

КИЇВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ ТАРАСА ШЕВЧЕНКА
ГЕОГРАФІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА ГІДРОЛОГІЇ ТА ГІДРОЕКОЛОГІЇ

На правах рукопису
УДК 556.06

Кваліфікаційна робота магістра
Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма «ГІДРОЛОГІЯ»

Тема : «ПРОГНОЗ СЕРЕДНЬОМІСЯЧНОГО ТА СЕЗОННОГО СТОКУ ВОДИ
ЛІТНЬО-ОСІННЬОЇ ТА ЗИМОВОЇ МЕЖЕНІ
Р.ПСЕЛ-С.ЗАПСІЛЛЯ»

Виконав

студент 2-го курсу магістратури
кафедри гідрології та гідроекології
Якіна Ольга Михайлівна

Науковий керівник

канд. геогр. наук,
доц.кафедри гідрології та гідроекології
Лук'янець Ольга Іванівна

Робота рекомендується до захисту (протокол № 12 засідання кафедри
гідрології та гідроекології від 16 квітня 2021 р.)

Завідувач кафедри гідрології та
гідроекології

професор,
доктор географічних наук
Гребінь Василь Васильович

Київ – 2021

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВОДНОГО РЕЖИМУ РІЧКИ ПСЕЛ.....	6
1.1. Географічне положення та рельєф	6
1.2. Кліматична характеристика	10
1.3. Особливості водного режиму річки.....	13
Висновки до 1 розділу	16
РОЗДІЛ 2. ГІДРОГРАФІЯ ТА ГІДРОЛОГІЧНА ВИВЧЕНІСТЬ БАСЕЙНУ Р.ПСЕЛ.....	17
Висновки до 2 розділу	23
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ МЕЖЕНОГО СТОКУ ВОДИ РІВНИННИХ РІЧОК.	24
Висновки до 3 розділу	28
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИК ПРОГНОЗУ СЕРЕДНЬОГО МІСЯЧНОГО СТОКУ ВОДИ ЛІТНЬО-ОСІННЬОЇ ТА ЗИМОВОЇ МЕЖЕНІ р.ПСЕЛ - с.ЗАПСІЛЛЯ.....	29
4.1. Вихідні дані	29
4.2. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середнього стоку попереднього місяця	30
4.3. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця.....	35
4.4. Допустимі похибки прогнозів	40
4.5. Перевірочні прогнози та оцінка розроблених методик прогнозування середньомісячного стоку води.....	43
Висновки до 4 розділу	47

РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА МЕТОДИК ПРОГНОЗУ СЕЗОННОГО СТОКУ ВОДИ ЛІТНЬО-ОСІННЬОЇ ТА ЗИМОВОЇ МЕЖЕНІ р. ПСЕЛ - С. ЗАПСІЛЛЯ.....	49
5.1. Вихідні дані	49
5.2. Прогнозні залежності стоку наступного сезону від стоку води попереднього сезону	49
5.3. Прогнозні залежності стоку наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води	52
5.4. Прогнозні залежності наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону	54
5.5. Допустимі похибки прогнозів сезонного стоку води.....	56
5.6. Перевірочні прогнози та оцінка розроблених методик прогнозування сезонного стоку води	58
Висновки до 5 розділу	61
ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	67
ДОДАТКИ.....	70
ДОДАТОК А. Вихідні дані для розробки методик прогнозування середньомісячного та сезонного стоку води межених періодів, р. Псел – с. Запсілля	71
ДОДАТОК Б. Перевірочні прогнози середньомісячного та сезонного стоку води літньо-осінньої та зимової межени, р. Псел – с. Запсілля.....	75
ДОДАТОК В. Порівняння фактичних та прогнозних середньомісячних та сезонних витрат води для літньо - осінньої та зимової межени, р. Псел – с. Запсілля	82

ВСТУП

Багато галузей економіки, діяльність яких пов'язана з використанням водних ресурсів, потребують різного роду гідрологічних прогнозів. Надійний прогноз дозволяє оптимізувати господарську діяльність з урахуванням потреб виробництва.

