьких значень.

Таблиця 5.3

Порівняння базового та сучаснішого періодів за фактичними значеннями

Показник	1961-1990, м³/с	1991-2021, м³/с	Абсолютна зміна, м³/с	Відносна зміна, %
Середній річний стік	7.57	6.10	-1.47	-19.5
Максимальний стік за рік	61.46	22.99	-38.47	-62.6
Мінімальний стік за рік	1.57	1.82	0.25	16.2

Найбільша зміна між двома періодами припадає на максимальний стік: його середнє значення зменшилося з 61,46 до 22,99 м³/с, тобто на 62,6 %. Середній річний стік зменшився на 19,5 %. Мінімальний стік, навпаки, за цими двома інтервалами формально збільшився на 16,2 %, однак це не означає покращення природного режиму, бо для мінімальних витрат важливими є не тільки періодні середні, а й окремі критично маловодні роки.

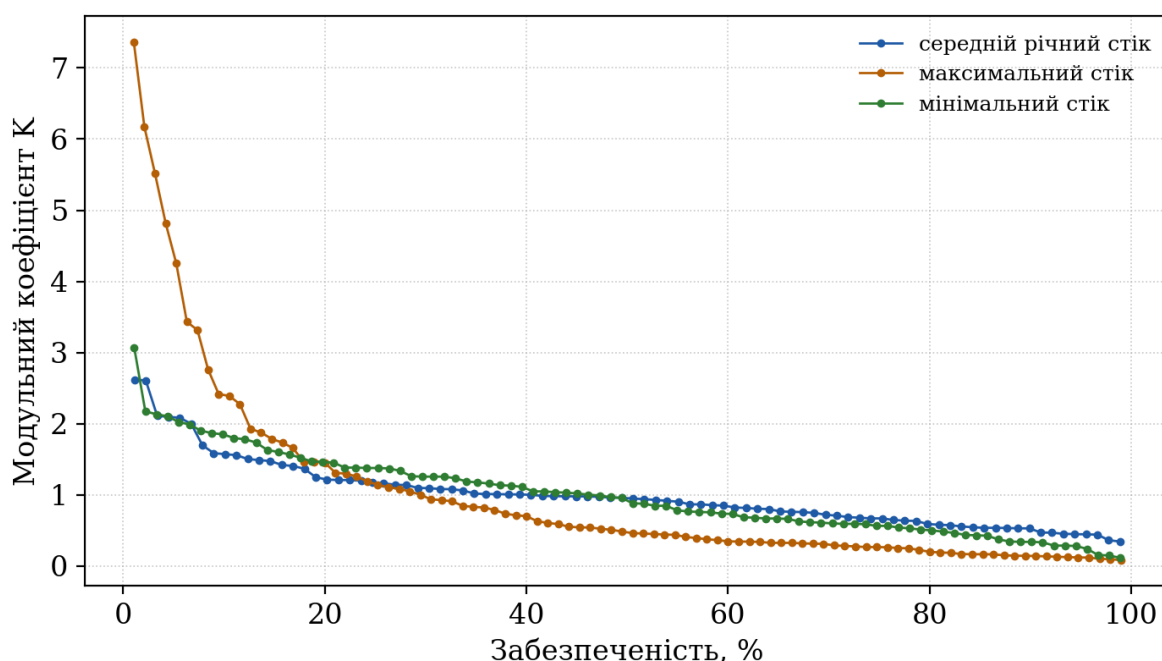


Рисунок 5.7 - Емпіричні криві забезпеченості модульних коефіцієнтів стоку р. Ірпінь

Криві забезпеченості на рисунку 5.7 показують, що максимальний стік має найкрутіший спад у лівій частині графіка. Це означає, що високі значення максимумів зосереджені в невеликій кількості років. Середній річний стік має більш згладжений розподіл, а мінімальний стік займає проміжне положення: він менш контрастний, ніж максимумами, але має помітні відхилення у маловодні роки.

Підсумовуючи розрахункову частину, можна зазначити, що ключовий результат роботи полягає не в самому факті наявності спадного тренду, а в різній реакції трьох характеристик стоку. Максимальний стік демонструє статистично значуще зменшення та різке ослаблення високих вод у сучасний період. Середній річний стік має помірне зниження, яке краще підтверджується порівнянням періодів, ніж р-значенням лінійного тренду. Мінімальний стік не має простого спадного лінійного тренду, тому потребує оцінки через екстремальні роки, забезпеченість і водогосподарський контекст.

