

Міністерство освіти і науки України
Київський національний університет імені Тараса Шевченка
Географічний факультет
Кафедра гідрології та гідроекології

**ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМУМІВ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ
Р. ПРУТ – М. ЧЕРНІВЦІ ЗА МЕТОДОМ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ
З УРАХУВАННЯМ БІЧНОЇ ПРИТОЧНОСТІ**

Спеціальність 103 – Науки про Землю
ОП – Гідрологія та інтегроване управління водними ресурсами

студентка 2-го курсу магістратури
кафедри гідрології та гідроекології
Мала Маргарита Миколаївна

асистент кафедри гідрології та гідроекології,
к. геогр. н. **Москаленко Станіслав Олексійович**

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ	
Р. ПРУТ В МЕЖАХ УКРАЇНИ ТА ВОДНИЙ РЕЖИМ ЙОГО РІЧОК.....	6
1.1.Географічне положення, геологічна будова та рельєф	6
1.2. Кліматична характеристика	9
1.3. Особливості водного режиму та гідрометеорологічні умови формування дощових паводків на річках басейну р. Прут.....	12
Висновки до 1 розділу	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТОКУ ВОДИ	
ЗА МЕТОДОМ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ.....	17
2.1. Загальні відомості про гідрологічні прогнози та їх завчасність	17
2.2. Принципи оцінки точності та справжужуваності гідрологічних прогнозів.....	20
2.3. Загальні етапи розробки методики прогнозування.....	23
2.4.Основні засади прогнозів стоку води за методом відповідних рівнів.....	26
Висновки до 2 розділу	28
РОЗДІЛ 3. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ	
СТОКУ ВОДИ ТА ЇХ АНАЛІЗ.....	30
3.1. Гідрологічна вивченість та гідрографічні характеристики річок в басейні р. Прут	30
3.2. Оцінка приточності р. Прут в межах України.....	33
3.3. Суміщені графіки коливання витрат води в створах р. Прут- Яремче, р. Черемош-Устерики, р. Прут-Чернівці та формування вихідних даних для розробки методики прогнозу	36

3.4. Вихідні дані для розрахунку часу руслового добігання	39
Висновки до 3 розділу	42
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ МАКСИМУМІВ	
ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ Р. ПРУТ – М. ЧЕРНІВЦІ ЗА МЕТОДОМ	
ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ З УРАХУВАННЯМ БІЧНОЇ ПРИТОЧНОСТІ ...	44
4.1. Прогнозні залежності відповідних витрат	44
4.2. Розрахунок часу руслового добігання (в годинах)	46
4.3. Допустимі похибки прогнозу	48
Висновки до 4 розділу	50
РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРОЧНІ ПРОГНОЗИ ТА ОЦІНКА ПРАКТИЧНОГО	
ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗІВ	52
Висновки до 5 розділу	58
ВИСНОВКИ	59
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	61
ДОДАТКИ.....	65
ДОДАТОК А. Бічна приточність та її оцінка.....	66
ДОДАТОК Б. Суміщені гідрографи стоку води (графіки коливання	
витрат води) на досліджуваних постах р. Прут за теплий період та	
вибір відповідних витрат води.....	67
ДОДАТОК В. Строкові відповідні витрати води дощових паводків на	
досліджуваних постах р. Прут	73

ВСТУП

Актуальність теми. Ефективне управління водними ресурсами, обґрунтоване їх використання, безпечне функціонування галузей економіки, своєчасність застосування запобіжних заходів та запобігання значним збиткам у випадку загрози виникнення небезпечних гідрологічних явищ значною мірою залежить від рівня розвитку гідрологічних прогнозів. Необхідно постійно удосконалювати прогностичні методики, щоб прогнози були ефективніші, надійніші для забезпечення ефективного захисту населення та інфраструктури регіону. Гідрологічні прогнози не можуть зупинити водну стихію, але мінімізувати її наслідки вони здатні. З огляду на вищезазначене, тема магістерської роботи з розробки методики прогнозування максимумів дощових паводків на р. Прут є актуальною[2,13].

Мета роботи – дослідження умов формування дощових паводків на р. Прут та розроблення науково-обґрунтованої методики короткострокового прогнозування паводкових витрат води дощових паводків р. Прут – м. Чернівці за методом відповідних рівнів з урахуванням бічної приточності.

Об’єкт дослідження – ділянка річки Прут між гідрологічними постами Яремча та Чернівці з урахуванням впливу бічної приточності.

Предмет дослідження – відповідні та максимальні витрати води під час дощових паводків у теплий період року в басейні р. Прут

Для досягнення мети були визначені наступні **завдання**:

- Надати фізико-географічну характеристику басейну р. Прут в межах України, проаналізувати особливості водного режиму та гідрометеорологічні умови формування дощових паводків на річках басейну р. Прут.

- Вивчити методичні основи прогнозування стоку води за методом відповідних рівнів, принципи оцінки точності та справжуваності гідрологічних прогнозів.

- Провести аналіз гідрологічної вивченості річок в басейні р. Прут в межах України, оцінити бічну приточність на ділянці Яремча → Чернівці та сформувати банк вихідних даних для розробки методики прогнозу.

- Опрацювати та проаналізувати прогностичні залежності (відповідних витрат води та часу руслового добігання), розробити методику прогнозування витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут–Чернівці з урахуванням бічної приточності, розрахувати допустимі похибки прогнозу.

- Здійснити перевірочні прогнози, провести оцінки їх справджуваності та практичного застосування розробленої методики прогнозів.

Вихідні матеріали - дані спостережень державної гідрометеорологічної мережі (гідрологічні щорічники) за витратами води по постах р. Прут (Яремча, Чернівці) та р. Черемош (Устеріки).

Методи дослідження – фізико-статистичні методи, що поєднують фізичні закономірності гідрологічних процесів зі статистичною обробкою історичних даних для прогнозування водних режимів річок, метод відповідних рівнів води, методи математичної статистики, кореляційно-регресивний аналіз.

Структура та обсяг роботи. Кваліфікаційна робота магістра складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, переліку посилань та додатків. Всі розрахунки та графічні побудови зроблені за допомогою ПК.

РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ПРУТ В МЕЖАХ УКРАЇНИ ТА ВОДНИЙ РЕЖИМ ЙОГО РІЧОК

1.1. Географічне положення, геологічна будова та рельєф

Географічне положення та загальні параметри р. Прут. Прут є однією з найбільших лівих приток Дунаю та ключовою водною артерією в гідрографічній мережі південно-західної України (рис. 1.1)[3,7]. Її витік розташований у високогірній частині Українських Карпат, а саме на північних схилах потужного гірського масиву Чорногора, поблизу підніжжя гори Говерла (2061 м), найвищої вершини України. Початок річки знаходиться на абсолютній висоті близько 1750 м над рівнем моря, що зумовлює її типовий гірський характер у верхів'ї[3,24].

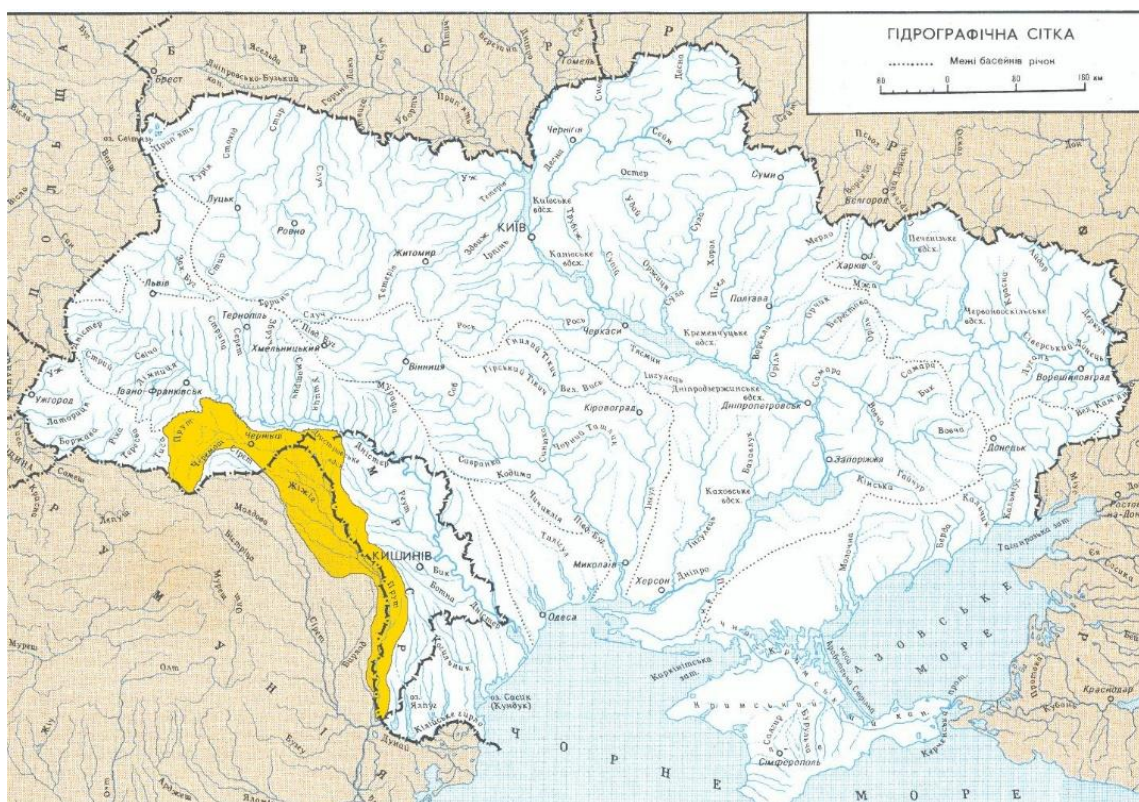


Рис. 1.1 Басейн р. Прут

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Басейн_річки_Прут.jpg]

Шлях річки пролягає через території Івано-Франківської та Чернівецької областей України. Нижче за течією Прут набуває міжнародного значення, слугуючи природним державним кордоном: спершу між Україною та Молдовою, а потім — між Молдовою та Румунією. Завершує свій шлях річка, впадаючи у Дунай поблизу молдовського села Джурджулешти (рис. 1.1)[30].

Гідрографічні параметри річки Прут демонструють значний масштаб її басейну. Загальна довжина Пруту становить 967 км, з яких приблизно 272–299 км припадає на територію України[3,22]. Загальна площа водозбірного басейну охоплює близько 27,5 тис. км², причому українська частина басейну займає понад 9,3 тис. км².

Басейн Пруту має чітко виражену асиметричну та видовжену форму, орієнтовану з північного заходу на південний схід (рис. 1.1). Його правобережна частина розвинена значно краще і є більшою за площею через приєднання таких великих приток, як Черемош, Рибниця та Пістинька, які дрениують південні та центральні Карпати. Лівобережні притоки (Тлумачик, Турка, Чорнява, Черлена, Рингач) є, як правило, коротшими[7,23]. Середня ширина водозбірного басейну становить близько 51 км.

Геологічна структура басейну р. Прут є надзвичайно складною і відображає історію гороутворення Карпатської системи, що має вирішальне значення для формування поверхневого та підземного стоку.[17,18]

Верхів'я та значна частина басейну розташовані у межах флішової зони Українських Карпат, яка складена мезозойськими відкладами, представленими давніми сланцями та кварцитами[17,18]. Вони перекриті потужною товщею флішу третинного періоду. Фліш являє собою характерне ритмічне чергування тонкошарових осадових порід: пісковиків, алевролітів, глинистих сланців, мергелів та, рідше, вапняків. Така черговість шарів з різною водопроникністю сприяє розвитку гідростатичного тиску та значній ерозійній нестійкості схилів.

Така геологічна структура впливає та формує наступні процеси в басейні р. Прут:

– *Висока ерозійна активність*: схили, складені легко руйнівними глинистими та мергелястими шарами флішу, мають підвищену схильність до зсувних процесів та обвалів, що особливо проявляється на крутих правих берегах річки. Це призводить до інтенсивного надходження твердого матеріалу у русло та постійної зміни його морфології.

– *Підземний стік*: наявність у крихких флішових породах густої мережі тектонічних тріщин і розломів забезпечує розвиток ефективного підземного живлення. Вода, просочуючись через тріщини, затримується водотривкими шарами глини, що стабілізує стік води у міжпаводкові чи меженні періоди.

– *Четвертинні відклади*: У зоні Передкарпатського прогину, що прилягає до гір, залягають неогенові відклади, перекриті шарами лесових порід четвертинного періоду. Ці лесові рівнини утворюють хвилястий рельєф і є джерелом дрібнозему для заплавних ґрунтів. У самій долині Пруту поширені алювіальні відкладення – потужні товщі річкових наносів, представлених галькою, валунами (особливо у верхів'ях) та замуленим піском.

Рельєф басейну Пруту є одним з ключових чинників, що визначає його динамічний водний режим і високу паводкову небезпеку на річках басейну. В межах України чітко виділяється висотна зональність рельєфу, яка полягає в наступному:

– Найбільші висоти (до 2061 м) належать до Полонинсько-Чорногірських гір, які формують типовий середньогірський рельєф з глибоким розчленуванням, стрімкими схилами та значним перепадом висот. Середня висота водозбору у витоках річки Прут перевищує 1000–1200 м над рівнем моря[18,29].

– У напрямку до м. Чернівці рельєф поступово переходить у низькогірний та передгірський хвилястий, середні висоти водозбору річки знижуються до 450–800 м над рівнем моря.

Таким чином, рельєф басейну р. Прут в межах України формує ідеальні умови для інтенсивного поверхневого стоку, а круті схили забезпечують швидке стікання дощових вод у річкову мережу, що є основною передумовою для формування дощових паводків різної інтенсивності.

Відповідно до рельєфу формується й морфологічна трансформація долини та русла. Тобто, долина р. Прут демонструє чітко виражену трансформацію, що відповідає зміні рельєфу та загальному падінню річки (1577 м):

1. *Верхня течія* (Гірський сегмент): *характер*: типовий гірський режим із високим середнім похилом до 100 м/км біля витoku; *долина*: вузька V-подібна або ущелиноподібна, із середньою шириною 200–300 м, місцями звужуючись до 35 м; *русло*: дуже звивисте, порожисте та скелясте. Його ширина становить від 15 до 40 м. На цій ділянці фіксується найбільша швидкість течії (до 5 м/с); *заплава*: переривчаста або повністю відсутня, вузька (30–50 м).

2. *Середня течія* (Передгірський сегмент, до м. Чернівці): *характер*: перехідний, зберігається висока енергія потоку. Середній похил русла зменшується, але залишається значним (близько 7,8 ‰ у районі Чернівців); *долина*: набуває трапецієподібної форми, поступово розширюючись від 2 км до 5–9 км; *русло*: звивисте та розгалужене, містить численні острови, ширина річки зростає, досягаючи подекуди 120–260 м; *заплава*: двостороння, значно ширша, ніж у горах, від 500 м до 1,5 км. Ця ділянка часто піддається затопленню під час паводків, тому для захисту берегів тут проводилися роботи з влаштування кам'яних обвалувань та бетонних укріплень.

3. *Нижня течія* (Рівнинний сегмент): *характер*: типовий рівнинний режим із мінімальним похилом (до 0,05 м/км біля гирла); *долина*: максимально розширена, схили пологі; *русло*: значно меандрує та часто змінює свій напрямок, з повільною швидкістю течії.

Таким чином, унікальне поєднання геологічної структури (крихкий фліш), гірського рельєфу та значного падіння русла в межах української частини басейну Пруту є визначальним для його динамічного, паводкового режиму.

1.2. Кліматична характеристика

Кліматичні умови, що панують у басейні р. Прут, належать до помірно-континентального типу, проте їхня неоднорідність і висотна мінливість є одними

з ключових факторів, що визначають динамічний гідрологічний режим річки[9,10].

Формування клімату відбувається під потужним впливом атлантичних повітряних мас (циклонів), які приносять вологу із заходу, та виразної орографічної перешкоди — гірської системи Українських Карпат[27].

Кліматотвірні чинники в басейні Пруту чітко розділяються за висотною зональністю. Основними з них є: циркуляційні процеси (перевага західного переносу), географічна широта, абсолютна висота над рівнем моря, а також експозиція схилів та характер підсилюючої поверхні.

Відносно температурного режиму повітря, то для басейну р. Прут характерна суттєва вертикальна термічна диференціація, що має прямий вплив на процеси сніготанення та інтенсивність випаровування. Середньорічна температура повітря знижується від $+7...+10$ °С у рівнинній частині (понижся, Передкарпаття) до $+3...+4$ °С і, навіть, $+0,6$ °С у високогір'ї Чорногірського хребта. Зниження температури відбувається в середньому на $0,6-0,7$ °С на кожні 100 м підйому[11].

У літній період, липень – це найтепліший місяць року в басейні. Середня температура липня у передгір'ї становить $+17...+19$ °С, що забезпечує активну вегетацію. Однак у гірській частині (на висотах понад 1500 м над рівнем моря) температура повітря знижується до $+10...+13$ °С. Тривалість періоду із середніми добовими температурами вище $+10$ °С зменшується від 170 днів на рівнинах до 90 днів у верхньому ярусі гір.

У зимовий період, січень – найхолодніший місяць року. Середні показники коливаються від $-1,5...-4$ °С на рівнинах до $-6...-8$ °С у високогір'ї. Зима характеризується частими, але короткочасними відлигами, коли температура може сягати $+10$ °С. Ці відлиги, поєднані з випадінням дощу, провокують зимові (сніго-дощові) паводки. Абсолютні мінімуми температур повітря у басейні можуть сягати $-37...-42$ °С під час вторгнення арктичних повітряних мас.

Велике гідрологічне значення мають режим атмосферних опадів. Розподіл атмосферних опадів є найбільш нерівномірним кліматичним елементом, що

безпосередньо залежить від орографії і є головним чинником формування паводків в басейні Пруту.

Загалом, кількість атмосферних опадів зростає від рівнинних територій до гірської зони (табл. 1.1). Таким чином, у гірській частині басейну випадає у 2–2,5 рази більше опадів, ніж на рівнині, що створює колосальний потенціал для формування стоку води[11,12].

Таблиця 1.1.

Розподіл атмосферних опадів за висотою місцевості в басейні р. Прут в межах України

Сегмент басейну	Приклади населених пунктів	Середньорічна сума опадів
Рівнинна частина	Чернівці, Коломия	600–750 мм
Передгірська частина	Яремче (нижній пояс)	800–1000 мм
Високогір'я (понад 1500 м)	Схили Чорногори	1500–1800 мм

Важливим для формування паводків є сезонність опадів та їх інтенсивність. Теплий період (квітень–жовтень) є домінуючим за кількістю опадів, припадає до 75–80% річної суми. Максимум дощових опадів спостерігаються у червні–липні, коли випадає до 35–40% річної кількості.

Найбільше гідрологічне значення мають інтенсивні зливові дощі конвективного характеру. За одну добу під час таких злив може випасти до 300–320 мм опадів, що в басейні р. Прут еквівалентно 2-3 середньомісячним нормам. Саме ці зливові дощі формують катастрофічні паводки, оскільки вода дуже швидко стікає з крутих схилів і слабо просочується через перенасичені водою ґрунти. Кількість "ефективних" дощів, що формують значний гідрологічний стік, складає 5–20 на рік[25,27].

У горах р. Прут стійкий сніговий покрив утримується з грудня до березня, а його товща може сягати 80–100 см. Однак, через відлиги, запас води у снігу (в середньому 40–50 мм у горах) є менш значущим для формування максимального стоку, ніж літні зливи.

Також мають значення для формування паводкового режиму й додаткові кліматичні фактори:

- Вітровий режим: у басейні переважають західні та північно-західні вітри, які приносять вологі повітряні маси з Атлантики. Влітку в долині р. Прут відчувається вплив місцевих гірсько-долинних вітрів, які посилюють циркуляцію повітря.

- Вологість та інсоляція: відносна вологість повітря є високою, особливо в гірській частині р. Прут, коливаючись від 75% до 85% упродовж року. Річна кількість сонячного сяйва становить 1600–1900 годин. Висока вологість і помірна інсоляція сприяють збереженню вологи, що у поєднанні з низьким випаровуванням у горах створює ідеальні умови для формування високого поверхневого стоку.