Довгострокові прогнози стоку води за період межені та його розподіл у часі, а саме, передбачення середньомісячного та сезонного стоку води літньо-осінньої та зимової межені є важливим питанням прикладної гідрології. Потребу в таких прогнозах відчують усі галузі господарства, вони необхідні для вирішення ряду питань, які пов'язані з сільськогосподарським та промисловим водопостачанням, зрошенням, роботою водного транспорту та ін. На основі прогнозів меженого стоку здійснюється оцінка можливого забруднення річних вод, розрахунок їх очищення чи розбавлення.

Для рівнинних річок, коли спостерігається межень, як характерна фаза водного режиму, на практиці використовують наближені фізико-статистичні методи розрахунку, за допомогою яких можна передбачити, які будуть середні витрати води в наступному місяці чи сезоні в замикальному створі досліджуваної річки.

Об'єкт дослідження – р. Псел, гідрологічний пост с. Запсілля.

Предмет дослідження – меженний стік води річки.

Мета дипломної роботи – розробка методик прогнозування середнього місячного та сезонного стоку води за періоди літньо-осінньої та зимової межені за фізико-статистичними залежностями.

Згідно з об'єктом, предметом та метою дослідження були поставлені наступні **завдання**:

- охарактеризувати фізико-географічні умови формування стоку р. Псел та особливості її водного режиму;

- проаналізувати гідрографію та гідрологічну вивченість басейну та річки Псел;
- ознайомитись з методичними основами довгострокового прогнозування меженного стоку води рівнинних річок;
- проаналізувати та сформувати банк необхідних гідрометричних даних для розробки методик прогнозу;
- побудувати залежності середнього місячного та сезонного стоку води за періоди літньо-осінньої та зимової межені р. Псел біля с. Запсілля з різними предикторами, опрацювати прогнозні методики та визначити допустимі похибки прогнозів;
- зробити перевіірочні прогнози за розробленими методикам та оцінити їх точність та ефективність.

Методи досліджень – методи аналізу, систематизації та узагальнення вихідних гідрометеорологічних даних; кореляційні методи (рівняння регресії, коефіцієнти апроксимації, кореляції та кореляційних відношень отриманих прогнозних залежностей); методи математичної статистики для визначення допустимих похибок прогнозів та оцінки ефективності розроблених методик прогнозу; методи гідрологічного прогнозування.

Для опрацювання методик прогнозу було обрано багаторічний період з 1928 по 2019 рр., з перервами на 1941-1949 рр.. Був сформований банк даних середніх місячних та сезонних витрат води р. Псел – с. Запсілля за місяці літньо-осінньої та зимової межені, а також середньодобових витрат води на час t – кінцеву дату попереднього місяця або сезону за період 1985-2018 рр.

Структура та обсяг роботи. Робота складається з вступу, 5 розділів, висновку, переліку посилань та додатків.

Всі розрахунки зроблені за допомогою ПК.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВОДНОГО РЕЖИМУ РІЧКИ ПСЕЛ

1.1. Географічне положення та рельєф

Витоки р. Псел розташовані в Росії, в межах Прохорівського району Білгородської області. Річка перетинає російсько-український кордон на північний захід від села Запсілля. Тече спершу переважно на захід, у межах Сумської області й до міста Гадяч — здебільшого на південний захід, далі — на південь і (частково) південний захід. Впадає в р. Дніпро з лівого берега на 564 км від гирла, в 10 км нижче м. Кременчук, на висоті 62,4 м над рівнем моря [3].

У межах України знаходиться 72% від загальної площі водозбору р. Псел (рис.1.1).