Висновки до розділу 5

Внутрішньорічний розподіл стоку р. Ірпінь має чіткий весняний максимум: найбільші середні місячні витрати припадають на березень і квітень.

Середній річний стік має описову тенденцію до зменшення, але лінійний тренд за всім рядом не досягає 5-відсоткового рівня статистичної значущості. Порівняння 1961-1990 і 1991-2021 рр. показує зменшення середньої водності на 19,5 %.

Максимальний стік є наймінливішим показником і має статистично значущий спадний тренд. У сучаснішому періоді його середнє значення зменшилося на 62,6 % порівняно з базовим періодом.

Мінімальний стік не має статистично значущого лінійного тренду за всім рядом. Його зміни потрібно тлумачити обережно, через поєднання природних меженних процесів і водогосподарського регулювання.

Загальний результат розрахункової частини полягає в тому, що режим р. Ірпінь змінюється нерівномірно: найбільш різко трансформувався високий стік, тоді як середній і мінімальний стік реагують складніше.

ВИСНОВКИ

У роботі виконано комплексну оцінку багаторічної мінливості середнього, максимального та мінімального стоку води р. Ірпінь за фактичними гідрологічними даними у створі Гостомель (с. Мостище). Аналіз проведено без довільного заповнення пропусків, тому кількість використаних значень різна для кожного показника: 88 - для середнього річного стоку, 94 - для максимального стоку, 90 - для мінімального стоку.

Фізико-географічні умови басейну р. Ірпінь створюють неоднорідні передумови формування стоку. Басейн поєднує поліські та лісостепові риси, має різну водопроникність відкладів, неоднаковий ґрунтово-рослинний покрив, широку заплаву та значний водогосподарський вплив. Тому фактичні ряди стоку відображають сумарну дію природних і антропогенних чинників.

Методика дослідження включала не лише побудову трендів, а й базовий комплекс гідрологічної статистики: середні та медіанні значення, мінімальні й максимальні значення, стандартне відхилення, коефіцієнти варіації та асиметрії, модульні коефіцієнти, відхилення від норми, емпіричну забезпеченість і порівняння репрезентативних періодів.

Середні місячні витрати мають виразний весняний максимум. Найбільша середня місячна витрата припадає на березень - 21,49 м³/с, далі йде квітень - 15,10 м³/с. У серпні-вересні спостерігається знижений рівень водності, що відповідає літньо-осінній межени.

Середній річний стік має норму 7,25 м³/с і медіану 6,92 м³/с. Його лінійний тренд становить -0,223 м³/с за 10 років, але $p = 0,060$, тобто тенденція має описовий характер і не є статистично значущою на 5-відсотковому рівні. Водночас порівняння 1961-1990 і 1991-2021 рр. показує зменшення середньої водності з 7,57 до 6,10 м³/с, або приблизно на 19,5 %.

Максимальний стік є наймінливішою характеристикою. Його середнє значення становить 77,79 м³/с, медіана - 36,95 м³/с, максимальне фактичне значення - 573,00 м³/с у 1932 р. Коефіцієнт варіації $C_v = 1,33$ і коефіцієнт

асиметрії $C_s = 2,78$ свідчать про різко асиметричний розподіл із впливом окремих великих водопіль. Тренд максимального стоку є статистично значущим і становить $-14,524 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 років.

У сучаснішому періоді 1991-2021 рр. середній рівень максимального стоку зменшився з 61,46 до 22,99 $\text{м}^3/\text{с}$ порівняно з 1961-1990 рр. Відносне зниження становить приблизно 62,6 %, що є найсуттєвішою зміною серед усіх досліджених характеристик.

Мінімальний стік має середнє значення 1,73 $\text{м}^3/\text{с}$ і медіану 1,60 $\text{м}^3/\text{с}$. Лінійний тренд мінімального стоку практично відсутній: $-0,008 \text{ м}^3/\text{с}$ за 10 років при $p = 0,814$. Отже, статистично доведеного спадного тренду мінімальних витрат за всім рядом не встановлено. При цьому останні десятиріччя містять окремі дуже маловодні роки, які важливі для екологічної оцінки річки.