Отже, висновки з кліматичної характеристики однозначні: клімат басейну Пруту є вологим помірно континентальним з домінуванням орографічного ефекту. Комплекс кліматичних факторів, особливо висока кількість та інтенсивність опадів у теплий період, визначає сезонність гідрологічних процесів і високий ризик виникнення дощових паводків, що є критично важливим для цілей гідрологічного прогнозування.

1.3. Особливості водного режиму та гідрометеорологічні умови формування дощових паводків на річках басейну р. Прут

Водний режим річки Прут та її приток має контрастний та високо динамічний характер, що є прямим наслідком вираженої кліматичної та орографічної неоднорідності басейну. У межах України режим р. Прут еволюціонує від чітко вираженого гірського у верхів'ях до передгірського і рівнинного у пониззі, що зумовлює значні просторові та сезонні коливання гідрологічних характеристик.

Живлення річок басейну Пруту є мішаним, проте домінує дощова складова, особливо у теплий період року (табл. 1.2).

Таблиця 1.2.

Складові живлення річок в басейні р. Прут в межах України

Складова живлення	Частка у річному стоці (орієнтовно)	Особливість
Дощове	55–70 %	Домінує у теплий період, формує максимальні витрати
Снігове	15–25 %	Зумовлює весняне водопілля, але через часті відлиги вплив нестабільний.
Підземне	10–20 %	Підтримує стік води у періоди літньо-осінньої та зимової межени.

Річний цикл стоку води річок в басейні р. Прут в межах України має чітко виражені фази:

1. Весняне водопілля починається наприкінці лютого – на початку березня і досягає максимуму в кінці березня – на початку квітня. Воно спричинене поєднанням сніготанення у передгір'ях та весняних дощів.

2. Дощові паводки в басейні р. Прут в межах України домінують у теплий період року, формування яких обумовлено значними опадами різної інтенсивності.

3. Літньо-осіння межень: тривалий період, який характеризується низькими рівнями води, що постійно перериваються численними дощовими паводками (паводковий режим).

4. Зимова межень настає в кінці грудня – на початку січня. Характеризується найнижчими рівнями стоку.

5. Зимові паводкові підйоми: на відміну від типових рівнинних річок, на р. Прут часто спостерігається підвищений зимовий стік води, спричинений тривалими відлигами та випадінням дощу на сніговий покрив. Льодостав є нестійким, коротким (до 50 діб) і триває з січня до початку березня, товщина льоду рідко перевищує 30–40 см[4,6].

Середня багаторічна витрата води в річці Прут біля м. Чернівці становить близько 71,7 м³/с. Однак ця величина може зростати до 2000–5000 м³/с під час катастрофічних паводків.

Формування екстремальних дощових паводків у басейні Пруту визначається синергією фізико-географічних факторів та гідрометеорологічних умов. Це насамперед:

– *Інтенсивність опадів*: головним чинником є випадіння короткочасних, але надзвичайно інтенсивних злив (локальні конвективні грозові системи) у теплий період (червень–липень). Добова сума опадів може сягати 30–100 мм, а в екстремальних випадках перевищувати 300 мм. Такі опади, часто повторювані, забезпечують надлишок вологи, який критично знижує інфільтраційну здатність ґрунтів[12].

– *Орографічне підсилення*: гірський рельєф та крутизна схилів (похил русла до 100 м/км у верхів'ї) діють як каталізатор, забезпечуючи надзвичайно швидке стікання води у руслову мережу. Це підтверджується високими значеннями модулів максимальних витрат у високогір'ї (до 1,9–2,0 м³/(с·км²)), які є основними зонами формування стоку.

– *Гідрографічний фактор*: паводкова небезпека посилюється через двоядерну структуру басейну. Найбільші катастрофи виникають, коли піки стоку води з верхів'їв Пруту та його найбільшої притоки — Черемошу (що має площу водозбору понад 1500 км²) – синхронізуються або відбуваються з мінімальним часовим лагом, збільшуючи загальну витрату води на ділянці нижче їх злиття (м. Чернівці).

– *Геологічний вплив*: русло, заповнене кам'янистим та галечниковим матеріалом, а також слабка водопроникність флішових порід, сприяють швидкому проходженню води, а перенасичення схилів вологою провокує селі та зсуви, що збільшують руйнівну енергію потоку.

Паводки на річках басейну Пруту характеризуються стрімким підйомом рівнів і малою завчасністю прогнозування (табл. 1.3). Ці короткі часи добігання та швидкість течії (яка під час паводків може сягати 4 м/с) роблять басейн Пруту одним із найскладніших для оперативного гідрологічного прогнозування в Україні.

Таблиця 1.3.

**Характеристика параметрів паводків на річках в басейні р. Прут в межах України
та завчасності їх прогнозу**

Ділянка річки	Час формування піка паводку	Час руслового добігання (приблизно)	Завчасність прогнозу
Гірські притоки (Черемош, Рибниця, Пістинка)	1–3 години	-	Дуже мала
Середня течія Пруту	6–12 годин	-	Мала
Від верхів'їв до м. Чернівці	-	10–14 годин	Обмежена (1–2 години до піка)

За останні десятиліття у басейні р. Прут неодноразово спостерігалися катастрофічні паводки (зокрема, у 1969, 1991, 1998, 2001, 2008 рр.), що є свідченням кліматичної нестабільності та зростання частоти екстремальних явищ. Під час цих подій рівні води перевищували багаторічні максимуми на 2–4 метри. Основними наслідками таких паводків є: руйнування мостів та гідротехнічних споруд; ерозія берегів, що потребує влаштування кам'яних обвалувань; затоплення населених пунктів та сільськогосподарських угідь на заплавах територіях[8,26].

Отже, гідрологічний режим р. Прут є режимом швидких дощових паводків. Комплекс гірського рельєфу, високої водності та інтенсивності зливових опадів формує високу паводкову небезпеку, що робить завдання прогнозування паводкових витрат води критично важливим для регіональної безпеки та управління водними ресурсами.

Висновки до Розділу 1

Річка Прут є однією з найбільших лівих приток Дунаю та ключовою водною артерією в гідрографічній мережі південно-західної України. Басейн р. Прут у межах України розташований у складній фізико-географічній зоні, що охоплює високогір'я Чорногірського масиву, Передкарпаття та рівнинні території.

Геологічна будова (переважання нестабільних флішових порід у верхів'ях) та крутий гірський рельєф є основними факторами, що створюють передумови для інтенсивної ерозії, зсувних процесів та швидкого поверхневого стікання води, що має прямий вплив на динаміку гідрологічних процесів.

Клімат басейну р. Прут є вологим помірно континентальним із чітко вираженою висотною зональністю. Середньорічна температура знижується від $+8...+10$ °C у пониззі до $+3...+4$ °C у горах. Ключовим фактором, що визначає гідрологічні ризики, є надмірна кількість атмосферних опадів, яка зростає від 600–750 мм на рівнинах до 1500–1800 мм у гірській частині.

Водний режим р. Прут характеризується мішаним живленням з переважанням дощової складової (55–70%), яка формує основну частину річного стоку. Водний режим має чітко виражені фази: весняне водопілля, дощові паводки, нестійка літньо-осіння межень (що переривається частими паводками) та зимова межень із підвищеним стоком води через відлиги.

Домінуюча зливова активність у теплий період забезпечує надлишок зволоження і є визначальною гідрометеорологічною умовою для формування дощових паводків.

Головна особливість водного режиму річок басейну р. Прут – це часті та бурхливі дощові паводки, які у гірських районах виникають раптово і мають високу амплітуду коливань рівня води. Гідрологічний ризик посилюється через малий час добігання паводкової хвилі (в середньому 10–14 годин від верхів'їв до Чернівців). Це обумовлює критично малу завчасність гідрологічних прогнозів (часто менше 12 годин).

Враховуючи вищезгадане можна констатувати, що складне поєднання гірського рельєфу, флішової геології, надмірної кількості зливових опадів та швидкої концентрації стоку води в басейні р. Прут створює унікальні передумови для частого виникнення дощових паводків. Ці чинники формують наукову основу для подальшого вивчення та обґрунтовують актуальність розробки та вдосконалення методик прогнозування паводкових витрат води для забезпечення ефективного управління водними ресурсами та захисту територій регіону.

РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУВАННЯ СТОКУ ВОДИ ЗА МЕТОДОМ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ

2.1. Загальні відомості про гідрологічні прогнози та їх завчасність

Гідрологічне прогнозування є не просто розділом прикладної гідрології, а критично важливим інструментом у системі управління водними ресурсами та забезпечення гідрологічної безпеки. Його ключова функція полягає у науково обґрунтованому завчасному передбаченні майбутнього стану водних об'єктів – від річок і озер до водосховищ і боліт. Точне і своєчасне передбачення гідрологічних характеристик, таких як рівні та витрати води, час настання максимуму паводку, а також льодових явищ, є необхідною передумовою для раціональної експлуатації гідротехнічних споруд, планування водокористування та, що найбільш актуально для паводконебезпечних районів, зниження економічних і соціальних збитків від повеней [13].

Гідрологічний прогноз – це результат передбачення конкретного гідрологічного явища або параметра (наприклад, максимальної витрати паводку) на визначений проміжок часу [28].

Головне завдання гідрологічного прогнозування, як розділу прикладної гідрології, полягає в опрацюванні *методів і методик передбачення*.

Метод гідрологічного прогнозування – це загальний науково обґрунтований підхід до передбачення певного гідрологічного явища, який базується на аналізі закономірностей розвитку гідрологічних процесів та використанні спеціально розроблених математичних, емпіричних або статистичних методів [14].

Оскільки, відповідно до теми, мети і завдань магістерської роботи, ми використовуємо метод відповідних рівнів води, якій ґрунтуються на закономірностях руху річкового потоку, за фізичною основою дослідження, цей метод прогнозування поділяють на дві основні категорії [14,20]:

1. *Спрощені методи*: до них належать підходи, в яких не враховується детальний аналіз трансформації (розпластування) паводкової хвилі в руслі. Їхня основа – кореляційні емпіричні залежності між гідрологічними параметрами у двох або більше створах. Спрощені методи є найбільш поширеними і ефективними, особливо при обмеженому обсязі вихідних даних або для ділянок із відносно невеликим розпластуванням. Основна перевага цих методів — їхня простота, оперативність і надійність за умов, коли ступінь нестационарності режиму між паводками залишається відносно постійним.

2. *«Строгі» методи*: це найскладніші підходи, засновані на чисельному інтегруванні рівнянь Сен-Венана (гідродинамічні моделі). Вони вимагають досконалої вивченості морфометричних і гідравлічних характеристик русла, а також значної підготовки в галузі прикладної математики та програмування. Ці методи є незамінними в умовах різких змін режиму, наприклад, при водоскидах із водосховищ, або коли необхідне точне моделювання паводкової хвилі на великих річкових ділянках.

Методика прогнозування – це безпосередній засіб передбачення, розроблений для конкретного водного об'єкта на підставі загального методу. Методика прогнозування за методом відповідних рівнів є практичною реалізацією цього методу, адаптованою під конкретну річкову ділянку з урахуванням її унікальних природних особливостей, структури руслової мережі та наявного масиву гідрометеорологічних даних.

Загалом, існує декілька класифікацій гідрологічних прогнозів: за завчасністю; за явищами, які передбачаються; за закономірностями, на основі яких складаються прогнози.

Основними критеріями ефективності будь-якого прогнозу є не тільки спрогнозована величина якоїсь гідрологічної події, елементу чи явища, а й коли настане ця величина, через який час. В цьому випадку ключовим параметром, що визначає корисність гідрологічного прогнозу в системі прийняття рішень, є його завчасність (τ) [14,15].

Завчасність прогнозу — це критично важливий часовий інтервал, що

починається з моменту складання (випуску) прогнозу і закінчується моментом настання передбачуваного гідрологічного явища (наприклад, піку паводку).

Відповідно до завчасності, гідрологічні прогнози прийнято класифікувати так (табл. 2.1):

Таблиця 2.1.

Класифікація гідрологічних прогнозів за завчасністю

Категорія прогнозу	Завчасність	Застосування та особливості
Довгострокові	Понад 10–15 діб	Стратегічне планування водоспоживання, очікуваний запас води на сезон.
Середньострокові	Від 2 до 10 діб	Планування роботи водосховищ, підготовка до очікуваної повені.
Короткострокові	До 2 діб	Оперативне управління ситуацією, попередження про підйом рівня води.
Екстрені попередження	Кілька годин	Критичні ситуації, типові для гірських паводків, де час на реагування мінімальний.

Для річок з яскраво вираженим гірським режимом стоку води, як й для річок у досліджуваному басейні Пруту, завчасність прогнозів є критично малою. Через стрімкий русловий добіг води, спричинений великими ухилами та високою інтенсивністю злив, час добігання паводкової хвилі може становити лише 10–14 годин на довгій ділянці, а завчасність прогнозів максимумів паводку часто не перевищує 1–2 години. Це створює величезні виклики для оперативних служб, вимагаючи не лише високої точності розрахунків, але й максимально можливої швидкості їх виконання, оскільки час на реагування визначається ефективністю превентивних заходів.

Зазвичай, прогноз вважається задовільним, якщо його похибка не перевищує $\pm 15\text{--}20\%$ від середньої амплітуди коливання прогнозованої величини (наприклад, витрат води). Досягнення високої достовірності в умовах складної взаємодії метеорологічних, фізико-географічних та антропогенних факторів вимагає постійної інтеграції даних різної природи (опад, температура, вологість ґрунту, дані дистанційного зондування) та використання сучасних методів аналізу, включаючи статистичне моделювання та інтелектуальні технології.

Таким чином, гідрологічне прогнозування є постійним компромісом між максимальною завчасністю та необхідною точністю[15].

2.2. Принципи оцінки точності та справджуваності гідрологічних прогнозів

Гідрологічний прогноз, як вже зазначалося, має бути не тільки завчасним, але й достовірним. Якість прогнозу оцінюється шляхом порівняння передбаченого значення з фактично спостереженим. Основним показником якості є похибка, яка повинна перебувати в межах, встановлених нормативними документами гідрометеорологічних служб.

Об'єктивна оцінка якості гідрологічного прогнозу є обов'язковою передумовою для його впровадження в оперативну практику. Ефективність прогностичної методики визначається двома основними, але взаємозалежними критеріями: точністю та справджуваністю (успішністю). Саме ці показники дозволяють кількісно визначити надійність отриманих результатів та їхню придатність для використання в системі управління водними ресурсами та попередження надзвичайних ситуацій[15].

Оцінка точності гідрологічного прогнозу. Точність прогнозу відображає ступінь наближення прогнозованого значення ($\hat{Y}$) до фактично спостереженої величини (Y). Вона є кількісною характеристикою достовірності.

А. Кількісні критерії точності. Для оцінки точності використовується низка статистичних показників, що вимірюють відхилення прогнозу від реальних даних:

1. Абсолютна похибка (Δ) – різниця між фактичним і прогнозованим значеннями, що вимірюється в одиницях прогнозованої величини (наприклад, м³/с для витрат або сантиметрах для рівнів):

$$\Delta = Y - \hat{Y} \quad (2.1)$$

2. Середня абсолютна похибка – середнє арифметичне значення абсолютних похибок для серії прогнозів:

$$\text{сер. абс. похибка} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [Y_i - \widehat{Y}_i] \quad (2.2)$$

3. Середньоквадратична похибка або стандартне відхилення – показує середнє квадратичне відхилення, приділяючи більшу вагу великим помилкам:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \widehat{Y}_i)^2} \quad (2.3)$$

4. Допустима похибка прогнозу - це ймовірно відхилення значень прогнозованого елемента гідрологічного режиму стійкою і так далі від середнього:

$$\delta_{\text{доп}} = 0,67 \cdot \sigma. \quad (2.4)$$

5. Відносна похибка (δ): Виражається у відсотках і використовується для порівняння точності прогнозів різних за величиною гідрологічних характеристик. Як база для розрахунку може використовуватися фактичне значення або амплітуда коливання[15]:

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y_i - \widehat{Y}_i|}{A} \quad (2.5)$$

де А — амплітуда коливання прогнозованої величини.

Б. Критерії задовільності та допустима похибка. У практиці гідрометеорологічних служб прогноз вважається задовільним, якщо його абсолютна похибка не перевищує допустиму похибку ($\delta_{\text{доп}}$) встановлену для даного типу явища:

$$|\Delta| \leq \delta_{\text{доп}}. \quad (2.6)$$

Нормативні вимоги: зазвичай, для оперативного прогнозу максимальних витрат води, прогноз визнається задовільним, якщо його похибка не перевищує $\pm 15\%$ – $\pm 20\%$ від амплітуди коливання. Надмірна похибка (понад 20%) класифікує прогноз як незадовільний, що вимагає негайного коригування або заміни прогностичної методики [15,28].

Оцінка справджуваності (успішності) прогнозу. Справджуваність (успішність) прогнозу є статистичною мірою його надійності, що відображає ймовірність того, що прогнозоване явище дійсно настане в межах допустимої похибки.

А. Коефіцієнт справджуваності. Основним показником є коефіцієнт справджуваності (Р), який виражається у відсотках і показує частку вірних (задовільних) прогнозів від загальної кількості:

$$P = \frac{N_{\text{зад}}}{N} \cdot 100, \% , \quad (2.7)$$

де $N_{\text{зад}}$ — кількість задовільних прогнозів, N — загальна кількість прогнозів.

У переважній більшості випадків, методика вважається достовірною і рекомендованою до використання, якщо її справджуваність становить $P \geq 80\%$.

Б. Порівняння з інерційним прогнозом. Для об'єктивного підтвердження прогностичної ефективності методика має демонструвати кращі результати, ніж інерційний прогноз (або «прогноз по попередньому значенню»), який передбачає відсутність змін або зміни за середньою тенденцією.

Для цього використовується коефіцієнт ефективності (К) або індекс відповідності:

$$K = \frac{P_{\text{розр}} - P_{\text{ін}}}{100\% - P_{\text{ін}}} , \quad (2.8)$$

де $P_{\text{розр}}$ — справджуваність розробленої методики, $P_{\text{ін}}$ — справджуваність інерційного прогнозу.

Якщо $K > 0$, це означає, що розроблена методика має реальну прогностичну силу і є кращою, ніж простий випадковий прогноз, що підтверджує її наукову та практичну цінність.

Фактори, що впливають на якість оцінки. На точність і справджуваність прогнозів суттєво впливають:

- Якість вихідних даних: недостовірні або нерепрезентативні спостереження (рівні, опади, витрати) є головним джерелом похибок.
- Складність процесу: для гірських річок, де паводки розвиваються надзвичайно швидко, існує обернена залежність між завчасністю та точністю: збільшення завчасності часто призводить до зниження точності через накопичення похибок у вхідних даних[20].
- Регіональна специфіка: необхідність періодичного коригування розрахункових залежностей з урахуванням нових спостережень та антропогенних змін у басейні.

Таким чином, оцінка точності та справджуваності є не просто статистичною перевіркою, а постійним моніторингом прогностичної моделі. Її результати забезпечують наукову обґрунтованість рішень і дозволяють вдосконалювати моделі прогнозування для конкретних річкових басейнів, таких як досліджувана річка Прут.

2.3. Загальні етапи розробки методики прогнозування

Розробка дієвої та науково обґрунтованої методики гідрологічного прогнозування є багатоступеневим ітераційним процесом. Він поєднує теоретичний аналіз формування стоку з практичним використанням емпіричних залежностей та статистичних методів. Мета цього процесу - створити надійний інструмент, що забезпечує необхідну точність і завчасність передбачення гідрологічних характеристик.

Розробка прогностичної методики послідовно проходить чотири ключові етапи.

Етап 1. Підготовчий та аналітичний аналіз даних. Цей етап є фундаментом і охоплює збір, критичну оцінку та аналіз вихідної інформації, що визначає можливість застосування конкретних методів:

1. Формалізація завдання: чітке визначення об'єкта прогнозу (річки, гідрометричного створу), типу прогнозованого явища (наприклад, максимум дощового паводку) та необхідної завчасності (τ).