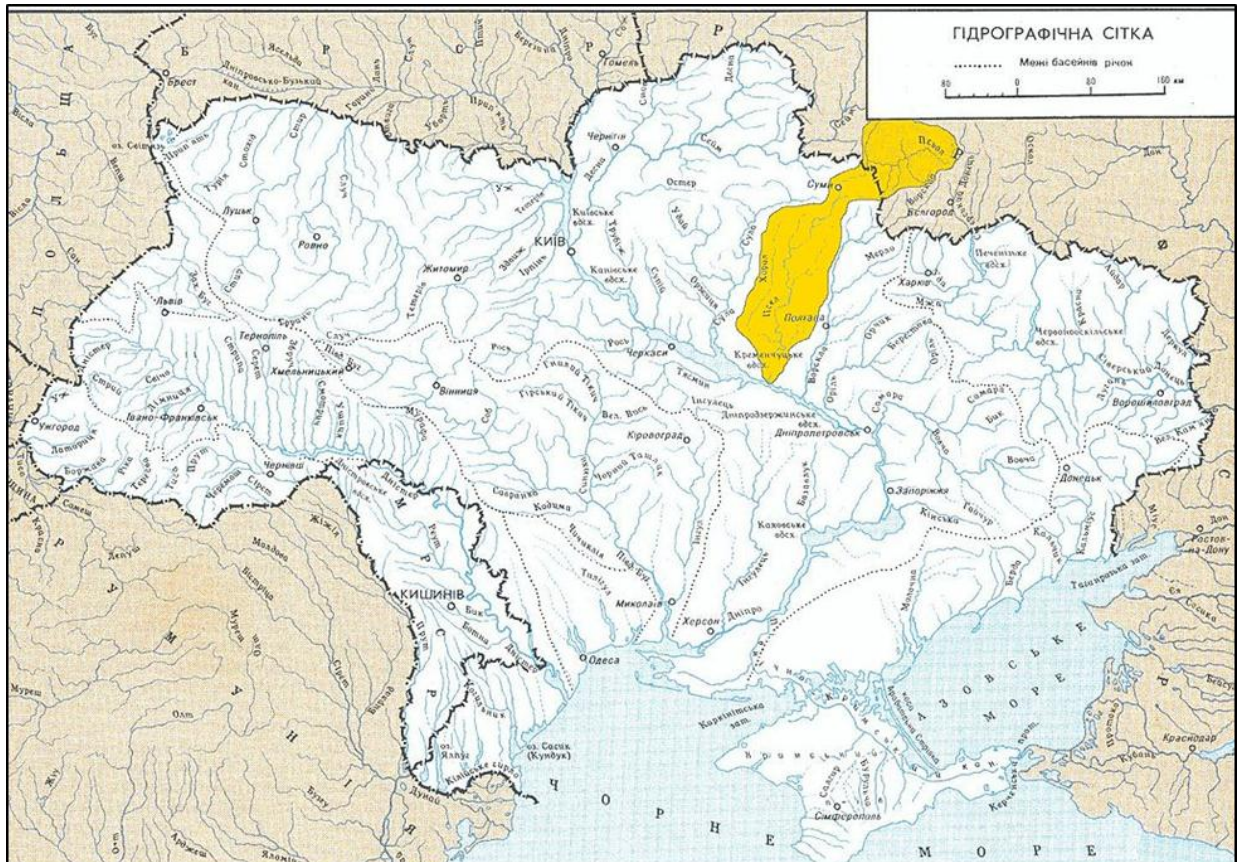


Рис.1.1. Басейн річки Псел на гідрографічній мапі України [31]

р. Сіверський Донець, на півдні та сході – з басейном р.Ворскла. Довжина басейну сягає 470 км, середня ширина 40-км, найбільша - 95 км.

Поверхня басейну являє собою полого-горбисту рівнину, сильно розсічену сухими балками та ярами, а також долинами притоків. На водорозділах та дуже пологих схилах часто зустрічаються заглиблення діаметром 30-60 м та глибиною 0,5-2,0 м [23].

В геологічній будові басейну приймають участь юрські та крейдові відкладення. Найбільше розповсюдження має біла крейда, зверху прикрита третинними пісками. Четвертині відкладення представлені лесовидними суглинками значної потужності. В багатьох місцях в верхній частині річки, на схилах долини, крейдові товщі та підстилаючи їх мергелі оголені; карст тут розвинений слабо. Яри, в більшій частині, добре дреновані, сухі, представляють значні заглиблення серед горбистої рівнини. Грунтовим покривом є слабо лужні та лужні чорноземи, з вкрапленнями темно-сірих ґрунтів лісостепу, що залягають переважно на правобережній частині басейну [6].