Підсумково встановлено, що зміни водного режиму р. Ірпінь є нерівномірними. Найбільш виразно трансформувався максимальний стік: високі води стали значно слабшими. Середній річний стік зменшився помірно, а мінімальний стік не має односпрямованого статистично значущого тренду. Це свідчить не просто про загальне зменшення водності, а про зміну структури стоку річки.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Водний фонд України. Штучні водойми. Водосховища і ставки : довідник / В. В. Гребінь, В. К. Хільчевський, А. В. Яцик та ін.; за ред. В. К. Хільчевського, В. В. Гребеня. Київ : Інтерпрес, 2014. 164 с.
2. Героїчна оборона та екологічна драма в долині річки Ірпінь / В. Стародубцев // Grail of Science. 2023. № 23. С. 172-182. DOI: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.23.12.2022.28>
3. Ірпінське міжрайонне управління водного господарства // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Ірпінське_міжрайонне_управління_водного_господарства
4. Ірпінь (річка) // Вікіпедія : вільна енциклопедія. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Ірпінь_\(річка\)](https://uk.wikipedia.org/wiki/Ірпінь_(річка))
5. Ірпінь // Енциклопедія Сучасної України / НАН України, НТШ, Інститут енциклопедичних досліджень НАН України. Київ, 2011. URL: <https://esu.com.ua/article-12627>
6. Ладика М. М. Екологічна оцінка стану водно-болотних угідь заплави р. Ірпінь: апробація американського досвіду // Науковий вісник НУБіП України. Серія: Біологія, біотехнологія, екологія. 2017. № 270. С. 224-235.
7. Маджд С. М. Загальні екологічні особливості структурно-функціональних закономірностей розвитку техноприродних систем гирлової ділянки р. Ірпінь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. Вип. 5 (112). С. 110-114.
8. Мянєвська М. Б., Давидова І. В. Екологічний стан основних річок Житомирської області // Таврійський науковий вісник. Серія: Екологія. 2011. № 76. С. 323-334.
9. Паспорт водного об'єкта. Ставок площею 8,2434 га, розташований за межами с. Ходорків, Житомирського району, Житомирської області / розробник ТОВ «ЕКО-МБ». 20 с.

10. Пелешенко В. І., Горєв Л. М., Хільчевський В. К. Якісна оцінка вод водойм і малих водотоків Київської області // Фізична географія та геоморфологія. 1981. Вип. 25. С. 102-108.

11. Писанко Я. Б. Екологічне прогнозування стану розвитку техногенно-зміненої гирлової ділянки річки Ірпінь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. 2018. Вип. 4 (111). С. 109-114.

12. Писанко Я. І. Особливості структурно-функціональної організації техногенно зміненої водної екосистеми гирлової ділянки річки Ірпінь : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2019. 22 с.

13. Плаксіна О. Завдяки Кричевському Ірпінь знають у світі // Гетьман. 2012. № 3 (44). С. 68-69.

14. Побережніченко О. Ю. Удосконалення технології водопостачання підприємств АПК з підземних джерел (у басейні р. Ірпінь) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Київ, 2015. 20 с.

15. Програма відновлення та підтримки сприятливого екологічного стану водозбірною басейну річки Ірпінь на 2021-2025 роки : рішення Бучанської районної ради від 19 березня 2021 року № 103-06-VIII. Буча, 2021.

16. Сидоренко О. О. Флора заплав рр. Трубіж та Ірпінь, її систематичний та біоморфологічний аналіз // Меліорація і водне господарство. 2011. Вип. 99. С. 120-128.

17. Хільчевський В. К. Гідрохімічний словник : навчально-довідкове видання. Київ : ДІА, 2022. 208 с.

18. Beriiia V., Shukh A., Gandzyura V. Ecological and faunal features of zooplankton groups, ichthyofauna in the Irpin river // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: Biology. 2023. Vol. 95, no. 4. P. 9-12. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728.2748.2023.95.9-12>

19. Elshin D., Pavlenko S., Starodub O. New architectural monument of Middle Age found near Zhornivka village on Irpin river // Materials and studies on archaeology of Sub-Carpathian and Volhynian area. 2019. Vol. 23. P. 199-256.