2. Збір та систематизація даних: збір багаторічних рядів (масивів) даних спостережень за гідрологічними параметрами (рівні, витрати) на прогнозованому та створах-предикторах (верхні пости), а також метеорологічних даних (опаді, температура та вологість повітря, снігозапаси).

3. Критичний аналіз та одноріднення: оцінка повноти, достовірності та часової однорідності зібраних рядів. Проводиться ідентифікація та корекція пропусків, помилок та можливого впливу антропогенних змін на режим стоку.

4. Аналіз закономірностей: вивчення просторово-часових зв'язків між елементами. Для транзитних прогнозів, як на р. Прут, ключовим є визначення часу руслового добігання (τ) та кількісна оцінка бічної приточності на ділянці.

Етап 2. Побудова та калібрування прогностичної моделі. На цьому етапі наукові передумови трансформуються в математичну форму:

1. Вибір прогностичного методу: вибір методу здійснюється з урахуванням особливостей басейну (густота мережі, рельєф, тип живлення) та вимог до завчасності. Для гірських річок і короткострокових прогнозів часто застосовуються спрощені методи (наприклад, метод відповідних рівнів/витрат), або гідродинамічні моделі.

2. Встановлення залежностей: на основі відібраної вибірки репрезентативних гідрологічних подій встановлюється функціональний зв'язок між предиктором (вихідним параметром) і предіктандом (прогнозованою величиною). Цей зв'язок може бути виражений як кореляційний або рівняння регресії (лінійної, нелінійної чи множинної).

3. Калібрування моделі: шляхом застосування статистичних методів (наприклад, методу найменших квадратів) визначаються оптимальні параметри

(коефіцієнти) моделі, які забезпечують найкраще наближення розрахункових значень до фактичних.

Етап 3. Верифікація та оцінка ефективності. Цей етап служить для підтвердження надійності моделі перед її практичним впровадженням:

1. Ретроспективна перевірка: здійснюється розрахунок серії прогнозів за розробленою моделлю з використанням історичних даних, які не використовувалися при калібруванні.

2. Кількісна оцінка точності: розраховуються ключові показники похибок, включаючи середню абсолютну похибку, середньоквадратичну похибку (σ) та відносну похибку (δ).

3. Оцінка справджуваності: визначається коефіцієнт справджуваності (P) шляхом порівняння розрахункових похибок із встановленою допустимою похибкою ($\delta_{\text{доп}}$). Методика вважається прийнятною, якщо її справджуваність задовольняє нормативи ($P \geq 80\%$).

4. Доведення прогностичної цінності: Обов'язковим є порівняння результатів з інерційним прогнозом за допомогою коефіцієнта ефективності (K) для підтвердження, що модель має реальну прогностичну перевагу.

Етап 4. Впровадження та оперативна експлуатація. Фінальний етап, що інтегрує науковий результат у практику:

1. Створення оперативної інструкції: розроблена методика формалізується у вигляді чіткої інструкції або алгоритму, що містить усі графіки, таблиці та послідовність розрахунків, необхідних для швидкого використання.

2. Технічне забезпечення: розробляються програмні модулі або електронні таблиці для автоматизації розрахунків, що є критичним для забезпечення необхідної завчасності гірських паводків.

3. Експлуатація та моніторинг: методика передається до оперативного підрозділу. Вона підлягає періодичній оцінці ефективності та оновленню, оскільки зміна кліматичних умов або антропогенних факторів може призвести до зниження точності початкових залежностей.

2.4. Основні засади прогнозів стоку води за методом відповідних рівнів

Метод відповідних рівнів (витрат) є одним із найбільш поширених спрощених методів короткострокового гідрологічного прогнозування. Його висока ефективність, особливо в умовах обмеженої завчасності та необхідності оперативних розрахунків (як на гірських річках), обумовлена простотою реалізації при збереженні достатньої достовірності.

Фізико-математична сутність методу. Основна засада методу ґрунтується на закономірностях руслового добігання паводкової хвилі та припущенні про існування відносно стабільного взаємозв'язку між фазами стоку у двох суміжних створах однієї річкової системи.

Принцип дії: вважається, що гідрологічні зміни (підйом або спад рівня/витрати) у верхньому створі (предикторі) відображаються у нижньому (прогнозованому) створі через певний проміжок часу, що дорівнює часу руслового добігання (τ) [4]. Таким чином, прогнозована витрата води у нижньому створі (Q_n) у майбутній момент часу ($\tau+t$) визначається спостереженою витратою у верхньому створі (Q_v) у поточний момент часу (t).

Цей зв'язок встановлюється шляхом статистичного кореляційного аналізу багаторічних синхронних рядів спостережень і може бути виражений у формі емпіричної залежності, наприклад, лінійної регресії:

$$Q_n = a + b Q_v \quad (2.9)$$

де Q_n — прогнозована витрата у нижньому створі; Q_v — спостережена витрата у верхньому створі; a , b — параметри регресійного рівняння, визначені статистично.

Ключові елементи та параметри прогнозу. Для успішного застосування методу відповідних рівнів необхідно точно визначити три ключові компоненти, які забезпечують його прогностичну силу:

1. *Час руслового добігання (τ)* - це критичний параметр, який безпосередньо визначає завчасність прогнозу.

- τ – це інтервал часу, за який паводкова хвиля проходить відстань на ділянці річки між створом-предиктором (чи створами-предикторами) і прогнозованим створом.

- τ визначають шляхом суміщення на графіках (гідрографах) характерних точок (піків, точок перегину) паводкових хвиль для кожного спостереженого епізоду.

- Важливо: на гірських річках, таких як р. Прут, τ не є постійною величиною, а залежить від величини витрати води (або рівня). Чим більша витрата, тим вища швидкість потоку і, відповідно, менший час добігання τ . Це вимагає використання не середнього, а диференційованого або скоригованого τ .

2. *Кореляційна залежність та її стабільність.* Залежність між відповідними рівнями/витратами повинна бути:

- Надійною: коефіцієнт кореляції між Q_n і Q_v повинен бути високим, що свідчить про домінування руслового добігання у формуванні стоку на ділянці.

- Стабільною: умови формування стоку між створами повинні бути відносно сталими. Зміни в руслі (наприклад, налив, ерозія) або гідротехнічні роботи можуть порушити цю залежність, вимагаючи її періодичного коригування.

3. *Облік бічної приточності.* Оскільки цей метод є спрощеним і не враховує розпластування паводкової хвилі, критично важливим є емпіричний облік припливу води з проміжного водозбору (бічної приточності).

- Бічна приточність (від опадів на ділянці або від великих приток) може суттєво змінювати форму паводку.

- Для її врахування у прогнозне рівняння можуть вводитися додаткові предиктори (корегуючі фактори), наприклад, сума опадів за час τ на проміжній ділянці, або дані про рівень води в нижньому створі в момент випуску прогнозу. Причому, проміжний приплив при розробці методики прогнозу враховують, якщо стік води притоки в основну річку складає 15% і більше.

Умови та переваги застосування. Метод відповідних рівнів є найбільш ефективним, якщо:

- Наявні синхронні дані: пости повинні мати довготривалі (10–15 років), синхронні ряди спостережень, що охоплюють репрезентативні паводкові епізоди.
- Режим стоку стабільний: гідрологічний режим між створами не піддається значному впливу антропогенного регулювання (наприклад, великих водосховищ).
- Пріоритет – оперативність: Метод відповідних рівнів ідеально підходить для короткострокових та екстрених прогнозів (завчасність від кількох годин до доби), що є характерним для річок Карпатського регіону (як й для р. Прут), де паводки розвиваються надзвичайно швидко.

Завдяки своїй простоті та високій оперативності, метод відповідних рівнів залишається надійним і незамінним інструментом для своєчасного попередження про паводкові небезпеки в умовах, де час на прийняття рішення є мінімальним[5,14].

Висновки до Розділу 2

Метод відповідних рівнів (витрат) ґрунтуються на закономірностях руху річкового потоку і є одним із методів короткострокового гідрологічного прогнозування, який має високу ефективність та одночасно простоту реалізації.

Огляд методичних основ прогнозування стоку води за методом відповідних рівнів в контексті виконання кваліфікаційної магістерської роботи «Прогнозування максимумів дощових паводків р. Прут – м. Чернівці за методом відповідних рівнів з урахуванням бічної приточності» показав, що головним завданням спрощеного варіанту цього методу щодо розробки методики прогнозування витрат води дощових паводків на ділянці річки з урахуванням бічної приточності – це встановлення двох прогнозних статистичних зв'язків, які мають наступний вигляд: 1) $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t} + Q_{пр,t})$ або $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t}, Q_{пр,t})$ та 2) $\tau = f(Q_{в,t})$.

За допомогою таких встановлених зв'язків можна вирішити основне завдання прогнозної методики:

а) передбачити витрату води у нижньому прогнозному створі $Q_{н,t+\tau}$ у час $(t+\tau)$ на ділянці річки в залежності від витрат води у верхніх створах (основної річки і притоки ($Q_{в,t}, Q_{пр,t}$) в час t ;

б) через який час τ від строку складання прогнозу така витрата води в нижньому створі $Q_{н,t+\tau}$ очікується.

Ключовим параметром цього прогнозу з урахуванням бічної приточності $Q_{пр,t}$ – це її облік. Загалом, в основну річку на досліджуваній ділянці може впадати багато приток, але враховувати при розробці методики прогнозу треба тільки ті, стік води яких в основну річку складає 15% і більше. Саме така бічна приточність може суттєво змінювати форму та формування максимуму паводку.

Також, оскільки розробка науково-обґрунтованої методики гідрологічного прогнозування - це створення надійного прикладного інструменту, що забезпечує необхідну точність і завчасність передбачення та, зважаючи на основні етапи розробки методики прогнозування, не треба забувати, що складовою та обов'язковою її частиною є оцінки точності прогнозів та їх справджуваності (успішності).

Отже, вибір та ґрунтовне вивчення методичної основи відіграє важливу роль у будь-яких наукових дослідженнях та пошуках, дозволяючи інтерпретувати дані, виявляти закономірності досліджуваних процесів та робити обґрунтовані висновки.

РОЗДІЛ 3. ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ РОЗРОБКИ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ СТОКУ ВОДИ ТА ЇХ АНАЛІЗ

3.1. Гідрологічна вивченість та гідрографічні характеристики річок в басейні р. Прут

Гідрологічна вивченість будь-якої річки та її басейну визначається сукупністю різноманітних відомостей (як якісних, так й кількісних), що отримані шляхом стаціонарних спостережень або експедиційних досліджень.

В рамках виконання магістерської роботи нас цікавить відомості про гідрологічні пости на річках в басейні р. Прут, на яких проводяться систематичні багаторічні спостереження за витратами води. Гідрологічна вивченість річки Прут та його приток оцінюється як висока, що підтверджується наявністю 13 діючих гідрологічних постів, розташування яких можна побачити на рис.3.1.

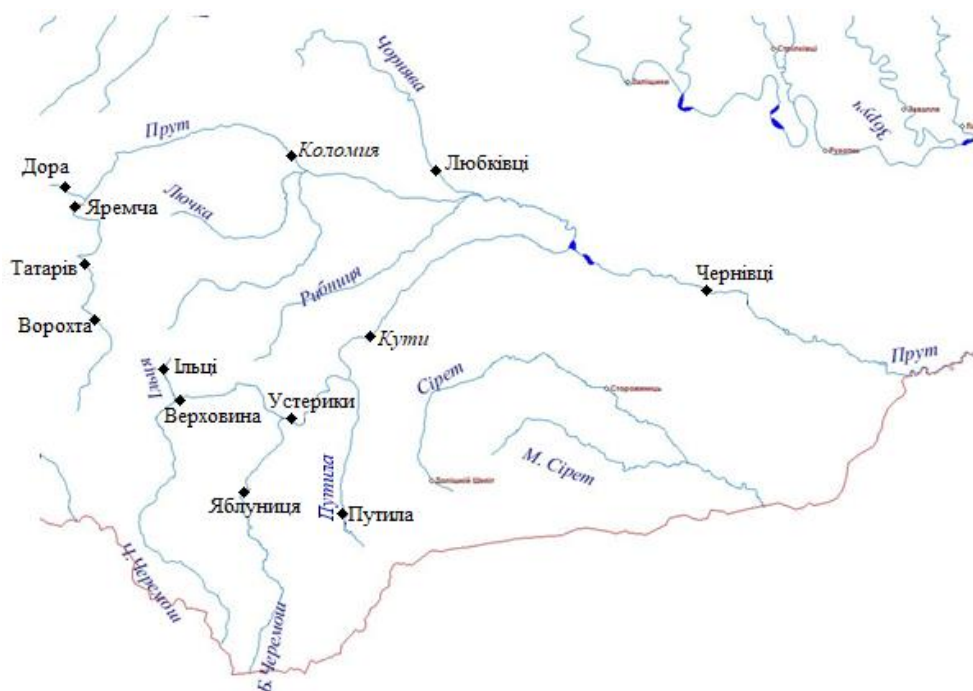


Рис. 3.1 Гідрологічні пости на річках у басейні р. Прут

На 11 гідрологічних постах ведуться спостереження як за рівнями, так і витратами води, а на 2 (р. Прут – м. Коломия та р. Черемош – с. Кути) лише за рівнями води[16].

В табл. 3.1 надана інформація про гідрологічні пости на р. Прут та на річках у басейні р. Прут, їх географічні координати, висота розташування над рівнем моря та періоди гідрометричних спостережень за витратами води. Як бачимо з цієї таблиці, пости розташовані на різних висотах, які коливаються від 165 м над рівнем моря (р. Прут - м. Чернівці) до 912 м (р. Прут – с. Ворохта), що свідчить про гірський характер рельєфу[19,21].

Таблиця 3.1.

Гідрологічні пости у басейні р. Прут в межах України, їх географічні координати, висота розташування над рівнем моря та періоди гідрометричних спостережень за витратами води

Річка – гідрологічний пост		Географічні координати гідрологічного поста		Висота гідрологічного поста над рівнем моря, м	Період гідрометричних спостережень за витратами води, роки
		Широта°,'	Довгота°,'		
Прут	Ворохта	48° 17'	24° 35'	912	1978-2025
	Татарів (Кременці)	48° 22'	24° 33'	644	1960-2025
	Яремча	48° 27'	24° 33'	507	1950-2025
	Коломия*	48° 31'	25° 01'	281	-
	Чернівці	48° 19'	25° 55'	165	1895-1911, 1920- 1935, 1945-2025
Кам'янка	Дора	48° 28'	24° 35'	491	1946-2025
Чорнява	Любківці	48° 29'	25° 22'	227	1985-2025
Черемош	Устерики	48° 07'	25° 01'	479	1958-2025
	Кути*	48° 15'	25° 11'	333	-
Білий Черемош	Яблуниця	48° 02'	24° 56'	602	1958-2025
Чорний Черемош	Верховина	48° 10'	24° 52'	601	1958-2025
Ільця	Ільці	48° 10'	24° 45'	690	1960-2025
Путила	Путила	48° 00'	25° 05'	622	1963-2025

Примітка. * - на гідрологічних постах вимірюються лише рівні води.

Як бачимо з табл.3.1, спостереження за стоком води на гідрологічних постах в басейні р. Прут, переважно почали проводити в 1950-1960 роках. Найдовший період спостережень за витратами води, має пост Чернівці на р. Прут – з 1895 по 2025 р. А на гідрологічних постах р. Прут – с. Ворохта та р. Чорнява – с. Любківці спостереження почалися відповідно у 1978 р. та 1985 р.

В табл. 3.2 представлені гідрографічні характеристики річок та їх водозборів в басейні р. Прут в створах гідрологічних постів.

Таблиця 3.2.

**Гідрографічні характеристики річок та їх водозборів
в басейні р. Прут в межах України**

Річка – гідрологічний пост	Відстань, км		Похил річки, ‰		Характеристики водозбору				
	від гирла	від витoku	середній	середній зв'яз	Площа, км ²	Середня висота, м абс.	Середній похил, ‰	Заболоченість, %	Залісеність, %
Прут - Ворохта	955	13	-	-	48,3	-	-	-	-
Прут - Кременці	932	36	27,5	11,9	366	1000	285	0	85
Прут - Яремча	914	54	21,8	9,6	597	990	281	0	87
Прут - Коломия	867	101	-	-	1130	-	-	-	-
Прут - Чернівці	772	196	7,8	3,6	6890	450	-	<1	42
Кам'янка – Дора	0,8	6,2	111	66,4	18,1	870	446	0	76
Чорнява - Любківці	4,5	-	-	-	333	-	-	-	-
Черемош - Устеріки	79	1,0	9,8	9,0	1500	1100	-	0	51
Черемош - Кути	47	33	-	-	2150	-	-	-	-
Білий Черемош - Яблуниця	14	37	19,0	10,2	552	1200	334	0	56
Чорний Черемош -Верховина	19	67	16,7	11,4	657	1200	321	0	57
Ільця - Ільці	4,2	13	40,2	30,5	86,1	1100	303	0	52
Путила - Путила	19	23	24,2	15,8	181	960	325	0	50

Гідрографічні характеристики дуже важливі для аналізу врахування приточності стоку води р. Прут в межах України, що проведено в наступному підрозділі 3.2[19].

3.2. Оцінка приточності р. Прут в межах України

Середня густота річкової мережі в басейні р. Прут в межах України досить висока, біля $1,8 \text{ км/км}^2$, що обумовлюється характером рельєфу, геологічною будовою, кліматичними умовами та ін. Якщо говорити про найбільші величини густоти річкової мережі в басейні р. Прут, то в басейні р. Білий Черемош цей показник досягає $2,7 \text{ км/км}^2$ і він є найбільшим в Україні. Така густота річкової мережі свідчить про наявність в басейні р. Прут великої кількості річок і річечок, струмків і струмочків. Очевидно, що для всіх їх неможливо зробити кількісні оцінки щодо бічної приточності, оскільки на переважній більшості з них немає спостережень за стоком води. Тому бічна приточність р. Прут оцінена лише для приток, на яких ведуться спостереження за витратами води.

Треба зауважити, що для врахування чи не врахування бічної приточності у розробці методики прогнозування за методом відповідних рівнів, необхідно спиратися на те, що приточність враховують тоді, коли стік води притоки в основну річку складає 15% і більше[15].

Аналізуючи рис. 3.1, бачимо, що за даними спостережень можна оцінити стік води наступних бічних приток: р. Кам'янка – с. Дора, р. Чорнява – с. Любківці, р. Черемош – с. Устеріки, р. Путила - смт. Путила[16].

Для оцінки бічної приточності на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці, було сформовано ряди середньорічних витрат води від початку спостережень до 2020 р. на вищезгаданих постах, а також р. Прут - смт. Яремче (верхній створ) та р. Прут - м. Чернівці (ніжній прогнозний створ). Приймавши середньорічний стік води р. Прут - м. Чернівці (нижній створ) за 100 %, оцінки приточності в % проведено за пропорцією. Розрахунки щодо бічної приточності за багаторічний період на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці представлено в Додатку А, табл. А.1. На основі цих розрахунків визначено середньостатистичні показники частки стоку води бічної приточності на досліджуваній ділянці р. Прут (табл. 3.3).

Таблиця 3.3.

Середньостатистичні показники частки стоку води бічної приточності на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці

Річка – гідрологічний пост	Частка стоку води бічної приточності від стоку р. Прут-Чернівці (нижній прогнозний створ), %
р. Прут - м. Чернівці	100
р. Кам'янка – с. Дора	0,6
р. Чорнява – с. Любківці	2,5
р. Черемош – с. Устеріки	41,6
р. Путила - смт. Путила	3,5
р. Прут - смт. Яремче (верхній створ)	18,6

Аналізуючи табл. 3.3, найбільша частка стоку води бічної приточності належить р. Черемош. Середній відсоток стоку води за даними гідрологічного поста р. Черемош – с. Устеріки складає 41,6 % (в багаторічному розрізі приточність цієї річки змінюється від 27,9 % (1980 р.) до 59,6 % (1990 р.)), тобто, саме ця притока р. Прут значно впливає на формування як річного стоку, так й стоку води дощових паводків та їх максимумів (паводкової хвилі)[19,22]. Також важливим фактором є критичний аналіз притоку на даній ділянці. При переміщенні від Устеріки до Чернівців площа водозбору зростає з 1500 км² до 6890 км². Таке збільшення площі у понад 4,6 разів (приріст 5390 км²) беззаперечно доводить, що проміжна (бічна) приточність відіграє вирішальну роль у формуванні максимального паводкового стоку в нижньому створі.