Основна площа басейну – це орні угіддя, решта - зайнята лісом або задернована. Ліс зустрічається у вигляді островків, переважно на вершинах балок і в долинах річок. Лісистість водозбору річки зменшується від витoku до гирла. У верхній частині водозборів вона досягає 15 - 20%, а у нижній течії – 5 – 10%. Заболоченність 1-2% [5].

Долина р. Псел звивиста, переважно трапецієвидна, і лише в верхів'ї річки, до с. Берегове – V-образна, глибоко врізана, з помірно крутими схилами. Схили долини асиметричні: правий – на протязі річки переважно високий - від 30-40 до 50-70 м, помірно крутий, місцями крутий чи обривистий, дуже розсічений балками, ярами та долинами приток. Лівий схил долини в верхів'ї дещо нижчий ніж правий – 20-30 м, на протязі річки переважно пологий та дуже пологий [3].

Заплава річки переважно двобічна, на окремих невеликих ділянках однобічна. Переважна ширина її 1,6-2,3 км, місцями – 3-5 км, а в пригирловій частині – 7-9,5 км. В верхів'ї заплава звужується до 50-400 м. Поверхня

заплави переважно рівна, в багатьох місцях має характер заболоченої улоговини [16].

1.2. Кліматична характеристика

Кліматичні умови басейну р. Псел визначаються особливостями атмосферної циркуляції, радіаційними факторами та характером підстильної поверхні.

Рівнинний характер поверхні басейну сприяє поширенню над її територією повітряних мас трьох типів і шести підтипів. Серед трьох зональних типів переважають повітряні маси помірних широт (понад 2/3 днів за рік). Арктичні повітряні маси панують впродовж в середньому 37 днів, а тропічні – понад 73 дні за рік. У понад 2/3 кількості днів у році панує континентальний підтип повітряних мас – із суходолу Євразії; у 1/3 днів панує морський підтип повітряних мас (із північної та центральної Атлантики та внутрішніх морів – Середземного, Чорного, Азовського).

Середня місячна температура повітря у січні-лютому змінюється від мінус 6 °С на північному сході до мінус 5 °С - у гирлі річки. Середня місячна температура повітря у липні-серпні зростає у напрямку з півночі на південь від +19°С у м. Сумах до +20°С - у м. Гадяч.

Таблиця 1.1

Середня місячна температура повітря за період з 1961-1990 рр.,(°С)

Метеостанція	Місяці												За рік
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Суми	-6	-6	-1	8	15	18	20	19	13	7	1	-4	7
Лебедин	-6	-5	0	9	15	19	20	19	13	7	1	-3	7
Гадяч	-6	-5	0	9	15	19	20	19	14	7	1	-3	8

Абсолютний максимум температури повітря +39,9 °С (м. Суми) зафіксовано 11 серпня 1907 року . Абсолютний мінімум температури повітря (мінус 36,0 °С) - 6 січня 1935 року (м. Суми).

У річному ході найвищий абсолютний максимум температури повітря (35 -40°С) у більшості випадків спостерігається у літні місяці (червень-серпень).

На рис. 1.3 подана часова динаміка середньої річної температури повітря в районі дослідження за даними спостережень метеостанції Гадяч (°C) за період з 1961 по 2019 рр.