20. Madzhd S. General environmental features of structural and functional regularities of development of the naturally-technogenic system of the mouth of the Irpin river // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2018. Vol. 5. P. 110-114. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.5.110-114>
21. Mychak A., Filipovych V., Mychak N. Modern geo-ecological problems of the northern part of the Irpin river basin and ways to solve them // Physical geography and geomorphology. 2023. Vol. 46, no. 1. P. 28-37. DOI: <https://doi.org/10.17721/phgg.2023.1-6.03>
22. Pysanko Y. Environmental forecasting of the development of technogenically transformed mouth of the Irpin river // Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University. 2018. Vol. 4. P. 109-114. DOI: <https://doi.org/10.30929/1995-0519.2018.4.109-114>
23. Zapototska V., Hnatyuk H. Housing suburbanization: practices of transformations on the example of the city of Irpin // Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv. Geography. 2021. No. 78-79. P. 32-39. DOI: <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2021.78-79.5>

ДОДАТКИ

Додаток А

Річні характеристики стоку води р. Ірпінь за наявними даними

Таблиця А.1

Основні річні характеристики стоку води р. Ірпінь

Рік	Qсер, м³/с	Qmax, м³/с	Qmin, м³/с
1914	3.21	7.93	1.79
1915	3.96	57.20	1.02
1916	4.63	30.70	2.06
1917			1.66
1918	3.43	11.20	1.31
1919		20.80	
1924	8.77	267.00	2.39
1926	7.15	135.00	3.09
1927	4.86	49.10	1.96
1928	5.42	84.50	1.97
1929	7.12	92.50	1.47
1930	3.90	22.60	1.77
1931	6.16	54.60	3.01
1932	15.30	573.00	3.70
1933	14.50	480.00	3.77
1934	10.80	177.00	1.82
1935	8.81	113.00	2.78
1936	4.86	15.60	1.16
1937	10.70	139.00	1.27
1938	8.50	129.00	1.53
1939	6.82	78.00	1.32
1940	11.40	150.00	2.40
1941		114.00	
1942	18.90	429.00	2.14
1943		20.80	
1944		89.00	1.36
1945	7.96	331.00	1.16
1946	5.53	86.00	1.03
1947	11.30	375.00	1.18
1948	19.00	186.00	2.39
1956		258.00	
1957		35.10	
1958	4.70	47.20	0.76
1959	3.23	21.50	0.50
1960	6.74	98.00	0.42
1961	3.84	19.50	0.74
1962	7.10	146.00	0.89
1963	4.29	36.10	0.59

Рік	Qсер, м³/с	Qmax, м³/с	Qmin, м³/с
1964	2.64	13.00	0.20
1965	5.23	26.80	0.75
1966	8.69	70.80	0.60
1967	7.34	64.00	1.04
1968	7.26	73.00	0.92
1969	10.20	81.70	0.94
1970	15.20	114.00	2.04
1971	11.50	65.80	0.98
1972	5.81	24.40	1.28
1973	5.84	37.80	1.47
1974	4.60	24.50	0.59
1975	4.17	39.70	0.98
1976	4.04	11.80	1.52
1977	8.76	215.00	0.87
1978	8.26	102.00	2.01
1979	10.30	101.00	2.40
1980	15.10	188.00	2.32
1981	10.90	64.80	2.18
1982	8.44	24.90	2.52
1983	12.30	35.60	5.32
1984	6.56	25.40	2.64
1985	6.21	42.40	1.82
1986	4.93	13.00	0.49
1987	7.70	72.20	2.38
1988	6.96	40.80	2.18
1989	7.05	43.00	1.74
1990	5.92	26.80	2.72
1991	6.29	22.10	1.68
1992	5.14	14.50	0.50
1993	6.65	42.20	1.09
1994	7.85	34.20	0.26
1995	5.97	11.40	2.54
1996	7.83	45.90	3.51
1997	6.29	13.20	3.21
1998	7.39	29.40	3.24
1999	6.98	34.50	2.83
2000	7.30	20.60	3.65
2001	9.05	28.40	3.45
2002	7.11	14.90	2.55
2003	7.33	61.40	1.72
2004	7.31	27.10	1.80
2005	7.94	26.40	3.30
2006	8.28	25.40	1.33
2007	7.10	17.70	1.93
2008	4.99	9.78	1.03
2009	6.88	19.80	1.06
2010	5.57	25.50	2.19
2011	3.85	9.52	1.15
2012	4.21	10.30	1.19