Всією іншою бічною приточністю, частка стоку води яких складає від 0,6 % до 3,5 % (табл. 3.3) у співвідношенні зі стоком р. Прут- м.Чернівці (нижній прогнозний створ), можна знехтувати при розробці методики прогнозування.

Середньостатистичний показник частки стоку води верхнього створу р. Прут - смт. Яремче від стоку р. Прут - м. Чернівці складає 18,6 % і в багаторічному розрізі змінюється від 14,3 % (1980 р.) до 26,8 % (1994 р.).

На всі інші бічні притоки на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці та на ділянці р. Черемош від Верховини до впадіння в р. Прут, яких достатньо багато й на яких не проводяться стаціонарні спостереження, припадає десь 33%.

Отже, оцінка бічної приточності стоку води до поста р. Прут-Чернівці (нижній прогнозний створ) показала, що прогнозування максимумів дощових паводків за методом відповідних рівнів на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці слід проводити з урахуванням притоки – р. Черемош (за даними гідрологічного поста р. Черемош – с. Устеріки).

Використовуючи показники гідрографічних характеристик річок та їх водозборів в басейні р. Прут в створах гідрологічних постів (табл. 3.2), проаналізовано чи одночасне або неодночасне добігання води на двох досліджуваних ділянках р. Прут та її притоки:

- 1) на ділянці р. Прут між створами Яремча - Чернівці і
- 2) на ділянці р. Черемош та р. Прут між створами Устеріки – Чернівці.

Відстань від Яремче до Чернівців 142 км, відстань від Устеріки до впадіння р. Черемош в р. Прут – 79 км (табл. 3.2), а щоб визначити відстань від впадіння р. Черемош в р. Прут до Чернівців були взяті топографічні карти, за якими ця відстань склала майже 31 км. Тобто, відстань між створами Устеріки – Чернівці складає приблизно 110 км. Аналізуючи середні висоти басейнів, можна стверджувати, що в басейні р. Черемош мають місце більші похили, ніж в басейні р. Прут. Згадуючи формулу Шезі, відомо, що середня швидкість потоку прямо пропорційна похилу. Тобто, виходячи з вище поданого, річкова вода між згаданими парами створів з великою часткою ймовірності добігає майже одночасно.

А це дає підстави спочатку спробувати побудувати прогнозну залежність відповідних витрат води нижнього створу (р. Прут - м. Чернівці) $Q_{н,t+\tau}$, де умовний верхній створ являє собою суму витрат води [верхнього створу основної річки (р. Прут - смт. Яремче) $Q_{в,t}$ + її притоки (р. Черемош – с. Устеріки) $Q_{пр,t}$] :

$$Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t} + Q_{пр,t}). \quad (3.1)$$

Але, якщо розкид точок на графіку зв'язку (3.1) буде великий, можна спробувати стік води притоки $Q_{пр,t}$ врахувати окремо:

$$Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t}, Q_{пр,t}). \quad (3.2)$$

Тобто, з введенням його в залежність (3.2), як третьої змінної

3.3. Суміщені графіки коливання витрат води в створах р. Прут-Яремче, р. Черемош-Устерики, р. Прут-Чернівці та формування вихідних даних для розробки методики прогнозу

Побудова суміщеного графіка ходу рівнів або витрат води в створах річок досліджуваної ділянки – це один з способів визначення відповідних рівнів або витрат води на ділянці (чи ділянках). Відповідними є характерні точки на цих графіках – це можуть бути максимуми, мінімуми, точки згину та, навіть, тривалого стояння приблизно однакових витрат води, які спостерігаються на верхньому (чи верхніх) та нижньому створах через деякий проміжок часу.

Для побудови суміщених графіків ходу витрат води були використані витрати води за добові проміжки часу ($\Delta t = 1$ доба) теплої пори року, коли формуються дощові паводки, на таких гідрологічних постах:

- р. Прут - смт. Яремче (верхній створ основної річки);
- р. Черемош – с. Устеріки (верхній створ бічної приточності);
- р. Прут - м. Чернівці (нижній прогностний створ основної річки).

Для побудови таких графіків обрано окремі роки багаторічного періоду: 1969, 1972, 1980, 1998, 2008 рр. Як приклад, на рисунку 3.2, подано перебіг витрат води за теплий період 1972 р.

В додатку Б (рис. Б.1-Б.4) зображено суміщені графіки середньодобових витрат води на постах р. Прут - смт. Яремче, Черемош – с. Устеріки, р. Прут - м. Чернівці за паводкові періоди 1969, 1980, 1998, 2008 рр.

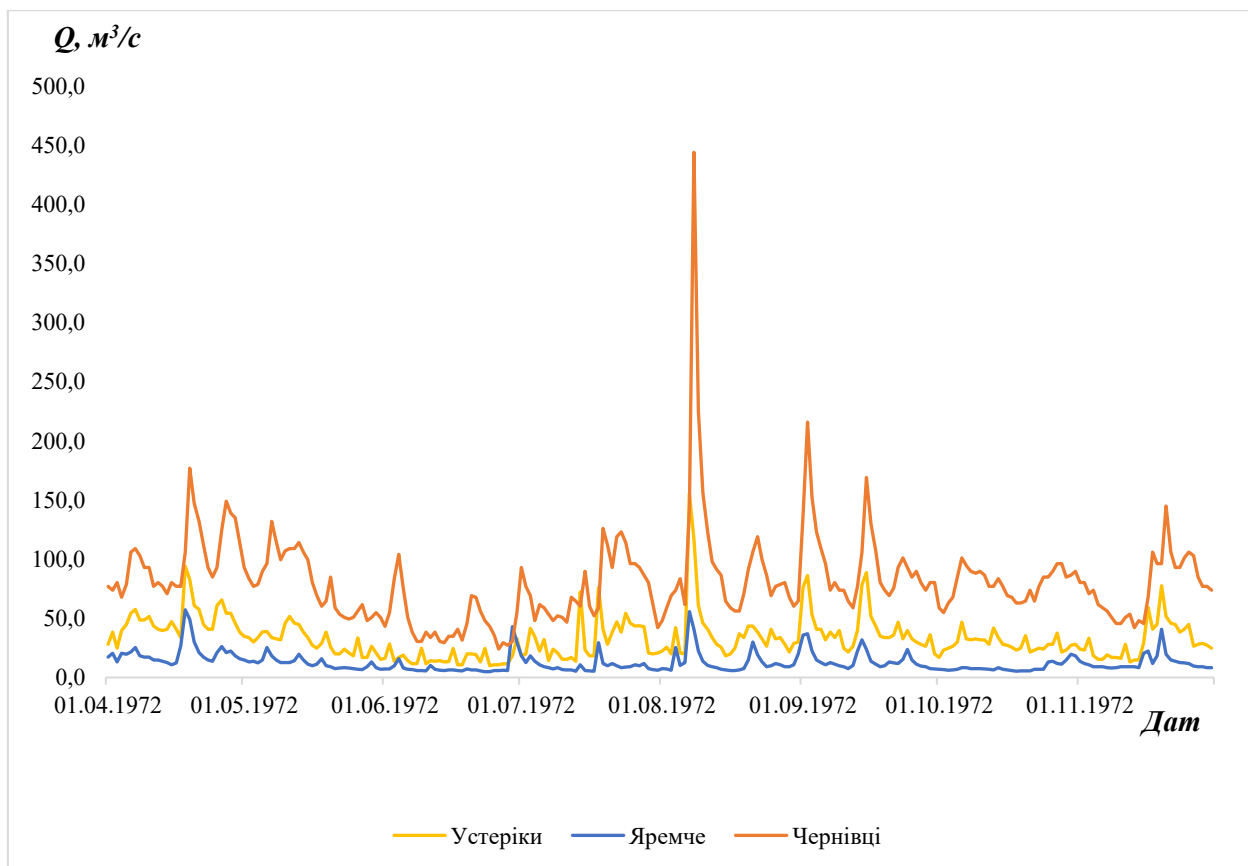


Рис 3.2 Суміщені коливання витрат води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період 1972 р.

Побудова суміщених графіків коливання витрат води на досліджуваних постах у басейні р. Прут дозволяє прослідкувати та проаналізувати переміщення паводкових хвиль на ділянці основної річки (р. Прут між створами Яремча → Чернівці) та на ділянці бічної приточності (р. Черемош - р. Прут між створами Устеріки → Чернівці) і визначити тривалість проходження, кількість та термін настання піків паводкових хвиль на постах.

За суміщеними графіками коливання витрат води виділено характерні точки кількісних величин витрат води, які відбувалися синхронно і є відповідними. Приклад такої процедури виділення характерних відповідних точок показано в табл. 3.4, в якій подано відповідні витрати води в досліджуваних створах (Яремче, Устеріки, Чернівці) та час їх настання в кожному створі.

Таблиця 3.4

**Відповідні витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут
за теплий період та час їх настання, 1972 р.**

№ з/п	Р.Прут-Яремче (верхній пост)		Р.Черемош-Устеріки (притока)		Р.Прут-Чернівці (нижній пост)	
	Qв. (Яремче), м3/с	Дата	Qв. (Устеріки), м3/с	Дата	Qн. (Чернівці), м3/с	Дата
1	17,1	01.04.1972	28	01.04.1972	73,9	02.04.1972
2	13,2	03.04.1972	24,8	03.04.1972	67,7	04.04.1972
3	25,4	07.04.1972	57,5	07.04.1972	109	07.04.1972
4	57,2	18.04.1972	94,2	18.04.1972	177	19.07.1972
5	13,8	24.04.1972	40,8	23.04.1972	85	24.07.1972
6	26,2	26.04.1972	65,7	26.04.1972	149	27.04.1972
7	12,2	04.05.1972	29,8	03.05.1972	77	03.05.1972
8	25,4	06.05.1972	38,8	06.05.1972	132	07.05.1972
9	12,7	09.05.1972	31,7	09.05.1972	99,4	09.05.1972
10	19,7	13.05.1972	51,5	11.05.1972	114	13.05.1972
11	9,92	16.05.1972	24,8	17.05.1972	60,2	18.05.1972
12	15,8	18.05.1972	38,4	19.05.1975	85	20.05.1972
13	6,56	27.05.1972	16,8	27.05.1972	48	28.05.1972
14	13,2	29.05.1972	26,4	29.05.1972	54,8	30.05.1972
15	6,8	31.05.1972	15,4	31.05.1972	43,2	01.06.1972
16	15,8	04.06.1972	28,2	02.06.1972	104	04.06.1972
17	5,84	08.06.1972	11,5	07.06.1972	30,5	08.06.1972
18	10,3	11.06.1972	14,2	11.06.1972	38,4	12.06.1972
19	6,08	13.06.1972	13,7	12.06.1972	29,4	14.06.1972
20	6,32	15.06.1972	24,6	16.06.1972	40,8	17.06.1972
21	5,6	18.06.1972	10,8	17.06.1972	31,6	18.06.1972
22	7,19	19.06.1972	20	19.06.1972	69,2	20.06.1972
23	5,84	25.06.1972	10,8	25.06.1972	24	26.06.1972
24	42,8	29.06.1972	32,9	30.06.1972	93	01.07.1972
25	12,7	02.07.1972	18,4	01.07.1972	48	04.07.1972
26	18,4	03.07.1972	41,6	03.07.1972	61,5	05.07.1972
27	7,19	08.07.1972	14,2	07.07.1972	48	08.07.1972
28	8,36	09.07.1972	23,9	08.07.1972	52	09.07.1972
29	6,32	11.07.1972	15,4	10.07.1972	46,8	11.07.1972
30	5,36	13.07.1972	13,7	13.07.1972	60,2	14.07.1972
31	10,7	14.07.1972	72,5	14.07.1972	89,8	15.07.1972
32	5,36	17.07.1972	18,4	16.07.1972	52	17.07.1972
33	29,4	18.07.1972	76	18.07.1972	126	19.07.1972
34	9,92	20.07.1972	38,4	21.07.1972	93	21.07.1972
35	11,7	21.07.1972	47	22.07.1972	123	23.07.1972
36	6,08	31.07.1972	20	30.07.1972	42	31.07.1972

37	25,4	04.08.1972	42,2	04.08.1972	83,4	05.08.1972
38	55,6	07.08.1972	155	07.08.1972	444	08.08.1972
39	5,84	16.08.1972	20	16.08.1972	56,1	17.08.1972
40	30	21.08.1972	43,4	20.08.1972	119	22.08.1972
41	9,14	24.08.1972	26,4	24.08.1972	69,2	25.08.1972
42	11,7	26.08.1972	33,7	27.08.1972	80,2	28.08.1972
43	9,14	28.08.1972	21,6	29.08.1972	60,2	30.08.1972
44	37	02.09.1972	86,1	02.09.1972	216	02.09.1972
45	12,7	07.09.1972	38,4	07.09.1972	80,2	08.09.1972
46	7,58	11.09.1972	21,6	11.09.1972	58,8	12.09.1972
47	31,7	14.09.1972	88,7	15.09.1972	169	15.09.1972
48	9,14	18.09.1972	34,8	18.09.1972	69,2	20.09.1972
49	13,2	20.09.1972	46,6	22.09.1972	101	23.09.1972
50	23,8	24.09.1972	39,6	24.09.1972	89,8	26.09.1972
51	8,36	06.10.1972	46,6	06.10.1972	101	06.10.1972
52	8,36	14.10.1972	41,8	13.10.1972	83,4	14.10.1972
53	5,36	18.10.1972	23,2	18.10.1972	63	18.10.1972
54	13,8	26.10.1972	37,4	27.10.1972	96,2	27.10.1972
55	11,2	28.10.1972	21,6	28.10.1972	85	29.10.1972
56	19,7	30.10.1972	28	31.10.1972	89,8	31.10.1972
57	22,3	16.11.1972	59,1	16.11.1972	106	17.11.1972
58	11,7	17.11.1972	40,8	17.11.1972	96,2	18.11.1972
59	40,8	19.11.1972	77,6	19.11.1972	145	20.11.1972
60	8,36	30.11.1972	24,8	30.11.1972	73,9	30.11.1972

Вихідні дані за інші роки подано у таблицях Додатку Б (табл. Б.1-Б.4).

За суміщеними графіками помітно, що проходження максимальних витрат води у зазначених парах верхніх та нижніх створах відбувається синхронно та майже в одні й ті ж строки.

3.4. Вихідні дані для розрахунку часу руслового добігання

Другим основним ключовим параметром розробки методики прогнозування є визначення часу руслового добігання на досліджуваних ділянках. Проаналізувавши визначені відповідні витрати води та час їх настання (табл. 3.4, Б.1-Б.4), можна зробити висновок, що руслове добігання паводкових хвиль, особливо з високими витратами води дощових паводків, на

досліджуваних ділянках основної річки та бічної приточності відбувається дуже швидко.

Загалом, класичним підходом визначення часу руслового добігання на досліджуваних ділянках у розробках методики прогнозування за відповідними рівнями або витратами води є побудова графіка залежності часу добігання води τ на досліджуваній ділянці річки від витрат води верхнього створу (чи верхніх створів). Оскільки, в нашому випадку, час руслового добігання на ділянках коливається у межах від декількох годин для високих паводків до одної доби для середніх і невеликих, то побудова таких залежностей добового добігання втрачає логічного змісту.

Щоб розроблювана методика прогнозу була ефективною і відповідала всім вимогам прогнозування, краще мати графік руслового добігання на досліджуваних ділянках в годинах. Тому був застосований інший підхід, який дав можливість виділити певні діапазони витрат води, які добігають по досліджуваним ділянкам до нижнього створу за певну кількість годин. Для цього були використано дані з гідрологічних щорічників розділу «Виміряні витрати води», де є інформація про витрати води та відповідно до них виміряні швидкості течії в створах.

Оскільки, як було зазначено в підрозділі 3.2, переміщення паводкових хвиль на ділянці основної річки (р. Прут між створами Яремча → Чернівці) та на ділянці бічної приточності (р. Черемош - р. Прут між створами Устеріки → Чернівці) з великою часткою ймовірності добігає майже одночасно, вирішено провести розрахунок часу руслового добігання в годинах лише на ділянці р. Прут між створами Яремче → Чернівці.

Для цього побудовано графіки зв'язку окремо за даними по посту Яремче та посту Чернівці між витратами води у вищезазначених створах та відповідними їм швидкостями течії (рис.3.3 та 3.4).

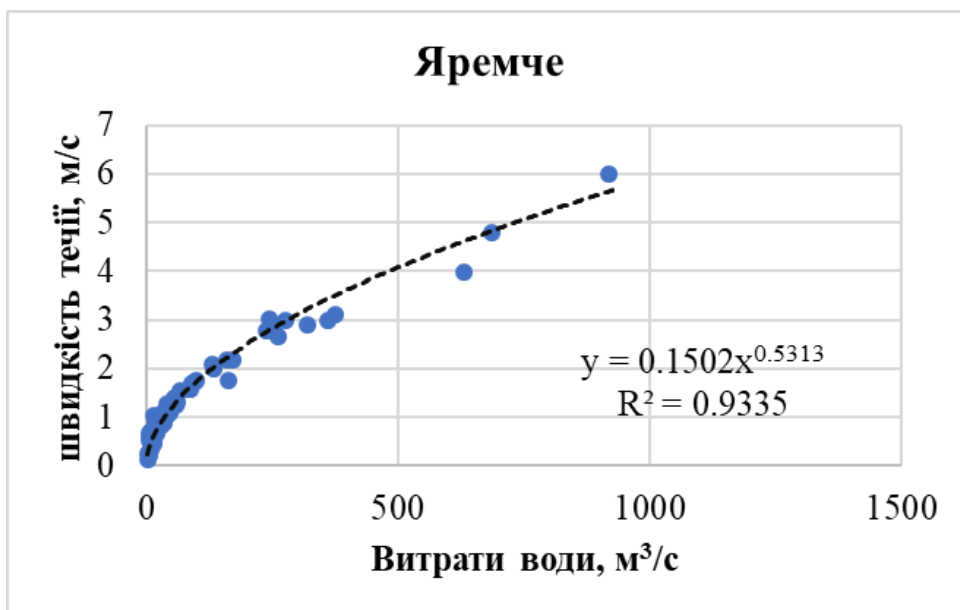


Рис. 3.3 Графік зв'язку між виміряними витратами води та відповідними виміряними швидкостями течії в створі р. Прут - Яремче

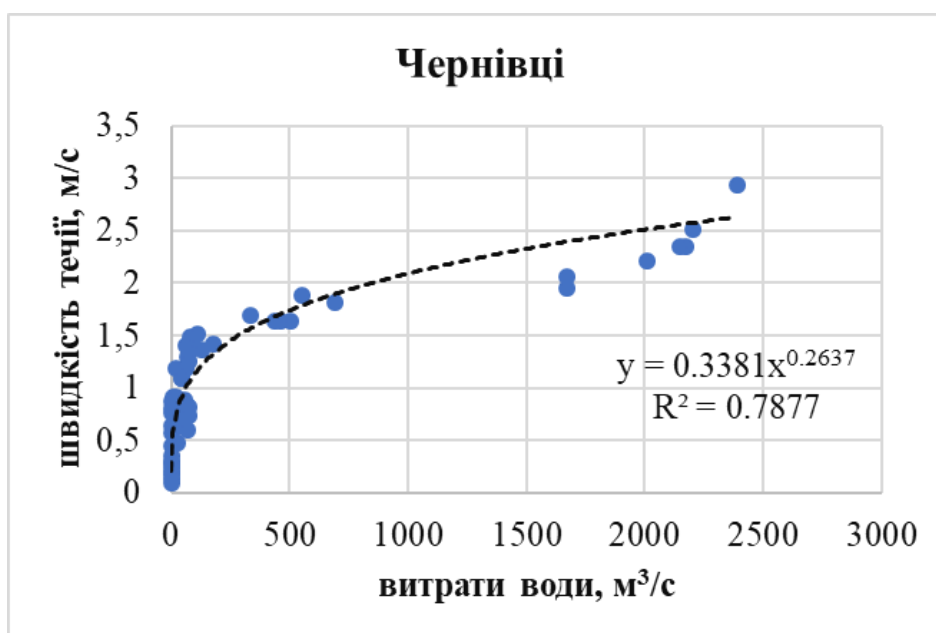


Рис. 3.4 Графік зв'язку між виміряними витратами води та відповідними виміряними швидкостями течії в створі р. Прут - Чернівці

Графіки зв'язку між виміряними витратами води та відповідними виміряними швидкостями течії в створах р. Прут - Яремче і р. Прут - Чернівці (рис. 3.3 і 3.4) слугують вихідними даними для побудови в подальшому

прогностичної залежності часу руслового добігання $\tau = f(Q_{в.т})$. від верхнього створу Яремче до нижнього створу Чернівці з врахуванням бічної приточності.