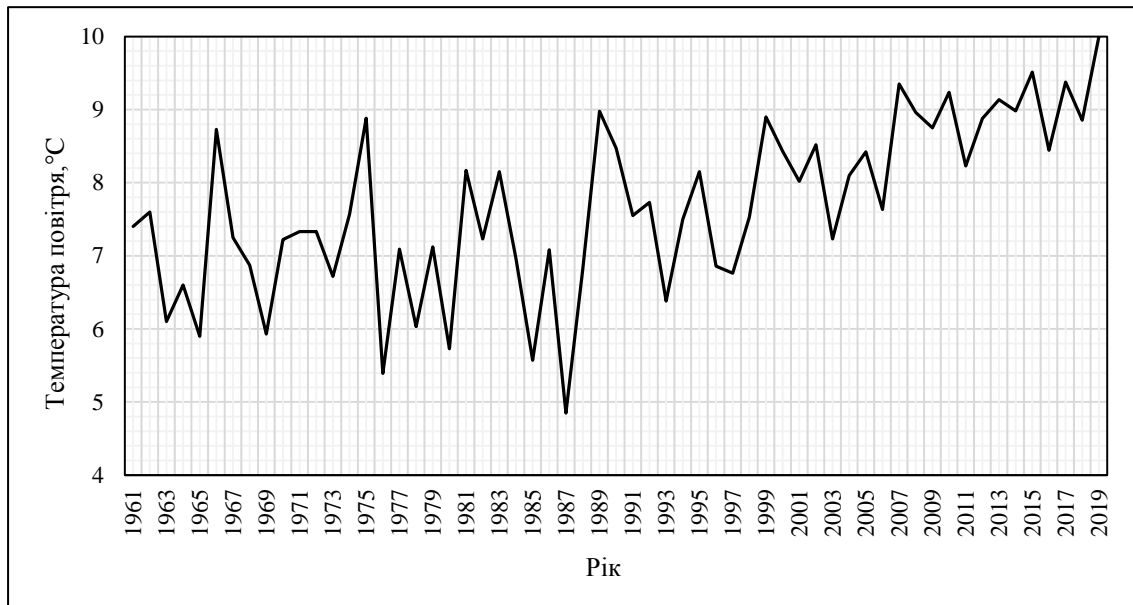


Рис. 1.3. Часова динаміка середньої річної температури повітря (°C), за даними метеостанції Гадяч

Як бачимо з рис. 1.3, найхолодніші роки припадають на 1976, 1985 та 1987 рр. Найтепліші на 1966, 1974 та 1989 рр. У віковому ході зберігається тенденція до збільшення температури повітря. В 2007, 2010, 2013-2015 року середньорічна температура повітря перевищила всі попередні найтепліші роки і стала вище 9°C. В 2019 р. середня річна температура повітря досягнула найвищої позначки за період спостережень з 1961 по 2019 рр. - 10°C.

Відносна вологість повітря в середньому становить 74 %, найменша вона у травні (61 %), найбільша — у грудні (88 %).

Атмосферні опади є важливою характеристикою зволоження будь-якої території й відіграють вирішальну роль у процесі формування стоку води річок. Основною закономірністю просторового розподілу опадів у межах басейну обумовлено загальними циркуляційними факторами [16].

Середня кількість атмосферних опадів за рік за багаторічними даними спостережень за період 1960-2015 рр., в басейні р. Псел дорівнює в середньому 560-600 мм (табл. 1.2). Змінюється від 582 мм на півночі до 613 мм - на півдні басейну. За даними на рис. 1.4, на якому подана часова динаміка річних сум опадів за період з 1961 по 2019 рр. за даними метеостанції Гадяч, можна прослідкувати, що в басейні р. Псел були роки як дуже зволожені, коли річна кількість опадів досягала 800-900 мм (1973, 1980-1981, 2001 рр.), так й посушливі, бідні на опади – 400-450 мм (1961, 1975, 2011, 2019 рр.) [3].

Таблиця 1.2

Середня кількість опадів по місяцях за період 1960-2015 рр., мм

Метеостанція	Місяці												Сума
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
Суми	40	33	37	37	58	64	75	54	48	44	47	45	582
Лебедин	38	31	36	38	52	63	79	51	47	42	42	41	560
Гадяч	47	39	43	38	53	70	77	53	49	45	48	50	613