Гік	Qсер, м³/с	Qmax, м³/с	Qmin, м³/с
2013	9.91	55.60	1.07
2014	5.50	10.60	2.18
2015	3.90	11.10	3.12
2017	3.40	12.90	0.27
2018	3.88	31.90	0.81
2019	3.29	9.31	0.84
2020	2.50	6.56	0.65
2021	3.26	7.62	0.58

Додаток Б

Середні місячні витрати води р. Ірпінь

Таблиця Б.1

Середні місячні витрати води р. Ірпінь за багаторічним узагальненням

Місяць	Qсер, м³/с	К-сть значень	Частка, %
1	5.90	97	6.4
2	7.04	97	7.6
3	21.49	98	23.2
4	15.10	97	16.3
5	7.08	95	7.6
6	5.01	93	5.4
7	5.45	92	5.9
8	4.17	92	4.5
9	4.54	93	4.9
10	5.34	96	5.8
11	6.13	99	6.6
12	5.54	99	6.0

Додаток В

Проміжні розрахункові показники для річних характеристик стоку

У цьому додатку подано допоміжні величини, використані для перевірки напрямку відхилень річних значень від середнього рівня. Індекс К показує відношення фактичної витрати до середнього значення відповідного ряду. Значення К більше 1 означає вищий за середній рівень, а значення менше 1 - нижчий за середній рівень.

Таблиця В.1

Відхилення та індекси річних характеристик стоку р. Ірпінь

Рік	Qсер	Kсер	Qmax	Kmax	Qmin	Kmin
1914	3.21	0.44	7.93	0.10	1.79	1.03
1915	3.96	0.55	57.20	0.74	1.02	0.59
1916	4.63	0.64	30.70	0.39	2.06	1.19
1917					1.66	0.96
1918	3.43	0.47	11.20	0.14	1.31	0.76
1919			20.80	0.27		
1924	8.77	1.21	267.00	3.43	2.39	1.38
1926	7.15	0.99	135.00	1.74	3.09	1.78
1927	4.86	0.67	49.10	0.63	1.96	1.13
1928	5.42	0.75	84.50	1.09	1.97	1.14
1929	7.12	0.98	92.50	1.19	1.47	0.85
1930	3.90	0.54	22.60	0.29	1.77	1.02
1931	6.16	0.85	54.60	0.70	3.01	1.74
1932	15.30	2.11	573.00	7.37	3.70	2.13
1933	14.50	2.00	480.00	6.17	3.77	2.17
1934	10.80	1.49	177.00	2.28	1.82	1.05
1935	8.81	1.22	113.00	1.45	2.78	1.60
1936	4.86	0.67	15.60	0.20	1.16	0.67
1937	10.70	1.48	139.00	1.79	1.27	0.73
1938	8.50	1.17	129.00	1.66	1.53	0.88
1939	6.82	0.94	78.00	1.00	1.32	0.76
1940	11.40	1.57	150.00	1.93	2.40	1.38
1941			114.00	1.47		
1942	18.90	2.61	429.00	5.52	2.14	1.23
1943			20.80	0.27		
1944			89.00	1.14	1.36	0.78
1945	7.96	1.10	331.00	4.26	1.16	0.67
1946	5.53	0.76	86.00	1.11	1.03	0.59
1947	11.30	1.56	375.00	4.82	1.18	0.68
1948	19.00	2.62	186.00	2.39	2.39	1.38
1956			258.00	3.32		
1957			35.10	0.45		
1958	4.70	0.65	47.20	0.61	0.76	0.44
1959	3.23	0.45	21.50	0.28	0.50	0.29
1960	6.74	0.93	98.00	1.26	0.42	0.24
1961	3.84	0.53	19.50	0.25	0.74	0.43
1962	7.10	0.98	146.00	1.88	0.89	0.51
1963	4.29	0.59	36.10	0.46	0.59	0.34
1964	2.64	0.36	13.00	0.17	0.20	0.12
1965	5.23	0.72	26.80	0.34	0.75	0.43
1966	8.69	1.20	70.80	0.91	0.60	0.35