Висновки до Розділу 3

Комплексний аналіз гідрологічної вивченості річок в басейні р. Прут, їх гідрографічних показників та систематизації відповідної гідрометричної інформації дозволив сформулювати науково обґрунтований емпіричний базис для подальшої розробки прогностичної методики.

Гідрологічна вивченість р. Прут та його приток оцінюється як висока - 13 діючих гідрологічних постів. На 11 з них вимірюються рівні і витрати, а на 2 – лише рівні води. Спостереження за стоком води на постах переважно почали проводити з 1950-1960 років.

Оцінка бічної приточності стоку води до поста р. Прут-Чернівці (нижній прогностичний створ) показала, що прогнозування максимумів дощових паводків за методом відповідних рівнів на ділянці р. Прут (Яремча - Чернівці) слід проводити з урахуванням притоки – р. Черемош, оскільки частка стоку води бічної приточності р. Черемош складає 41,6 % (за даними гідрологічного поста р. Черемош – с. Устеріки). Всебічний аналіз гідрографічних характеристик (відстаней від гирла та від витоків, середніх висот і похилів, площ басейнів тощо) показав – річкова вода між створами Яремче → Чернівці та Устеріки → Чернівці з великою часткою ймовірності добігає до замикального створу майже одночасно.

Для формування вихідних даних та отримання в подальшому прогностичної залежності відповідних витрат води $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в.т} + Q_{пр.т})$ або $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в.т}, Q_{пр.т})$ побудовано суміщені графіки коливання витрат води в створах р. Прут- Яремче, р. Черемош-Устеріки, р. Прут-Чернівці та сформовано таблиці відповідних витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий

період 1969, 1972, 1980, 1998, 2008 рр. та час їх настання. Всього вибрано 210 значень відповідних витрат води.

Для формування вихідних даних та отримання в подальшому прогнозованої залежності $\tau = f(Q_{v.t})$ побудовано графіки зв'язку між виміряними витратами води та відповідними виміряними швидкостями течії в створах р. Прут - Яремче і р. Прут - Чернівці. Для цього опрацьовані дані з гідрологічних щорічників розділ «Виміряні витрати води».

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУ МАКСИМУМІВ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ Р. ПРУТ – М. ЧЕРНІВЦІ ЗА МЕТОДОМ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ З УРАХУВАННЯМ БІЧНОЇ ПРИТОЧНОСТІ

4.1. Прогнозні залежності відповідних витрат води

За допомогою підготовлених вихідних даних (210 значень відповідних витрат води, табл. 3.4, табл. Б.1-Б.4 Додатку Б) була встановлена прогнозна залежність між відповідними витратами води нижнього створу $Q_{н(ч),t+\tau}$ (р. Прут - Чернівці) та витратами води верхніх створів, які являють собою суму витрат води верхнього створу основної річки $Q_{в(я),t}$ (р. Прут - Яремче) та її бічної притоки $Q_{пр(у),t}$ (р. Черемош - Устеріки). Аналіз побудованої залежності $Q_{н(ч),t+\tau} = f(Q_{в(я),t} + Q_{пр(у),t})$ показав, що вона погано відображає верхню частину зв'язку, тобто прогноз витрат води високих дощових паводків. Для врахування цього на графік були нанесені додатково 30 значень відповідних витрат води строкових максимальних витрат окремих середніх та високих дощових паводків за багаторічний період (Додаток В, табл. В.1). Врахування максимальних строкових витрат води був важливим, щоб була можливість як скоригувати прогнозний зв'язок, так і, надалі, прогнозувати високі паводки. Адже, для прикладу, на початку червня 1969 р. в басейні р. Прут сформувався найбільший за період спостережень високий дощовий паводок з відповідними досить високими строковими витратами води: верхній створ основної річки (р. Прут - смт. Яремче) 1530 м³/с, бічна притока (р. Черемош – с. Устеріки) 1060 м³/с, нижній прогнозний створ основної річки (р. Прут - м. Чернівці) 5200 м³/с.

Таким чином, для побудови остаточного прогнозного зв'язку $Q_{н(ч),t+\tau} = f(Q_{в(я),t} + Q_{пр(у),t})$ було використано 240 значень відповідних витрат води в

досліджуваних створах – Яремче, Устеріки, Чернівці. Цю залежність представлено на рис. 4.1.

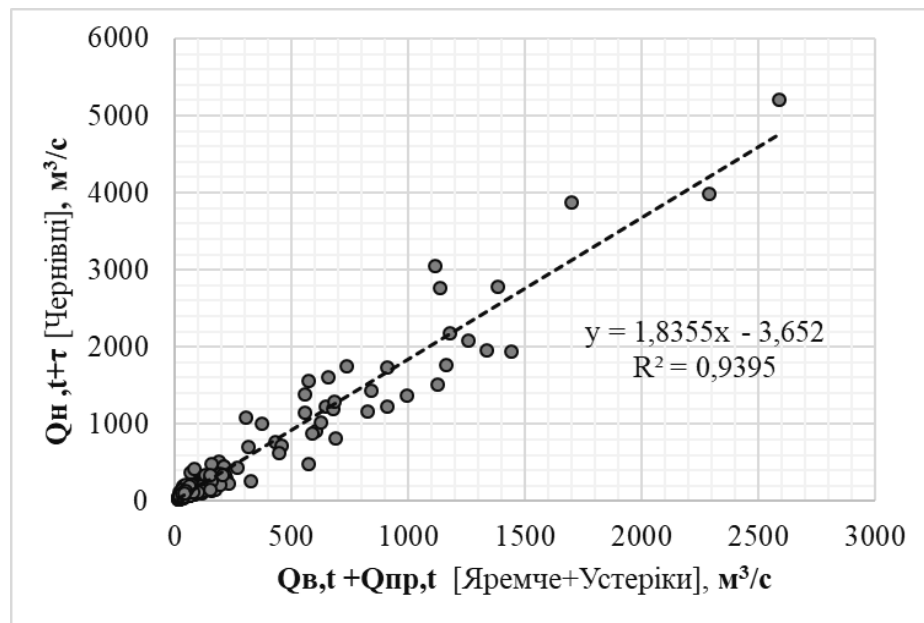


Рис 4.1 Прогнозна залежність відповідних витрат води на ділянці р. Прут (Яремча–Чернівці) з врахуванням бічної приточності (Черемош- Устеріки)

$$Q_{n, (ч), (t+\tau)} = f[Q_{в (Я), t} + Q_{пр (У), t}]$$

Аналізуючи апроксимацію ($R = 0,9395$) отриманої прогнозної залежності та відповідний їй коефіцієнт кореляції $r = 0,97$, можна констатувати, що між відповідними витратами води ($Q_{в(Я),t} + Q_{пр(У),t}$) та $Q_{н(ч),t+\tau}$ існує досить високий зв'язок. (рис.4.1). А це свідчить про те, що отриманий зв'язок відповідних витрат води може використовуватися для прогнозування.

При цьому рівняння регресії, яке й буде прогнозним, можна представити наступним чином:

$$Q_{н(ч),t+\tau} = 1,8355 \cdot (Q_{в(Я),t} + Q_{пр(У),t}) + 3,652, \quad (4.1)$$

де $Q_{н(ч),t+\tau}$ – прогнозована витрата води в створі р. Прут - Чернівці в час $(t+\tau)$, $(Q_{в(Я),t} + Q_{пр(У),t})$ – сума витрат води в створах постів Яремча та Устеріки в час t .

4.2. Прогнозна залежність часу руслового добігання

Оскільки в РОЗДІЛІ 3 представленої магістерської роботи було проведено аналіз та зроблено висновок, що переміщення паводкових хвиль на ділянці основної річки – р. Прут - Яремче → Чернівці та на ділянці бічної приточності р. Черемош – р. Прут - Устеріки → Чернівці з великою часткою ймовірності добігає майже одночасно, то час руслового добігання τ було визначено лише для ділянки основної річки – р. Прут - Яремче → Чернівці, який надалі будемо вважати, як час руслового добігання між верхніми створами (р. Прут – Яремче і р. Черемош – Устеріки) та нижнім прогностичним (р. Прут – Чернівці)[21].

Для цього, аналізуючи залежності між витратами води та відповідними швидкостями течії (рис. 3.3 і 3.4), були визначені спочатку середні швидкості течії води на ділянці основної річки Прут між створами Яремче → Чернівці, як середнє арифметичне зі швидкостей на верхньому та нижньому створах ділянки в м/с, у подальшому з її перерахунком у км/год.

Далі, залежно від величин витрат води та знаючи відстань між верхнім та нижнім створами основної річки (між створами Яремче → Чернівці відстань складає 142 км), визначено час руслового добігання певних діапазонів витрат води в годинах від верхнього створу основної ділянки (Яремче) до нижнього прогностичного створу (Чернівці)[21].

Весь описаний вище порядок обчислення часу руслового добігання в годинах між створами Яремче → Чернівці надано в табл. 4.1.

Розрахунки часу руслового добігання в годинах між створами Яремче → Чернівці, що подано в табл. 4.1, слугують вихідними даними для побудови прогностичної залежності часу руслового добігання $\tau = f(Q_{в,Я(t)})$ від верхнього створу основної річки (Яремче) до нижнього прогностичного створу (Чернівці) з опосередкованим врахуванням бічної приточності.

Прогностичний зв'язок часу руслового добігання $\tau = f(Q_{в,Я(t)})$ подано на рис. 4.2[21].

Таблиця 4.1

Розрахунок часу руслового добігання в годинах на ділянці р. Прут від Яремче до Чернівці

Створ поста р.Прут - Яремче		Створ поста р.Прут - Чернівці		Середня швидкість течії між Яремче → Чернівці		Середній час добігання τ на ділянці р.Прут Яремче – Чернівці, години
Діапазон витрат води, м ³ /с	Швидкість течії (за зв'язком рис. 3.3), м/с	Витрата води р. Прут- Чернівці відповідно р.Прут - Яремче	Швидкість течії (за зв'язком рис. 3.4), м/с			
50	1,20	252	0,95	1,07	3,87	36,7
100	1,73	435	1,14	1,44	5,17	27,5
150	2,15	617	1,27	1,71	6,15	23,1
200	2,51	800	1,37	1,94	6,97	20,4
300	3,11	1165	1,52	2,32	8,34	17,0
400	3,62	1530	1,64	2,63	9,48	15,0
450	3,86	1712	1,69	2,78	9,99	14,2
500	4,08	1895	1,74	2,91	10,48	13,6
600	4,49	2260	1,83	3,16	11,38	12,5
700	4,88	2625	1,90	3,39	12,21	11,6
800	5,24	2990	1,97	3,60	12,97	10,9
900	5,58	3355	2,03	3,80	13,69	10,4
1000	5,90	3720	2,09	3,99	14,38	9,9
1100	6,20	4085	2,14	4,17	15,02	9,5
1200	6,50	4451	2,19	4,34	15,64	9,1
1300	6,78	4816	2,24	4,51	16,23	8,7
1400	7,05	5181	2,28	4,67	16,80	8,5
1500	7,31	5546	2,33	4,82	17,35	8,2

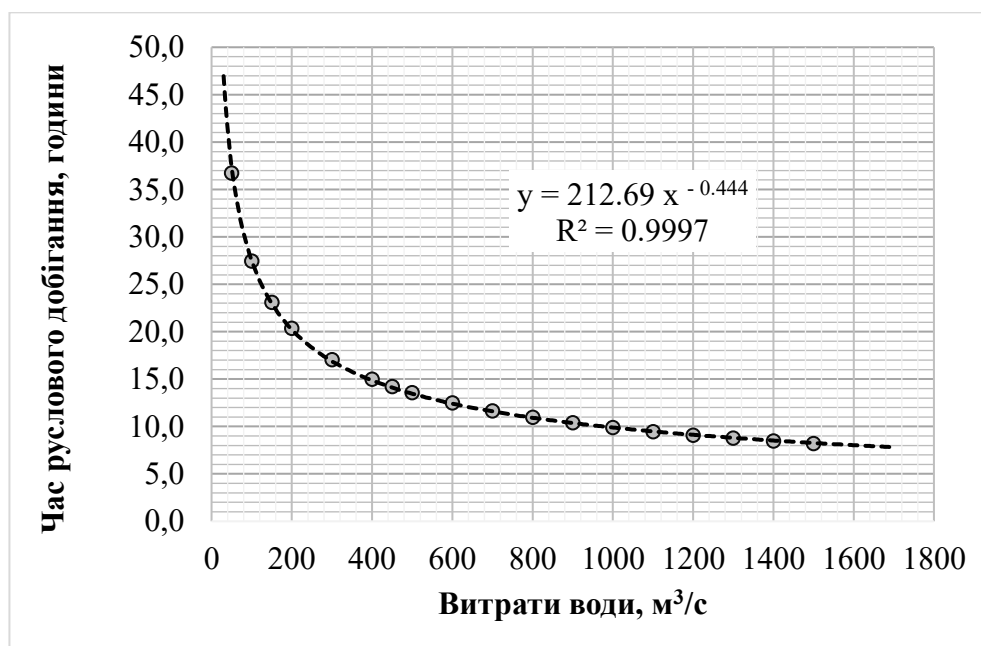


Рис. 4.2 Графік часу руслового добігання (в годинах) з верхніх постів до нижнього прогнозного р. Прут - Чернівці $\tau = f Q_{\text{в, Я}(t)}$

Аналізуючи рис. 4.2, прогнозне рівняння щодо часу руслового добігання на досліджуваній річковій ділянці в залежності від витрати води в верхньому створі (Яремче) можна записати таким чином:

$$\tau = 212,9 Q_{B, Я(t)}^{-0.444} \quad (4.2)$$

де τ - прогнозований час руслового добігання у годинах на ділянці р. Прут між створами Яремче $\rightarrow$ Чернівці.

4.3. Допустимі похибки прогнозу

При перевірочних прогнозах для оцінки їхньої справджуваності за розробленою методикою значення допустимих похибок розраховувалися в залежності від абсолютного значення прогнозованої витрати води за рівнянням (4.1) в нижньому створі р. Прут – Чернівці за співвідношенням

$$\delta_{\Delta Q} = 0,20 Q_{H, Ч(t+\tau)}. \quad (4.3)$$

На рис. 4.3 графічно представлено розподіл меж прогнозування витрат води з врахуванням допустимих похибок на період завчасності прогнозу в залежності від прогнозованої витрати води в нижньому створі (Чернівці) досліджуваної ділянки.

Прогнози вважатимуться успішними, точними чи тими, що справдилися, якщо прогнозне значення витрати води в створі р. Прут -Чернівці ($Q_{H, Ч(t+\tau)}$), що визначено за рівнянням (4.1), попадає у заштриховану область (рис. 4.3), тобто знаходиться між нижньою та верхньою межами допустимих похибок прогнозу, тобто, $\pm 0,20 Q_{H, Ч(t+\tau)}$.

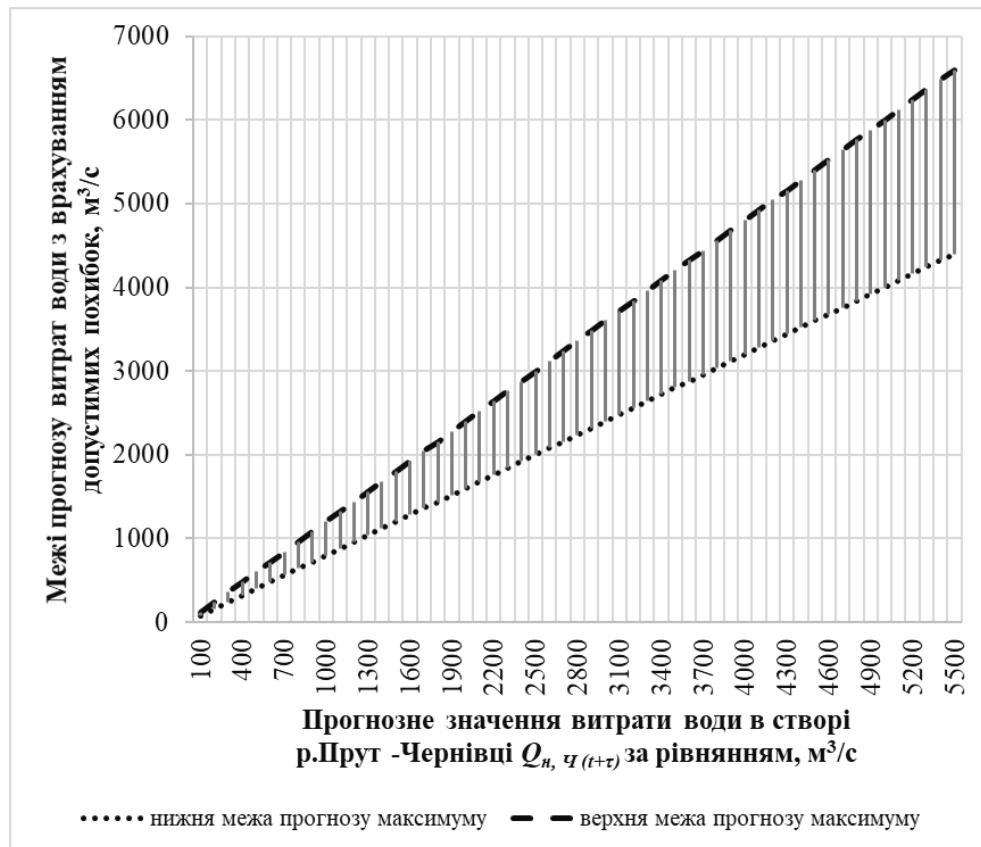


Рис. 4.3- Межі прогнозування витрат води з врахуванням допустимих похибок на період завчасності прогнозу на ділянках р. Прут

Оцінку якості розробленої методики буде здійснено за показником ймовірності неперевищення допустимої похибки $P(\%)$:

$$P = m/n \cdot 100\% \quad (4.4)$$

де n – загальна кількість складених прогнозів; m – кількість прогнозів, які справдилися. Їх кількість визначається порівнянням відхилення прогнозного значення від фактичного та співставленням його з допустимими похибками прогнозу. А якщо відхилення знаходиться в межах допустимої похибки, то прогноз вважається справдженим.

Треба зазначити, що оцінка якості розробленої методики проводиться за такими відсотковими вимогами до показника ймовірності неперевищення допустимої похибки $P(\%)$:

- при $P > 82 \%$ – розроблена методика прогнозування вважається «доброю»;
- при P у межах $81 \div 60 \%$ – «задовільною»;
- а при $P < 60\%$ – методика не може бути застосована на практиці.

Висновки до Розділу 4

Розробка методики прогнозу максимальних витрат води дощових паводків р. Прут – м. Чернівці за методом відповідних рівнів з урахуванням бічної приточності включала отримання наступних прогнозних залежностей: відповідних витрат води та часу руслового добігання, а також розрахунок меж допустимих похибок на період завчасності прогнозу.