Рік	Qcep	Kcep	Qmax	Kmax	Qmin	Kmin
1967	7.34	1.01	64.00	0.82	1.04	0.60
1968	7.26	1.00	73.00	0.94	0.92	0.53
1969	10.20	1.41	81.70	1.05	0.94	0.54
1970	15.20	2.10	114.00	1.47	2.04	1.18
1971	11.50	1.59	65.80	0.85	0.98	0.57
1972	5.81	0.80	24.40	0.31	1.28	0.74
1973	5.84	0.81	37.80	0.49	1.47	0.85
1974	4.60	0.63	24.50	0.31	0.59	0.34
1975	4.17	0.58	39.70	0.51	0.98	0.57
1976	4.04	0.56	11.80	0.15	1.52	0.88
1977	8.76	1.21	215.00	2.76	0.87	0.50
1978	8.26	1.14	102.00	1.31	2.01	1.16
1979	10.30	1.42	101.00	1.30	2.40	1.38
1980	15.10	2.08	188.00	2.42	2.32	1.34
1981	10.90	1.50	64.80	0.83	2.18	1.26
1982	8.44	1.16	24.90	0.32	2.52	1.45
1983	12.30	1.70	35.60	0.46	5.32	3.07
1984	6.56	0.91	25.40	0.33	2.64	1.52
1985	6.21	0.86	42.40	0.55	1.82	1.05
1986	4.93	0.68	13.00	0.17	0.49	0.28
1987	7.70	1.06	72.20	0.93	2.38	1.37
1988	6.96	0.96	40.80	0.52	2.18	1.26
1989	7.05	0.97	43.00	0.55	1.74	1.00
1990	5.92	0.82	26.80	0.34	2.72	1.57
1991	6.29	0.87	22.10	0.28	1.68	0.97
1992	5.14	0.71	14.50	0.19	0.50	0.29
1993	6.65	0.92	42.20	0.54	1.09	0.63
1994	7.85	1.08	34.20	0.44	0.26	0.15
1995	5.97	0.82	11.40	0.15	2.54	1.47
1996	7.83	1.08	45.90	0.59	3.51	2.02
1997	6.29	0.87	13.20	0.17	3.21	1.85
1998	7.39	1.02	29.40	0.38	3.24	1.87
1999	6.98	0.96	34.50	0.44	2.83	1.63
2000	7.30	1.01	20.60	0.26	3.65	2.11
2001	9.05	1.25	28.40	0.37	3.45	1.99
2002	7.11	0.98	14.90	0.19	2.55	1.47
2003	7.33	1.01	61.40	0.79	1.72	0.99
2004	7.31	1.01	27.10	0.35	1.80	1.04
2005	7.94	1.10	26.40	0.34	3.30	1.90
2006	8.28	1.14	25.40	0.33	1.33	0.77
2007	7.10	0.98	17.70	0.23	1.93	1.11
2008	4.99	0.69	9.78	0.13	1.03	0.59
2009	6.88	0.95	19.80	0.25	1.06	0.61
2010	5.57	0.77	25.50	0.33	2.19	1.26
2011	3.85	0.53	9.52	0.12	1.15	0.66
2012	4.21	0.58	10.30	0.13	1.19	0.69
2013	9.91	1.37	55.60	0.71	1.07	0.62
2014	5.50	0.76	10.60	0.14	2.18	1.26
2015	3.90	0.54	11.10	0.14	3.12	1.80
2017	3.40	0.47	12.90	0.17	0.27	0.16
2018	3.88	0.54	31.90	0.41	0.81	0.47
2019	3.29	0.45	9.31	0.12	0.84	0.48
2020	2.50	0.34	6.56	0.08	0.65	0.37
2021	3.26	0.45	7.62	0.10	0.58	0.33

Додаток Г

Ранжування екстремальних років за основними характеристиками стоку

Ранжування використано як додатковий контроль розрахункової частини. Воно дає змогу швидко встановити, які роки формують верхню та нижню частини розподілу. Особливо це важливо для максимального стоку, де кілька екстремальних значень суттєво впливають на середнє арифметичне.

Таблиця Г.1

Ранжування років за середнім річним стоком

Місце	Найбільші роки	Значення	Місце	Найменші роки	Значення
1	1948	19.00	1	2020	2.50
2	1942	18.90	2	1964	2.64
3	1932	15.30	3	1914	3.21
4	1970	15.20	4	1959	3.23
5	1980	15.10	5	2021	3.26
6	1933	14.50	6	2019	3.29
7	1983	12.30	7	2017	3.40
8	1971	11.50	8	1918	3.43
9	1940	11.40	9	1961	3.84
10	1947	11.30	10	2011	3.85

Ранжування років за максимальним стоком

Місце	Найбільші роки	Значення	Місце	Найменші роки	Значення
1	1932	573.00	1	2020	6.56
2	1933	480.00	2	2021	7.62
3	1942	429.00	3	1914	7.93
4	1947	375.00	4	2019	9.31
5	1945	331.00	5	2011	9.52
6	1924	267.00	6	2008	9.78
7	1956	258.00	7	2012	10.30
8	1977	215.00	8	2014	10.60
9	1980	188.00	9	2015	11.10
10	1948	186.00	10	1918	11.20

Ранжування років за мінімальним стоком

Місце	Найбільші роки	Значення	Місце	Найменші роки	Значення
1	1983	5.32	1	1964	0.20
2	1933	3.77	2	1994	0.26
3	1932	3.70	3	2017	0.27
4	2000	3.65	4	1960	0.42
5	1996	3.51	5	1986	0.49
6	2001	3.45	6	1992	0.50
7	2005	3.30	7	1959	0.50
8	1998	3.24	8	2021	0.58
9	1997	3.21	9	1963	0.59
10	2015	3.12	10	1974	0.59

Додаток Д

Деталізована розрахункова таблиця модульних коефіцієнтів та відхилень за 1961-2021 рр.

У додатку Д наведено контрольний фрагмент розрахункової таблиці за найбільш повним сучасним інтервалом. Значення К показують відношення фактичної витрати до багаторічної норми відповідного ряду. Відхилення Δ , % показує, на скільки відсотків рік був вищим або нижчим за норму. Саме на основі цієї таблиці виконано модульний аналіз та порівняння періодів у четвертому і п'ятому розділах.

Таблиця Д.1

Модульні коефіцієнти та відхилення від норми

Рік	Qсер	Kсер	$\Delta Q_{сер}\%$	Qmax	Kmax	$\Delta Q_{max}\%$	Qmin	Kmin	$\Delta Q_{min}\%$
1961	3.84	0.53	-47.0	19.50	0.25	-74.9	0.74	0.43	-57.3
1962	7.10	0.98	-2.0	146.00	1.88	87.7	0.89	0.51	-48.7
1963	4.29	0.59	-40.8	36.10	0.46	-53.6	0.59	0.34	-66.0
1964	2.64	0.36	-63.6	13.00	0.17	-83.3	0.20	0.12	-88.5
1965	5.23	0.72	-27.8	26.80	0.34	-65.5	0.75	0.43	-56.7
1966	8.69	1.20	19.9	70.80	0.91	-9.0	0.60	0.35	-65.4
1967	7.34	1.01	1.3	64.00	0.82	-17.7	1.04	0.60	-40.0
1968	7.26	1.00	0.2	73.00	0.94	-6.2	0.92	0.53	-46.9
1969	10.20	1.41	40.7	81.70	1.05	5.0	0.94	0.54	-45.8
1970	15.20	2.10	109.7	114.00	1.47	46.6	2.04	1.18	17.7
1971	11.50	1.59	58.7	65.80	0.85	-15.4	0.98	0.57	-43.5
1972	5.81	0.80	-19.8	24.40	0.31	-68.6	1.28	0.74	-26.2
1973	5.84	0.81	-19.4	37.80	0.49	-51.4	1.47	0.85	-15.2
1974	4.60	0.63	-36.5	24.50	0.31	-68.5	0.59	0.34	-66.0

1975	4.17	0.58	-42.5	39.70	0.51	-49.0	0.98	0.57	-43.5
1976	4.04	0.56	-44.3	11.80	0.15	-84.8	1.52	0.88	-12.3
1977	8.76	1.21	20.9	215.00	2.76	176.4	0.87	0.50	-49.8
1978	8.26	1.14	14.0	102.00	1.31	31.1	2.01	1.16	15.9
1979	10.30	1.42	42.1	101.00	1.30	29.8	2.40	1.38	38.4
1980	15.10	2.08	108.4	188.00	2.42	141.7	2.32	1.34	33.8
1981	10.90	1.50	50.4	64.80	0.83	-16.7	2.18	1.26	25.7
1982	8.44	1.16	16.5	24.90	0.32	-68.0	2.52	1.45	45.3
1983	12.30	1.70	69.7	35.60	0.46	-54.2	5.32	3.07	206.8
1984	6.56	0.91	-9.5	25.40	0.33	-67.3	2.64	1.52	52.3
1985	6.21	0.86	-14.3	42.40	0.55	-45.5	1.82	1.05	5.0