Для отримання прогнозної залежності відповідних витрат води використано 240 їх значень. Встановлена залежність між відповідними витратами води нижнього створу р. Прут – Чернівці ($Q_{н(ч),t+\tau}$) та сумою витрат верхніх створах Яремче і Устеріки ($Q_{в(я),t} + Q_{пр(у),t}$) має досить високий зв'язок з коефіцієнтом кореляції $r = 0,97$, що дозволило отримане рівняння регресії вважати основою для прогнозування.

Для отримання прогнозної залежності часу руслового добігання τ , його визначення проведено лише для ділянки р. Прут: Яремче $\rightarrow$ Чернівці, оскільки за нашими міркуваннями добіг води руслами основної річки та бічної притоки (р. Черемош) відбувається практично одночасно до нижнього прогнозного створу. Виконання ряду послідовних логічних розрахунків дозволило отримати вихідні дані для побудови залежності $\tau = f Q_{в, я(t)}$ та прогнозне рівняння часу руслового добігання τ у годинах. Отримане рівняння чітко показує, що час добігання τ обернено залежить від витрат вод у верхніх створах, він скорочується під час проходження високих паводків.

Для оцінки справджуваності прогнозів встановлено межі допустимих похибок на період завчасності прогнозу на рівні $\pm 20\%$ від прогнозованої витрати

води в нижньому створі р. Прут – Чернівці $Q_{н(ч),t+\tau}$. Прогноз буде вважатися справдженим (успішним), якщо його значення потрапляє у ці встановлені межі.

Якість розробленої методики оцінюється показником ймовірності неперевищення допустимої похибки P (%), який являє собою відношення кількості прогнозів, що справдилися до загальної кількості складених прогнозів, причому методика визнається «доброю» при $P > 82\%$, «задовільною» – при $P = 81 \div 60\%$ і не може бути застосована на практиці при $P < 60\%$.

РОЗДІЛ 5. ПЕРЕВІРОЧНІ ПРОГНОЗИ ТА ОЦІНКА ПРАКТИЧНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РОЗРОБЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗІВ

Для того, щоб перевірити як працює розроблена в межах даної магістерської роботи методика прогнозу максимальних витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут – від Яремче до Чернівців з врахуванням бічної приточності р. Черемош - Устеріки були складені перевірочні прогнози.

Для зручності при складанні перевірочних прогнозів проведено узагальнення проведених досліджень в РОЗДІЛІ 4 та структурування порядку короткострокового прогнозування витрат води на досліджуваній ділянці з врахуванням бічної приточності, яке представлено за схемою у формі трьох поетапних дій в табл. 5.1.

Для кожного етапу прогнозування в табл. 5.1 представлено, які потрібно вихідні дані для прогнозу, яке прогнозне чи розрахункове рівняння використовуються на певному етапі прогнозування та який результат прогнозу чи розрахунку отримаємо.

На 1 етапі проводиться прогноз витрати води в нижньому прогнозному створі (Чернівці) на час $(t+\tau)$ за прогнозним рівнянням відповідних витрат води, знаючи на час t суму витрат води у створах: верхньому (Яремча) та бічної притоки (Устеріки).

На 2 етапі проводиться прогноз часу добігання води руслами ділянок річок з верхніх створів (Яремча та Устеріки) до нижнього (Чернівці) τ в годинах за прогнозним рівнянням часу .

На 3 етапі деталізується прогноз витрати води в нижньому прогнозному створі (Чернівці) на час $(t+\tau)$ з врахуванням допустимих похибок на період завчасності прогнозу τ , які розраховуються як $\pm 20\%$ від прогнозованої витрати води в нижньому створі (Чернівці) досліджуваної ділянки.

Таблиця 5.1

Порядок короткострокового прогнозування витрат води на ділянці р. Прут між створами Яремче → Чернівці з врахуванням бічної притоки р. Черемош - Устеріки за методом відповідних рівнів

Етапи	Вихідні дані	Прогнозне (розрахункове) рівняння	Результат прогнозу (розрахунку)
1	Сума витрат води у створах: верхньому (Яремча) та бічної притоки (Устеріки) <u>в час t</u> $(Q_{в(Я),t} + Q_{пр(У),t})$	Прогнозне рівняння відповідних витрат води $Q_{н(Ч),t+\tau} = 1,8355 \cdot (Q_{в(Я),t} + Q_{пр(У),t}) + 3,652$	Прогноз витрати води в нижньому прогнозному створі (Чернівці) <u>в час $(t+\tau)$</u> $Q_{н(Ч),t+\tau}, м^3/с$
2	Витрата води у верхньому створі (Яремча) <u>в час t</u> $Q_{в(Я),t}$	Прогнозне рівняння часу руслового добігання $\tau = 212,9 \cdot Q_{в(Я),t}^{-0.444}$	Прогноз часу руслового добігу з верхніх створів (Яремча та Устеріки) до нижнього (Чернівці) τ, години
3	Витрата води в нижньому прогнозному створі (Чернівці) <u>в час $(t+\tau)$</u> $Q_{н, Ч(t+\tau)}$	Допустимі похибки прогнозу $\delta_{\Delta Q} = 0,20 \cdot Q_{н, Ч(t+\tau)}$	Прогноз витрати води в нижньому прогнозному створі (Чернівці) <u>в час $(t+\tau)$</u> в межах допустимих похибок на період завчасності прогнозу τ $\pm 0,20 \cdot Q_{н, Ч(t+\tau)}, м^3/с$

Загалом, перевірочні прогнози проводяться за даними попередніх років, які включають прийнятний ряд вихідних параметрів для обґрунтованого подальшого оцінювання успішності та практичного застосування розробленої методики прогнозів.

Використовуючи вищезазначене та відомості табл. 5.1, для перевірки розробленої методики прогнозування максимальних витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут – від Яремче до Чернівців з врахуванням бічної приточності р. Черемош - Устеріки було складено 90 перевірочних прогнозів (табл. 5.2).

Таблиця 5.2

Перевірочні прогнози максимальних витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут – від Яремче до Чернівців з врахуванням бічної приточності р. Черемош - Устеріки за методом відповідних рівнів води

№	Рік	Фактичні витрати, м³/с				Прогноз витрати води, м³/с			Час добігання τ на ділянці з верхніх постів $ Q_{в, я} + Q_{пр, у} $ до нижнього $Q_{н, ч}$	Справджуваність
		верхні пости		$ Q_{в, я} + Q_{пр, у} (t)$	нижній прогнозний пост $Q_{н, ч}(t+\tau)$	за зв'язком відповідних витрат	з врахуванням допустимої похибки			
		(основна річка) $Q_{в, я}(t)$	(бічна протока) $Q_{пр, у}(t)$							
		Яремче	Устеріки				нижня межа	верхня межа		
максимуми окремих дощових паводків						Чернівці	Чернівці		в годинах	
1	1969	41,2	50,8	92	211		165	132		198
2		57,5	66,8	124,3	264	225	180	269	18	+
3		21,8	40,6	62,4	65,8	111	89	133	33	-
4		96,4	53,3	149,7	288	271	217	325	17	+
5		792	596	1388	2786	2544	2035	3053	6	+
6		83,2	94,6	177,8	312	323	258	387	17	+
7		68,4	122	190,4	515	346	277	415	13	-
8		165	444	609	910	1114	891	1337	10	+
9	1972	25,4	57,5	82,9	109	149	119	178	27	-
10		26,2	65,7	91,9	149	165	132	198	23	+
11		25,4	38,8	64,2	132	114	91	137	24	+
12		19,7	51,5	71,2	114	127	102	152	26	+
13		15,8	38,4	54,2	85	96	77	115	30	+
14		13,2	26,4	39,6	54,8	69	55	83	36	+
15		10,3	14,2	24,5	38,4	41	33	50	42	+
16		6,32	24,6	30,92	40,8	53	42	64	41	+
17		8,36	23,9	32,26	52	56	44	67	37	+
18		11,7	47	58,7	123	104	83	125	25	+
19		55,6	155	210,6	444	383	306	459	14	+
20		30	43,4	73,4	119	131	105	157	26	+
21		11,7	33,7	45,4	80,2	80	64	96	30	+
22		37	86,1	123,1	216	222	178	267	20	+
23		12,7	38,4	51,1	80,2	90	72	108	30	+
24		31,7	88,7	120,4	169	217	174	261	22	-

25		13,2	46,6	59,8	101	106	85	127	27	+
26		23,8	39,6	63,4	89,8	113	90	135	29	+
27		8,36	46,6	54,96	101	97	78	117	27	+
28		8,36	41,8	50,16	83,4	88	71	106	30	+
29		13,8	37,4	51,2	96,2	90	72	108	28	+
30		19,7	28	47,7	89,8	84	67	101	29	+
31		22,3	59,1	81,4	106	146	117	175	27	-
32	1980	89,7	122	211,7	447	385	308	462	14	+
33		57,2	83,9	141,1	194	255	204	306	21	-
34		20,7	93,4	114,1	199	206	165	247	20	+
35		49,4	147	196,4	347	357	285	428	16	+
36		18	91,5	109,5	216	197	158	237	20	+
37		19,8	52,8	72,6	151	130	104	156	23	+
38		18,9	58	76,9	151	137	110	165	23	+
39		29,4	51,5	80,9	173	145	116	174	22	+
40		104	115	219	339	398	319	478	16	+
41		29,4	42,8	72,2	134	129	103	155	24	+
42		132	186	318	696	580	464	696	12	+
43		70,2	46,3	116,5	192	210	168	252	21	+
44		42,9	31,9	74,8	160	134	107	160	22	+
45		15,6	26,8	42,4	76	74	59	89	31	+
46		13,8	39,5	53,3	103	94	75	113	27	+
47	1998	67,9	96,3	164,2	235	298	238	357	19	+
48		74,4	158	232,4	226	423	338	508	19	-
49		62,5	105	167,5	277	304	243	365	18	+
50		77	191	268	431	488	391	586	14	+
51		39,4	113	152,4	264	276	221	331	18	+
52		23,4	74,3	97,7	139	176	141	211	24	+
53		18,6	37,5	56,1	79,9	99	79	119	30	+
54		10,6	20,1	30,7	52,7	53	42	63	37	+
55		23,4	28,7	52,1	81,6	92	74	110	30	+
56		8,85	33,1	41,95	68	73	59	88	33	+
57		11,6	30	41,6	57,8	73	58	87	35	+
58	2008	78,1	78,3	156,4	287	283	227	340	17	+
59		43,7	113	156,7	264	284	227	341	18	+

<i>строкові максимуми дощових паводків</i>										
60	1958	198	574	772	1180	1413	1131	1696	9	+
61	1959	582	545	1127	1510	2065	1652	2478	8	-
62	1960	239	192	431	762	787	630	945	11	+
63	1964	680	503	1183	2170	2168	1734	2601	7	+
64	1966	124	82,5	206,5	342	375	300	450	16	+
65	1968	244	229	473	852	865	692	1037	11	+
66	1969	1530	1060	2590	5200	4750	3800	5700	5	+
67	1970	530	590	1120	3050	2052	1642	2463	6	-
68	1971	166	163	329	515	600	480	720	13	+
69	1973	295	353	648	1220	1186	949	1423	9	+
70	1974	1080	622	1702	3880	3120	2496	3744	5	-
71	1975	284	344	628	1020	1149	919	1379	10	+
72	1976	298	260	558	1140	1021	816	1225	9	+
73	1978	331	580	911	1740	1668	1335	2002	8	+
74	1979	640	527	1167	1760	2138	1711	2566	8	+
75	1980	311	367	678	1320	1241	993	1489	9	+
76	1981	376	522	898	1730	1645	1316	1974	8	+
77	1982	782	559	1341	1950	2458	1966	2949	7	-
78	1988	491	508	999	1370	1830	1464	2196	9	-
79	1989	174	254	428	910	782	626	938	10	+
80	1991	274	409	683	1190	1250	1000	1500	9	+
81	1992	164	294	458	725	837	670	1004	11	+
82	1993	133	316	449	624	820	656	985	12	-
83	1994	292	396	688	1290	1259	1007	1511	9	+
84	1995	242	603	845	1440	1547	1238	1857	8	+
85	1998	269	468	737	1750	1349	1079	1619	8	-
86	2002	243	669	912	1220	1670	1336	2004	9	-
87	2006	238	354	592	872	1083	866	1300	11	+
88	2008	792	1500	2292	3990	4203	3363	5044	5	+
89	2010	561	700	1261	2080	2311	1849	2773	7	+
90	2013	105	134	239	396	435	348	522	15	+

Якщо значення фактичної витрати води р. Прут – Чернівці попадає в проміжок зі встановленими верхніми і нижніми межами передбачуваних значень витрат води (тобто з врахуванням допустимої похибки), тоді перевірочний прогноз вважається таким, що справдився (в табл. 5.2, « + » - прогноз справдився, « – » прогноз не справдився). А також за отриманим рівнянням часу руслового добігання було обраховано час добігання в годинах на ділянці з верхніх постів до нижнього.

Аналіз перевірочних прогнозів витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут – від Яремче до Чернівців з врахуванням бічної притоки р. Черемош - Устеріки за методом відповідних рівнів води (табл. 5.2), показав, що зі 90 складених перевірочних прогнозів, справдилися 74. Графічне порівняння прогнозованих в межах допустимих похибок та фактичних максимальних витрат води у створі р. Прут – Чернівці за результатами перевірочних прогнозів подано на рис. 5.1.

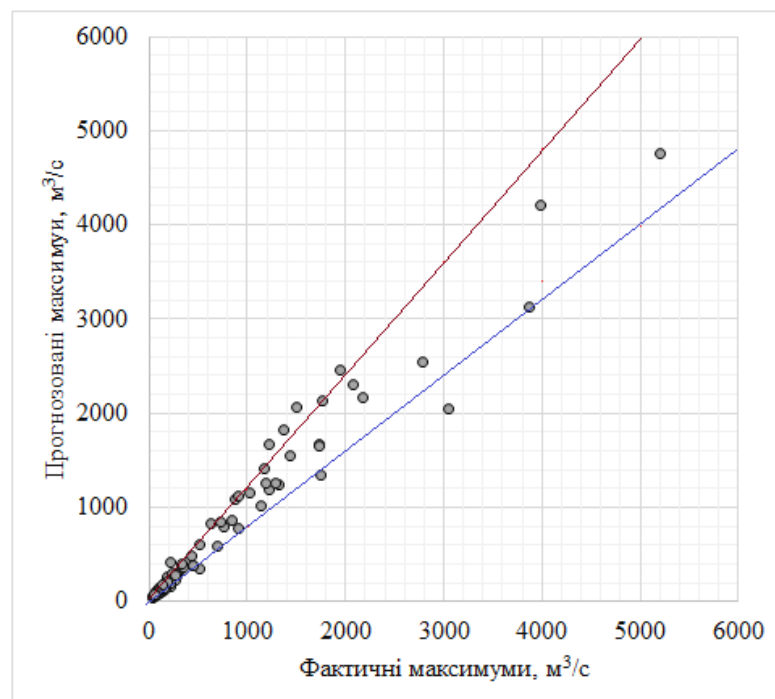


Рис. 5.1- Порівняння прогнозованих та фактичних максимальних витрат води (м³/с) у створі р. Прут – Чернівці за результатами перевірочних прогнозів

Отже, показник ймовірності неперевикнення допустимих похибок прогнозування $P\%$ дорівнює 82,2 %, тобто знаходиться в межах оцінки якості методики прогнозу $P > 82 \%$, що відносить розроблену методику до категорії «доброї»[16,21].

Висновки до Розділу5

Для перевірки практичного застосування розробленої методики прогнозування витрат води на ділянці р. Прут (Яремче – Чернівці) за методом відповідних рівнів з урахуванням бічної приточності р. Черемош (Устеріки) було складено 90 перевірочних прогнозів за даними попередніх років. Прогноз вважався справдженим, якщо фактичне значення витрати води в нижньому створі (Чернівці) потрапляло у встановлений інтервал витрат води з врахуванням допустимої похибки, який визначався як $\pm 20 \%$ від прогнозованої за рівнянням витрати води в нижньому створі (Чернівці).

Аналіз 90 складених перевірочних прогнозів показав, що з них справдилися 74 прогнози. На основі цих даних показник ймовірності неперевикнення допустимих похибок прогнозування P склав 82,2 %. Оскільки отримане значення P перевищує 82 %, розроблена методика прогнозування відноситься до категорії «доброї».

Результати перевірочних прогнозів були візуалізовані шляхом порівняння прогнозованих та фактичних максимальних витрат води у створі р. Прут – Чернівці. Графічне зіставлення підтвердило високу справджуваність розробленої прогнозної методики, оскільки більшість точок (витрат води паводків) знаходяться в межах допустимих похибок, що демонструє можливість практичного її застосування для короткострокового прогнозування витрат води дощових паводків на ділянці р. Прут (Яремче – Чернівці) з урахуванням бічної приточності р. Черемош (Устеріки).

ВИСНОВКИ

Мета та поставлені завдання магістерської кваліфікаційної роботи «ПРОГНОЗУВАННЯ МАКСИМУМІВ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ Р. ПРУТ – М. ЧЕРНІВЦІ ЗА МЕТОДОМ ВІДПОВІДНИХ РІВНІВ З УРАХУВАННЯМ БІЧНОЇ ПРИТОЧНОСТІ» виконано. Підводячи підсумки представленого дослідження, можна зробити наступні висновки.

1) З огляду на природні умови, українська частина басейну р. Прут розташована у складній фізико-географічній зоні, що охоплює гори, передгір'я та рівнинні території. Поєднання крутого гірського рельєфу та надмірної кількості річних атмосферних опадів (від 600–750 мм на рівнинах до 1500–1800 мм у горах) сприяє швидкої концентрації та скиду стоку води по руслах річок басейну і, загалом, створює унікальні передумови до виникнення різноманітних гідрологічних ризиків, зокрема й частого, раптового утворення бурхливих дощових паводків.

2) Методична основа дослідження - метод відповідних рівнів (витрат), який ґрунтуються на вивченні закономірностей руху річкового потоку. Щодо розробки методики прогнозування витрат води дощових паводків на ділянці річки з урахуванням бічної приточності цей метод передбачає встановлення двох прогнозних кореляційно-регресивних зв'язків – а) відповідних витрат води $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t} + Q_{пр,t})$ або $Q_{н,t+\tau} = f(Q_{в,t}, Q_{пр,t})$ та б) часу руслового добігання $\tau = f(Q_{в,t})$. А це дає можливість передбачити витрату води у нижньому прогнозному створі $Q_{н,t+\tau}$ у час $(t+\tau)$ на ділянці річки в залежності від витрат води у верхніх створах (основної річки і притоки $(Q_{в,t}, Q_{пр,t})$ в час t і через який час τ від строку складання прогнозу така витрата води очікується в нижньому створі $Q_{н,t+\tau}$. Ключовим моментом є облік бічної приточності, врахування якої при розробці методики прогнозу відбувається тоді, коли такій приплив в основну річку складає 15% і більше. Важливим також є визначення допустимих похибок прогнозу та

оцінка їх справджуваності, проведення перевірочних прогнозів та оцінка якості методики прогнозу.

3) Комплексний аналіз гідрологічної вивченості (13 діючих постів), стокових даних та гідрографічних показників басейну р. Прут дозволив провести оцінку стоку бічної приточності до прогнозного створу р. Прут–Чернівці, яка показала, що при розробці методики обов'язково треба враховувати р. Черемош, частка стоку води цієї притоки в створі Устеріки складає значні 41,6%. Також з'ясовано та прийнято, що вода з верхніх створів р. Прут–Яремча та р. Черемош–Устеріки добігає до нижнього створу (Чернівці) практично одночасно.