Таблиця Д.2

Модульні коефіцієнти та відхилення від норми

Рік	Qсер	Kсер	$\Delta Q_{сер}\%$	Qmax	Kmax	$\Delta Q_{max}\%$	Qmin	Kmin	$\Delta Q_{min}\%$
1986	4.93	0.68	-32.0	13.00	0.17	-83.3	0.49	0.28	-71.7
1987	7.70	1.06	6.2	72.20	0.93	-7.2	2.38	1.37	37.3
1988	6.96	0.96	-4.0	40.80	0.52	-47.5	2.18	1.26	25.7
1989	7.05	0.97	-2.7	43.00	0.55	-44.7	1.74	1.00	0.4
1990	5.92	0.82	-18.3	26.80	0.34	-65.5	2.72	1.57	56.9
1991	6.29	0.87	-13.2	22.10	0.28	-71.6	1.68	0.97	-3.1
1992	5.14	0.71	-29.1	14.50	0.19	-81.4	0.50	0.29	-71.2
1993	6.65	0.92	-8.2	42.20	0.54	-45.7	1.09	0.63	-37.1
1994	7.85	1.08	8.3	34.20	0.44	-56.0	0.26	0.15	-85.0
1995	5.97	0.82	-17.6	11.40	0.15	-85.3	2.54	1.47	46.5
1996	7.83	1.08	8.0	45.90	0.59	-41.0	3.51	2.02	102.4
1997	6.29	0.87	-13.2	13.20	0.17	-83.0	3.21	1.85	85.1
1998	7.39	1.02	2.0	29.40	0.38	-62.2	3.24	1.87	86.9
1999	6.98	0.96	-3.7	34.50	0.44	-55.6	2.83	1.63	63.2
2000	7.30	1.01	0.7	20.60	0.26	-73.5	3.65	2.11	110.5
2001	9.05	1.25	24.9	28.40	0.37	-63.5	3.45	1.99	99.0
2002	7.11	0.98	-1.9	14.90	0.19	-80.8	2.55	1.47	47.1
2003	7.33	1.01	1.1	61.40	0.79	-21.1	1.72	0.99	-0.8
2004	7.31	1.01	0.9	27.10	0.35	-65.2	1.80	1.04	3.8
2005	7.94	1.10	9.6	26.40	0.34	-66.1	3.30	1.90	90.3
2006	8.28	1.14	14.3	25.40	0.33	-67.3	1.33	0.77	-23.3
2007	7.10	0.98	-2.0	17.70	0.23	-77.2	1.93	1.11	11.3
2008	4.99	0.69	-31.1	9.78	0.13	-87.4	1.03	0.59	-40.6
2009	6.88	0.95	-5.1	19.80	0.25	-74.5	1.06	0.61	-38.9
2010	5.57	0.77	-23.1	25.50	0.33	-67.2	2.19	1.26	26.3

Таблиця Д.3

Модульні коефіцієнти та відхилення від норми

Рік	Qсер	Kсер	$\Delta Q_{сер}\%$	Qmax	Kmax	$\Delta Q_{max}\%$	Qmin	Kmin	$\Delta Q_{min}\%$
2011	3.85	0.53	-46.9	9.52	0.12	-87.8	1.15	0.66	-33.7
2012	4.21	0.58	-41.9	10.30	0.13	-86.8	1.19	0.69	-31.4
2013	9.91	1.37	36.7	55.60	0.71	-28.5	1.07	0.62	-38.3

2014	5.50	0.76	-24.1	10.60	0.14	-86.4	2.18	1.26	25.7
2015	3.90	0.54	-46.2	11.10	0.14	-85.7	3.12	1.80	80.0
2017	3.40	0.47	-53.1	12.90	0.17	-83.4	0.27	0.16	-84.4
2018	3.88	0.54	-46.5	31.90	0.41	-59.0	0.81	0.47	-53.3
2019	3.29	0.45	-54.6	9.31	0.12	-88.0	0.84	0.48	-51.6
2020	2.50	0.34	-65.5	6.56	0.08	-91.6	0.65	0.37	-62.5
2021	3.26	0.45	-55.0	7.62	0.10	-90.2	0.58	0.33	-66.5