Для формування вихідних даних та отримання прогнозної залежності відповідних витрат води побудовано суміщені графіки коливання витрат в створах р. Прут-Яремче, р. Черемош-Устеріки, р. Прут-Чернівці, проаналізовано строкові максимуми дощових паводків за окремі роки та сформовано базу з 240 значень відповідних витрат. Для формування вихідних даних та отримання прогнозної залежності часу руслового добігання в годинах побудовано графіки зв'язку між виміряними витратами води та відповідними виміряними швидкостями течії в створах р. Прут - Яремче і р. Прут - Чернівці за даними з гідрологічних щорічників з розділу «Виміряні витрати води».

4) Використовуючи вихідні дані побудовано необхідні прогностичні залежності та отримано прогностичні рівняння. Прогнозна залежність відповідних витрат води між нижнім створом (Прут–Чернівці) та сумою витрат верхніх створів (Яремча та Устеріки) встановлена з дуже високим коефіцієнтом кореляції $r = 0,97$, що підтверджує надійність отриманого рівняння регресії. Прогнозне рівняння часу руслового добігання τ показало, що час добігання обернено залежить від витрат води, скорочуючись під час високих паводків. Встановлено межі допустимих похибок прогнозу на рівні $\pm 20\%$ від прогнозованої витрати води в нижньому створі (Чернівці).

5) За розробленою методикою проведено перевірочні прогнози, загальна кількість яких склала 90, з них справдилися 74, отже ймовірність неперевищення допустимих похибок склала $P = 82,2\%$, що відносить розроблену методику до категорії «доброї».

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Басейн р. Прут [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/61/Басейн_річки_Прут.jpg
2. Вплив змін клімату на водний режим гірської частини басейну р. Прут [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/01/10-Korchemyuk.pdf>
3. Гребінь В. В. Прут // Енциклопедія Сучасної України [Електронний ресурс]. К.: Інститут енциклопедичних досліджень НАН України, 2023. Режим доступу: <https://esu.com.ua/article-879390>
4. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). К.: Ніка-Центр, 2010. 316 с. Режим доступу: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2021/03/10_n_lit_gidrol.pdf.pdf
5. Загальна гідрологія: підручник / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь та ін. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с. <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/02/PIDRUCHNYK.pdf>
6. Кирилюк М. І. Водний баланс і якісний стан водних ресурсів Українських Карпат / М. І. Кирилюк: Навчальний посібник. Чернівці : Рута, 2001. 246 с.
7. Загальна інформація про річку Прут [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://kamendvir.com.ua/articles/zagalna-informaciya-pro-richku-prut>
8. Кирилюк М.І. Режим формування історичних паводків в Українських Карпатах. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2001. Т. 2. С. 163-167.
9. Клімат. Характеристика основних метеорологічних елементів / «Українські Карпати»: текст Воропай Л. І., Куниця М. О. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.karpaty.com.ua/?chapter=5&item=163>
10. Клімат Українських Карпат. Карпатська спадщина. Режим доступу: <http://carpathian-heritage.org.ua/ua/klimat>

11. Клименко М. О. Клімат Карпатського регіону України: сучасний стан і тенденції змін. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2017. 212 с.
12. Клименко М. О. Кліматичні фактори формування стоку в Карпатському регіоні. Львів: ЛНУ ім. І. Франка, 2018. 192 с.
13. Кульбіда М., Петренко Л. Гідрологічні прогнози зменшують збитки від водної стихії / Газета Кабінету Міністрів України «Урядовий кур'єр», 28 жовтня 2021 р. Режим доступу: <https://ukurier.gov.ua/uk/articles/gidrologichni-prognozi-zmenshuyut-zbitki-vid-vodno/>
14. Лобода Н.С. «Гідрологічні прогнози»: Конспект лекцій з дисципліни. Одеса, 2008. 172 с. Режим доступу: http://eprints.library.odeku.edu.ua/8794/1/КЛ_Лобода%20Н.С._Гідрол_прогнози.pdf
15. Лук'янець О. І. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Гідрологічні прогнози». К.: ВПЦ «Київський університет», 2004. 25 с.
16. Лук'янець О.І., Москаленко С.О. Узагальнення та багаторічна мінливість максимального річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 2 (53). С. 6-20. Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/glghge_2019_2_3
17. Мельник А. В. Українські Карпати: еколого-ландшафтознавче дослідження. Львів: ЛНУ, 1999. 286 с. Режим доступу: <https://k.twirpx.link/file/1508056/>
18. Мельник А. В. Українські Карпати: природні умови та ресурси. Львів, 2010. 328 с.
19. Москаленко С. О., Бесараб Ю. С., Лук'янець О. І. Максимальний стік води річок басейнів Пруту і Сірету в межах України та його багаторічна просторово-часова мінливість // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. 2020. № 1 (56). С. 25–40. Режим доступу: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2020.1.3>
20. Національний стандарт України. ДСТУ 3517:2024 Гідрологія суходолу. Терміни та визначення основних понять. Видання офіційне. К.: ДП

«УкрНДНЦ», 2024. Режим доступу: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2025/01/dstu-3517-2024-gidrologiya-suhodolu_oryginal-4.10.24.pdf

21. Прогнозування паводкових витрат води теплого періоду року на ділянці р. Прут за методом відповідних рівнів / Мала М. М.: кваліфікаційна робота бакалавра. КНУ імені Тараса Шевченка, 2024. 54 с. Режим доступу: <https://ir.library.knu.ua/>

22. Проект. План управління суббасейном річок Прут та Сірет (2025-2030). Державне агентство водних ресурсів України. Режим доступу: https://www.davr.gov.ua/fls18/PrutSiret_1-11.pdf

23. Прут і його притоки [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.turystam.in.ua/>

24. Річка Прут. Вовчківці. Режим доступу: https://vovchkiivtsi.at.ua/index/richka_prut/0-12

25. Сусідко М.М., Лук'янець О.І. Паводки в Карпатах – причини їх виникнення та повторюваність // Матеріали міжнародної науково-практичної конференції “Стихійні явища у Карпатах”. Рахів. 1999. С. 316-321.

26. Сусідко В. М., Полякова С. В., Щербак М. П. Аналіз дощових паводків на річках Карпатського регіону за 1989–2002 роки. Режим доступу: https://old.uhmi.org.ua/pub/np/255/12_Susid_Pol_Sherbak.pdf.

27. Характер багаторічних змін атмосферних процесів та стоку в басейнах річок Пруту та Сірету (в межах України) в теплий період року [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://collectedpapers.com.ua/wp-content/uploads/2013/09/014_70_81_Balabuh_Lukyanec.pdf

28. Хільчевський В.К. Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. Київ: ДІА, 2022. 236 с. Режим доступу: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/10/khilchevskiyi-v.k.-et-al._hydrological-dictionary.-16.06.22.pdf

29. Ющенко Ю.С. Загальна гідрологія: підручник. Чернівці: Чернівецький нац. ун-т, 2017. 591 с. Режим доступу: https://library.udpu.edu.ua/library_files/ece/6478_01.pdf

30. River Basin Management Plan for the Danube-Prut and Black Sea pilot river basin district in the limits of the Republic of Moldova Cycle I, 2017–2022. Режим доступа:

https://www.euwipluseast.eu/images/2020/03/PDF/RBMP_cycle_I_Danube_Prut_Black_Sea_MD.pdf

Додатки

ДОДАТОК А

Бічна приточність та її оцінка

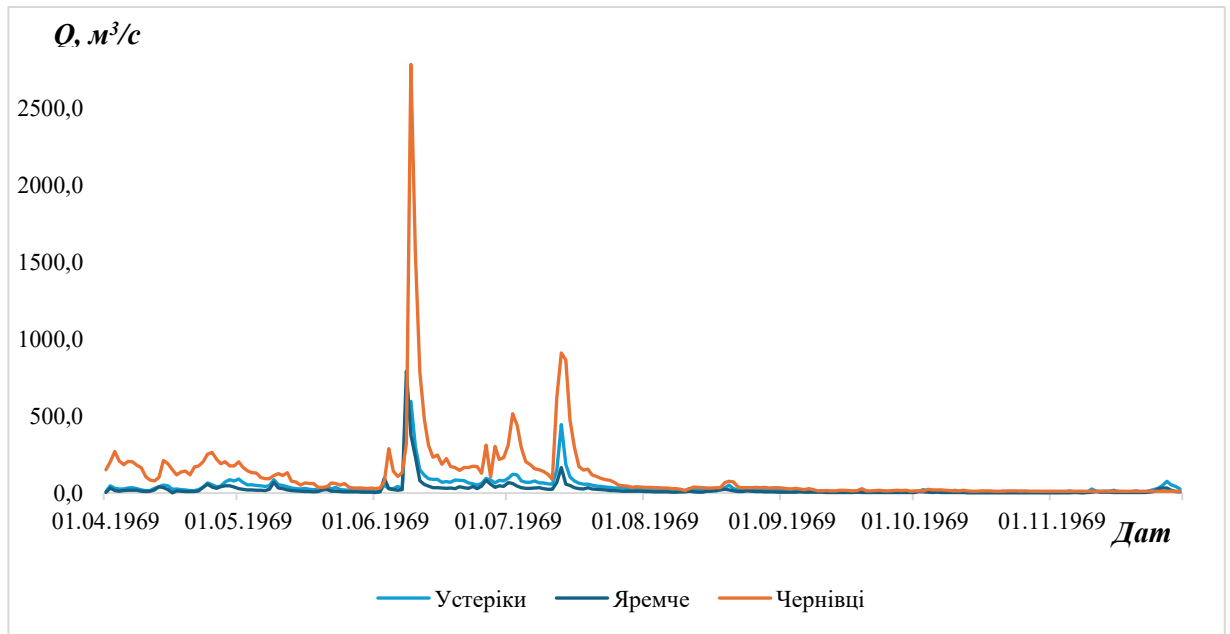
Таблиця А.1.

Оцінки % бічної приточності на ділянці р. Прут від смт Яремча до м. Чернівці

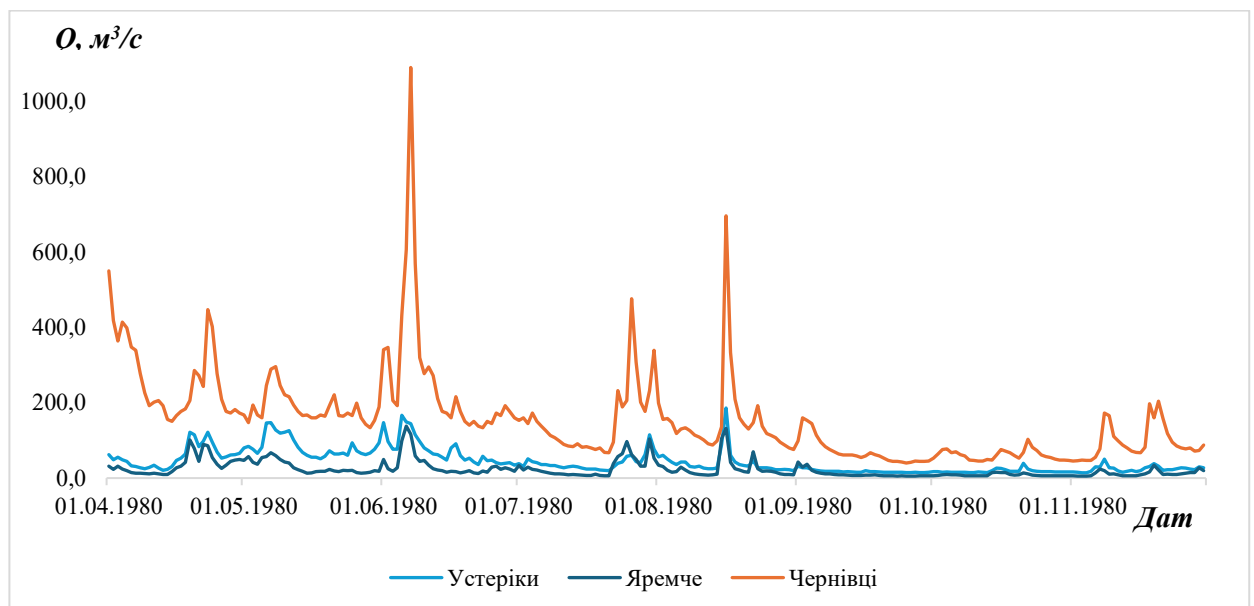
	р. Прут - м. Чернівці		р. Кам'янка - с. Дора		р. Чорняз - с. Любківці		р. Черемош - с. Устеріки		р. Путилі - смт. Путилі		р. Прут - м. Яремче	
	% стоків від стоків		% стоків від стоків		% стоків від стоків		% стоків від стоків		% стоків від стоків		% стоків від стоків	
	Осер.річн	р.Прут-Чернівці	Осер.річн	р.Прут-Чернівці	Осер.річн	р.Прут-Чернівці	Осер.річн	р.Прут-Чернівці	Осер.річн	р.Прут-Чернівці	Осер.річн	р.Прут-Чернівці
1950	35,7	100	0,2	0,56							8,45	23,7
1951	59,9	100	0,3	0,50							10,5	17,5
1952	58,2	100	0,24	0,41							9,6	16,5
1953	60,3	100	0,33	0,55							9,54	15,8
1954	48,6	100	0,26	0,53							8,43	17,3
1955	126	100	0,69	0,55							21,8	17,3
1956	49,4	100	0,25	0,51							10	20,2
1957	59,4	100	0,29	0,49							11,5	19,4
1958	58,5	100	0,28	0,48			28,9	49,4			10,3	17,6
1959	57,7	100	0,31	0,54			24,7	42,8			8,85	15,3
1960	51,8	100	0,28	0,54			20,9	40,3			8,73	16,9
1961	38,5	100	0,21	0,55			15,4	40,0			5,62	14,6
1962	58,9	100	0,29	0,49			29,4	49,9			10,5	17,8
1963	36,3	100	0,15	0,41			15,1	41,6	1,3	3,58	5,66	15,6
1964	79,8	100	0,47	0,59			26,7	33,5	1,82	2,28	14,3	17,9
1965	71,3	100	0,29	0,41			21,7	30,4	1,64	2,30	11,4	16,0
1966	62,2	100	0,23	0,37			19,1	30,7	1,63	2,62	10,7	17,2
1967	66,8	100	0,25	0,37			19,8	29,6	2,51	3,76	10,6	15,9
1968	61,5	100	0,27	0,44			22,2	36,1	1,82	2,96	11	17,9
1969	93,2	100	0,4	0,43			30	32,2	2,99	3,21	16,6	17,8
1970	95,4	100	0,36	0,38			38,3	40,1	3,95	4,14	16,7	17,5
1971	72,1	100	0,29	0,40			26,1	36,2	1,11	1,54	12,4	17,2
1972	70,4	100	0,39	0,55			27,8	39,5	2,47	3,51	11,4	16,2
1973	75,5	100	0,4	0,53			31,1	41,2	3,09	4,09	14,7	19,5
1974	79	100	0,25	0,32			32,3	40,9	1,71	2,16	15,9	20,1
1975	85,7	100	0,46	0,54			39,2	45,7	2,9	3,38	16,4	19,1
1976	72,5	100	0,4	0,55			36,8	50,8	3,66	5,05	15,1	20,8
1977	80,6	100	0,47	0,58			32,8	40,7	3,37	4,18	17,9	22,2
1978	107	100	0,55	0,51			38,8	36,3	3,99	3,73	18,4	17,2
1979	87	100	0,41	0,47			33,6	38,6	3,36	3,86	13,8	15,9
1980	120	100	0,62	0,52			33,5	27,9	3,22	2,68	17,1	14,3
1981	101	100	0,38	0,38			33,9	33,6	3,72	3,68	15,2	15,0
1982	88,8	100	0,37	0,42			32,5	36,6	4,25	4,79	14,8	16,7
1983	63,7	100	0,3	0,47			24,2	38,0	2,43	3,81	11,2	17,6
1984	63,7	100	0,32	0,50			22,8	35,8	3,06	4,80	9,56	15,0
1985	64,7	100	0,34	0,53	0,97	1,50	31,6	48,8	2,1	3,25	12,1	18,7
1986	46,8	100	0,27	0,58	0,8	1,71	26,4	56,4	1,87	4,00	9,17	19,6
1987	41,1	100	0,18	0,44	1,09	2,65	21	51,1	1,17	2,85	7,34	17,9
1988	75,6	100	0,37	0,49	1,82	2,41	24,7	32,7	3,69	4,88	13,1	17,3
1989	64,9	100	0,33	0,51	1,62	2,50	26,3	40,5	3,24	4,99	14,9	23,0
1990	29,7	100	0,14	0,47	0,49	1,65	17,7	59,6	1,94	6,53	5,85	19,7
1991	87	100	0,41	0,47	1,96	2,25	26,1	30,0	3,93	4,52	15,3	17,6
1992	56,8	100	0,29	0,51	1,84	3,24	24,9	43,8	2,59	4,56	11,6	20,4
1993	61,4	100	0,3	0,49	1,78	2,90	24,2	39,4	1,3	2,12	10,4	16,9
1994	40,6	100	0,22	0,54	0,64	1,58	20,9	51,5		0,00	10,9	26,8
1995	66,8	100	0,3	0,45	0,94	1,41	33,6	50,3	3,12	4,67	15,8	23,7
1996	73,8	100	0,39	0,53	2,71	3,67	31,5	42,7	3,52	4,77	13,2	17,9
1997	63,7	100	0,34	0,53	1,9	2,98	28,6	44,9	3,05	4,79	13,7	21,5
1998	90	100	0,44	0,49	2,35	2,61	36	40,0	3,17	3,52	15,2	16,9
1999	81,6	100	0,43	0,53	1,64	2,01	33,7	41,3	2,51	3,08	14,9	18,3
2000	52,3	100	0,25	0,48	1,18	2,26	22,1	42,3	2,06	3,94	9,76	18,7
2001	78,1	100	0,5	0,64	1,64	2,10	31,3	40,1	2,48	3,18	16,6	21,3
2002	82,7	100	0,38	0,46	2,02	2,44	43,3	52,4	3,8	4,59	20,2	24,4
2003	45,3	100	0,35	0,77	1,49	3,29	20,4	45,0	1,79	3,95	11,4	25,2
2004	61,1	100	0,55	0,90	0,99	1,62	27,7	45,3	1,45	2,37	14,6	23,9
2005	65,4	100	0,55	0,84	2,66	4,07	28,7	43,9	2,27	3,47	12,9	19,7
2006	69,7	100	0,68	0,98	2,05	2,94	34,2	49,1	2,77	3,97	13,2	18,9
2007	57,7	100	0,55	0,95	0,92	1,59	32,1	55,6	2,52	4,37	13	22,5
2008	101	100	0,7	0,69	3,25	3,22	41,1	40,7	2,92	2,89	17,9	17,7
2009	55,8	100	0,37	0,66	1,99	3,57	16,8	30,1	1,27	2,28	9,69	17,4
2010	106	100	0,68	0,64	3,23	3,05	41,6	39,2	2,91	2,75	17,1	16,1
2011	52,1	100	0,3	0,58	1,38	2,65	17,9	34,4	1,31	2,51	8,73	16,8
2012	35,6	100	0,23	0,65	0,54	1,52	16,2	45,5	1,45	4,07	7,03	19,7
2013	52,3	100	0,23	0,44	2,44	4,67	17,9	34,2	1,85	3,54	9	17,2
2014	56,8	100	0,42	0,74	1,01	1,78	21	37,0	1,92	3,38	9,24	16,3
2015	44,8	100	0,33	0,74	0,55	1,23	22,7	50,7	1,41	3,15	9,29	20,7
2016	43,4	100	0,37	0,85	0,57	1,31	23,5	54,1	1,44	3,32	9,22	21,2
2017	52,1	100	0,59	1,13	0,73	1,40	23,1	44,3	1,78	3,42	11,3	21,7
2018	69	100	0,65	0,94	1,89	2,74	30,1	43,6	2,17	3,14	11,6	16,8
2019	67,7	100	0,57	0,84	2,48	3,66	27,7	40,9	2,23	3,29	11,5	17,0
2020	85,1	100	0,6	0,71	1,75	2,06	35,6	41,8	1,86	2,19	15,8	18,6

ДОДАТОК Б

**Суміщені гідрографи стоку води (графіки коливання витрат води)
на досліджуваних постах р. Прут за теплий період
та вибір відповідних витрат води**



**Рис Б.1— Суміщені коливання витрат води на досліджуваних постах
у басейні р. Прут за теплий період 1969 р.**



**Рис Б.2— Суміщені коливання витрат води на досліджуваних постах
у басейні р. Прут за теплий період 1980 р.**

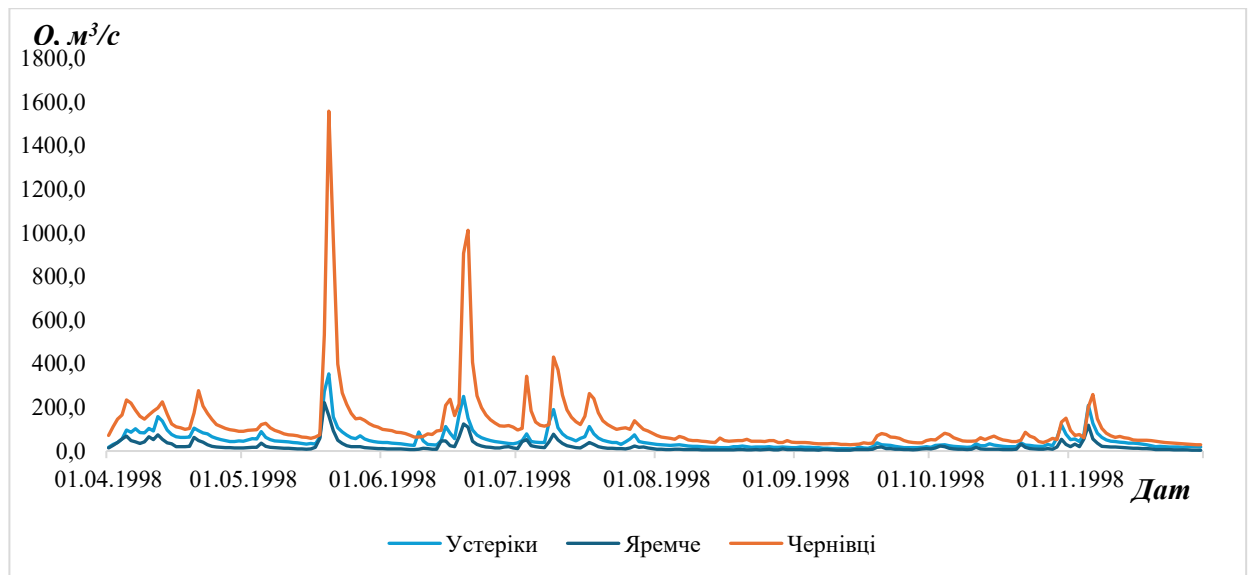


Рис Б.3– Суміщені коливання витрат води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період 1998 р.

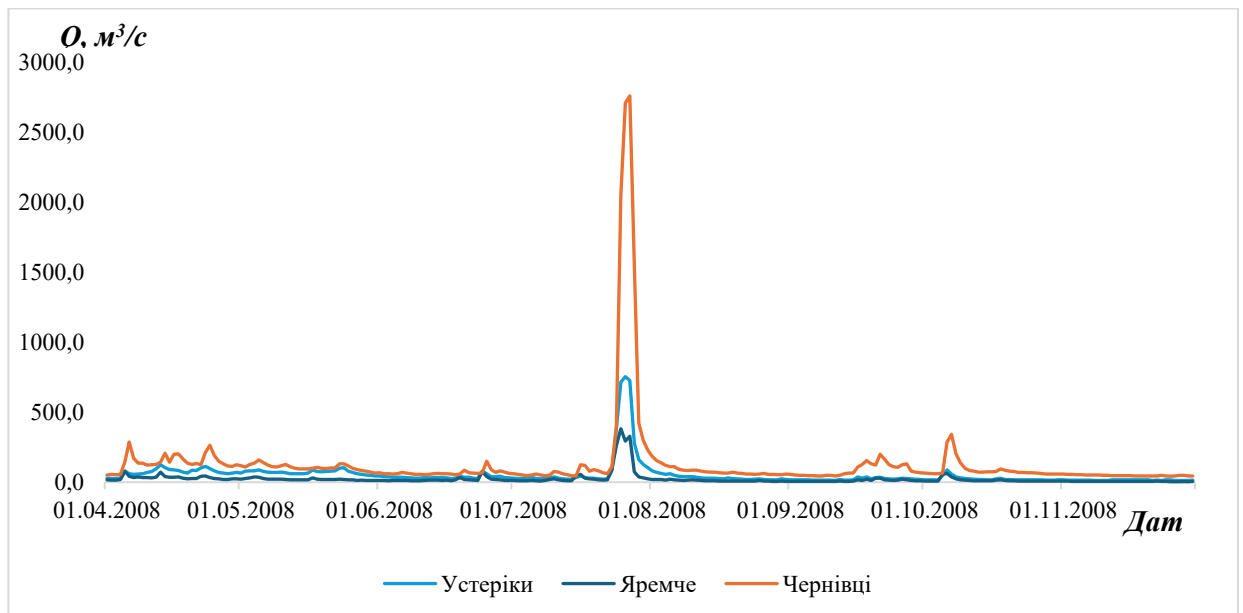


Рис Б.4– Суміщені коливання витрат води на досліджуваних постах р. Прут за теплий період 2008 р.

Таблиця Б.1 Відповідні витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період та час їх настання, 1969 р.

№ з/п	Р. Прут-Яремче (верхній пост)		Р. Черемош-Устеріки (притока)		Р. Прут-Чернівці (нижній пост)	
	Qв. (Яремче), м3/с	Дата	Qв. (Устеріки), м3/с	Дата	Qн. (Чернівці), м3/с	Дата
1	32,4	02.04.1969	47,2	02.04.1969	270	03.04.1969

2	12	04.04.1969	25,8	04.04.1969	184	05.04.1969
3	10	10.04.1969	16	10.04.1969	79,5	12.04.1969
4	41,2	13.04.1969	50,8	14.04.1969	211	14.04.1969
5	1	16.04.1969	25	16.04.1969	119	17.04.1969
6	14,9	17.04.1969	25,8	17.04.1969	144	19.04.1969
7	9	20.04.1969	16	20.04.1969	119	20.04.1969
8	57,5	24.04.1969	66,8	24.04.1969	264	25.04.1969
9	31,6	26.04.1969	41,3	26.04.1969	191	27.04.1969
10	15,5	07.05.1969	43,4	07.05.1969	92,6	07.05.1969
11	69,6	09.05.1969	87,9	09.05.1969	127	10.05.1969
12	8,5	18.05.1969	22,5	18.05.1969	36,9	19.05.1969
13	21,8	21.05.1969	40,6	21.05.1969	65,8	22.05.1969
14	4,14	01.06.1969	11,7	01.06.1969	27,8	01.06.1969
15	96,4	03.06.1969	53,3	03.06.1969	288	04.06.1969
16	18,3	06.06.1969	28,5	04.06.1969	107	06.06.1969
17	792	08.06.1969	596	09.06.1969	2786	09.06.1969
18	35	14.06.1969	88	14.06.1969	233	14.06.1969
19	29,3	19.06.1969	70,1	18.06.1969	147	20.06.1969
20	29,3	24.06.1969	52	24.06.1969	129	25.06.1969
21	83,2	26.06.1969	94,6	26.06.1969	312	26.06.1969
22	37,6	28.06.1969	67	28.06.1969	218	29.06.1969
23	68,4	01.07.1969	122	02.07.1969	515	02.07.1969
24	23,5	10.07.1969	57,2	11.07.1969	89	11.07.1969
25	165	13.07.1969	444	13.07.1969	910	13.07.1969
26	27	18.07.1969	57,2	18.07.1969	149	18.07.1969
27	6,8	09.08.1969	15,8	10.08.1969	16,4	10.08.1969
28	11	11.08.1969	29	11.08.1969	39,8	12.08.1969
29	11	16.08.1969	13,9	17.08.1969	33,2	16.08.1969
30	25,5	19.08.1969	50,7	20.08.1969	77	20.08.1969

Таблиця Б.2 Відповідні витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період та час їх настання, 1980 р.

№ з/п	Р.Прут-Яремче (верхній пост)		Р.Черемош-Устеріки (притока)		Р.Прут-Чернівці (нижній пост)	
	Qв. (Яремче), м3/с	Дата	Qв. (Устеріки), м3/с	Дата	Qн. (Чернівці), м3/с	Дата
1	23,4	02.04.1980	48,9	02.04.1980	364	03.04.1980
2	31,8	03.04.1980	55,3	03.04.1980	414	04.04.1980
3	11,6	10.04.1980	24,6	09.04.1980	192	10.04.1980
4	13,2	11.04.1980	33,8	11.04.1980	206	12.04.1980
5	9,3	13.04.1980	21	13.04.1980	151	15.04.1980
6	101	19.04.1980	122	19.04.1980	286	20.04.1980
7	44,2	21.04.1980	83,6	21.04.1980	243	22.04.1980
8	89,7	22.04.1980	122	23.04.1980	447	23.04.1980
9	26,1	26.04.1980	53	26.04.1980	173	28.04.1980
10	57,2	02.05.1980	83,9	02.05.1980	194	03.05.1980
11	36,6	04.05.1980	65,9	04.05.1980	160	05.05.1980
12	67,6	07.05.1980	147	07.05.1980	296	08.05.1980

13	23,4	20.05.1980	72,5	20.05.1980	221	21.05.1980
14	17,4	22.05.1980	63,8	21.05.1980	164	23.05.1980
15	19,8	24.05.1980	60,9	24.05.1980	166	25.05.1980
16	20,7	25.05.1980	93,4	25.05.1980	199	26.05.1980
17	13,2	27.05.1980	62,4	28.05.1980	134	29.05.1980
18	49,4	01.06.1980	147	01.06.1980	347	02.06.1980
19	18	03.06.1980	76,3	03.06.1980	192	04.06.1980
20	138	06.06.1980	167	05.06.1980	1090	07.06.1980
21	15,6	15.06.1980	47,6	15.06.1980	160	16.06.1980
22	18	16.06.1980	91,5	17.06.1980	216	17.06.1980
23	13,8	18.06.1980	47,6	19.06.1980	140	20.06.1980
24	19,8	20.06.1980	52,8	20.06.1980	151	21.06.1980
25	12	22.06.1980	36,2	22.06.1980	134	23.06.1980
26	18,9	23.06.1980	58	23.06.1980	151	24.06.1980
27	21,6	02.07.1980	30,9	02.07.1980	145	03.07.1980
28	29,4	03.07.1980	51,5	03.07.1980	173	04.07.1980
29	6,08	21.07.1980	20	21.07.1980	67	21.07.1980
30	97,4	25.07.1980	60,9	26.07.1980	476	26.07.1980
31	31,8	28.07.1980	40,6	28.07.1980	177	29.07.1980
32	104	30.07.1980	115	30.07.1980	339	31.07.1980
33	15,6	04.08.1980	36,2	05.08.1980	118	05.08.1980
34	29,4	06.08.1980	42,8	06.08.1980	134	07.08.1980
35	7,95	12.08.1980	24,7	12.08.1980	87,4	13.08.1980
36	132	16.08.1980	186	16.08.1980	696	16.08.1980
37	15,6	21.08.1980	31,9	21.08.1980	130	21.08.1980
38	70,2	22.08.1980	46,3	22.08.1980	192	23.08.1980
39	8,85	31.08.1980	19,5	31.08.1980	76	31.08.1980
40	42,9	01.09.1980	31,9	01.09.1980	160	02.09.1980
41	7,02	14.09.1980	15,3	15.09.1980	54,5	15.09.1980
42	15,6	15.10.1980	26,8	15.10.1980	76	16.10.1980
43	7,95	19.10.1980	17,8	19.10.1980	53,2	20.10.1980
44	13,8	21.10.1980	39,5	21.10.1980	103	22.10.1980
45	5,2	04.11.1980	14,1	03.11.1980	47	04.11.1980
46	19,8	08.11.1980	50,2	08.11.1980	173	08.11.1980
47	6,08	14.11.1980	17,5	15.11.1980	67	16.11.1980
48	34,2	19.11.1980	38,4	19.11.1980	204	20.11.1980

Таблиця Б.3 Відповідні витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період та час їх настання, 1998 р.

№ з/п	Р.Прут-Яремче (верхній пост)		Р.Черемош-Устеріки (притока)		Р.Прут-Чернівці (нижній пост)	
	Qв. (Яремче), м3/с	Дата	Qв. (Устеріки), м3/с	Дата	Qн. (Чернівці), м3/с	Дата
1	67,9	05.04.1998	96,3	05.04.1998	235	05.04.1998
2	34,2	08.04.1998	83,6	09.04.1998	147	09.04.1998
3	74,4	12.04.1998	158	12.04.1998	226	13.04.1998
4	19,3	17.04.1998	62,8	17.04.1998	100	18.04.1998
5	62,5	20.04.1998	105	20.04.1998	277	21.04.1998

6	13,7	30.04.1998	44,2	28.04.1998	91,2	30.04.1998
7	36	05.05.1998	88,5	05.05.1998	127	06.05.1998
8	8,6	15.05.1998	32,2	15.05.1998	58,8	16.05.1998
9	222	19.05.1998	354	20.05.1998	1559	20.05.1998
10	19,3	26.05.1998	56,8	26.05.1998	148	26.05.1998
11	19,8	17.06.1998	56,8	17.06.1998	162	17.06.1998
12	124	19.06.1998	251	19.06.1998	1012	20.06.1998
13	11	01.07.1998	33,1	30.06.1998	96,9	01.07.1998
14	52,3	03.07.1998	78,4	03.07.1998	343	03.07.1998
15	15,3	07.07.1998	38,6	07.07.1998	114	07.07.1998
16	77	09.07.1998	191	09.07.1998	431	09.07.1998
17	14,6	15.07.1998	47	14.07.1998	121	15.07.1998
18	39,4	17.07.1998	113	17.07.1998	264	17.07.1998
19	11	23.07.1998	39,5	22.07.1998	98,6	23.07.1998
20	9,71	25.07.1998	30,5	24.07.1998	98,6	26.07.1998
21	23,4	27.07.1998	74,3	27.07.1998	139	27.07.1998
22	6,97	04.08.1998	25,4	04.08.1998	54,4	05.08.1998
23	6,13	16.09.1998	13,1	17.09.1998	34,8	17.09.1998
24	18,6	20.09.1998	37,5	19.09.1998	79,9	20.09.1998
25	5,61	27.09.1998	14,9	26.09.1998	37,8	28.09.1998
26	10,6	30.09.1998	20,1	30.09.1998	52,7	01.10.1998
27	9,71	01.10.1998	16,7	01.10.1998	51	02.10.1998
28	23,4	03.10.1998	28,7	04.10.1998	81,6	04.10.1998
29	7,25	09.10.1998	16,7	09.10.1998	44,8	09.10.1998
30	17,2	11.10.1998	33,2	11.10.1998	61,2	12.10.1998
31	8,85	14.10.1998	33,1	14.10.1998	68	15.10.1998
32	6,13	18.10.1998	19,4	19.10.1998	43,5	19.10.1998
33	32,3	21.10.1998	37,8	21.10.1998	86,7	22.10.1998
34	7,89	25.10.1998	21,6	25.10.1998	39,8	26.10.1998
35	11,6	27.10.1998	30	27.10.1998	57,8	28.10.1998
36	8,85	28.10.1998	23,9	28.10.1998	52,7	29.10.1998
37	53,4	30.10.1998	120	30.10.1998	151	31.10.1998
38	19,3	03.11.1998	43,3	03.11.1998	61,2	04.11.1998
39	118	05.11.1998	210	05.11.1998	259	06.11.1998

Таблиця Б.4 Відповідні витрати води на досліджуваних постах у басейні р. Прут за теплий період та час їх настання, 2008 р.

№ з/п	Р.Прут-Яремче (верхній пост)		Р.Черемош-Устеріки (притока)		Р.Прут-Чернівці (нижній пост)	
	Qв. (Яремче), м3/с	Дата	Qв. (Устеріки), м3/с	Дата	Qн. (Чернівці), м3/с	Дата
1	14,7	02.04.2008	27,1	02.04.2008	54	03.04.2008
2	78,1	05.04.2008	78,3	05.04.2008	287	06.04.2008
3	73	13.04.2008	124	13.04.2008	206	14.04.2008
4	25	19.04.2008	65,9	19.04.2008	128	20.04.2008
5	43,7	23.04.2008	113	23.04.2008	264	24.04.2008
6	25	30.04.2008	68,8	30.04.2008	124	30.04.2008
7	21,3	01.05.2008	64,5	01.05.2008	109	02.05.2008

8	38,2	04.05.2008	87,5	05.05.2008	158	05.05.2008
9	21,3	09.05.2008	71,7	10.05.2008	126	11.05.2008
10	16,2	15.05.2008	60,1	13.05.2008	93,8	15.05.2008
11	31,6	17.05.2008	87,5	17.05.2008	106	18.05.2008
12	18,4	20.05.2008	74,5	19.05.2008	97,7	20.05.2008
13	21,3	23.05.2008	103	24.05.2008	132	24.05.2008
14	10,7	17.06.2008	27,1	17.06.2008	54	18.06.2008
15	32,9	19.06.2008	42,1	19.06.2008	86	20.06.2008
16	12	23.06.2008	26,2	23.06.2008	62,6	23.06.2008
17	77,3	24.06.2008	79,1	24.06.2008	150	25.06.2008
18	8,6	07.07.2008	23,7	07.07.2008	46,9	08.07.2008
19	24,4	10.07.2008	37,6	10.07.2008	76,9	10.07.2008
20	9,44	14.07.2008	21,2	14.07.2008	43,6	15.07.2008
21	56,3	16.07.2008	45,6	16.07.2008	124	16.07.2008
22	14,7	21.07.2008	22	21.07.2008	60	22.07.2008
23	382	25.07.2008	754	26.07.2008	2760	27.07.2008
24	15,6	04.08.2008	56,2	04.08.2008	110	05.08.2008
25	20,7	05.08.2008	60,8	05.08.2008	111	06.08.2008
26	6,3	14.09.2008	14,3	14.09.2008	64,5	15.09.2008
27	18,1	16.09.2008	37	16.09.2008	154	18.09.2008
28	13	19.09.2008	22,9	19.09.2008	122	20.09.2008
29	27,8	20.09.2008	35,6	21.09.2008	201	21.09.2008
30	13,4	24.09.2008	21	24.09.2008	107	25.09.2008
31	20,7	26.09.2008	28,5	26.09.2008	131	27.09.2008
32	62,5	06.10.2008	88,9	06.10.2008	341	07.10.2008
33	16,1	18.10.2008	28,5	18.10.2008	94,9	18.10.2008

ДОДАТОК В

**Строкові відповідні витрати води дощових паводків
на досліджуваних постах р. Прут**

**Таблиця В.1 Відповідні строкові максимальні витрати води (м³/с) дощових паводків
окремих років багаторічного періоду на досліджуваних постах у басейні р. Прут**

№ з/п	рік	р. Прут-Яремче (верхній пост)	р. Черемош-Устеріки (бічна притока)	р. Прут-Чернівці (нижній пост)
1	1959	582	545	1510
2	1960	239	192	762
3	1964	680	503	2170
4	1965	301	356	1610
5	1966	124	82,5	342
6	1969	1530	1060	5200
7	1970	530	590	3050
8	1973	295	353	1220
9	1974	1080	622	3880
10	1975	284	344	1020
11	1976	298	260	1140
12	1978	331	580	1740
13	1979	640	527	1760
14	1982	782	559	1950
15	1988	491	508	1370
16	1991	274	409	1190
17	1992	164	294	725
18	1993	133	316	624
19	1994	292	396	1290
20	1995	242	603	1440
21	1996	774	669	1940
22	1998	269	468	1750
23	2001	272	557	1170
24	2002	243	669	1220
25	2004	321	254	479
26	2005	269	290	1390
27	2006	238	354	872
28	2007	417	274	809
29	2008	792	1500	3990
30	2010	561	700	2080