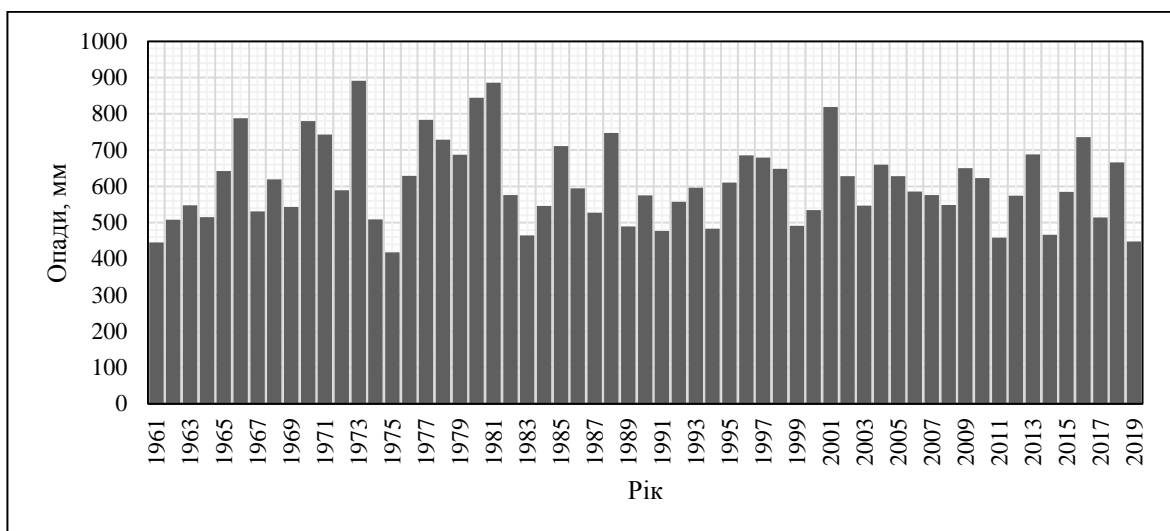


Рис. 1.4. Часова динаміка річних сум опадів (мм), за даними метеостанції Гадяч

Якщо взяти внутрішньорічний розподіл атмосферних опадів, то найменша їх кількість випадає в лютому-березні (30-40 мм). Найбільше приходить відповідно на липень (75-80 мм) і червень (65-70 мм). Потім кількість опадів зменшується і досягає у жовтні (40-45 мм) найменших значень за теплий період року. Велика частина річних опадів випадає в теплу пору року, в холодний період випадає 25-30% річної кількості опадів.

Стійкий сніговий покрив встановлюється зазвичай в кінці листопада і утримується до кінця березня-початку квітня. Висота снігового покриву за територією розподіляється нерівномірно та змінюється протягом зими. У кінці грудня висота снігового покриву в середньому складає 0.10 м. У січні висота снігового покриву дорівнює 0.20 м. У лютому спостерігається незначне його зменшення. До періоду весняного сніготанення висота снігового покриву набуває максимуму, за винятком зим із значним потеплінням. В окремі роки висота снігового покриву може бути значно більше за середні величини (до 0.53 м). Щільність снігового покриву постійно змінюється у часі та просторі й багато у чому залежить від погоди. До моменту сніготанення середня щільність снігу дорівнює $0.20 \text{ г/см}^3 - 0.26 \text{ г/см}^3$, а запаси води у снігу зазвичай максимальні й дорівнюють 0.50 м. Тривалість періоду сніготанення залежить від товщі та щільності снігового покриву. Середня тривалість періоду сніготанення 16 – 20 діб, у роки з теплою весною танення відбувається за 4 – 8 діб. Максимальна інтенсивність сніготанення досягає 0.30 м шару снігу за декаду, а за добу може досягнути 0.10 – 0.13 см [24].

1.3. Особливості водного режиму річки

За гідрологічним районуванням водозбір р. Псел знаходиться у зоні у Лівобережно-Дніпровській області достатньої водності [15].

Згідно з ландшафтно-гідрологічним районуванням, річка відноситься до Лісостепової недостатньо зволоженої ландшафтно-гідрологічної зони, а саме Лівобережно - Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції [13].

Водний режим р. Псел характеризується чітко вираженим весняним водопіллям і низькою меженню як літньо-осіннього, так й зимового сезонів (рис. 1.5). Суттєво меншими є витрати зимового меженного стоку води у порівнянні зі стоком літньо - осінньої межені [8,22].

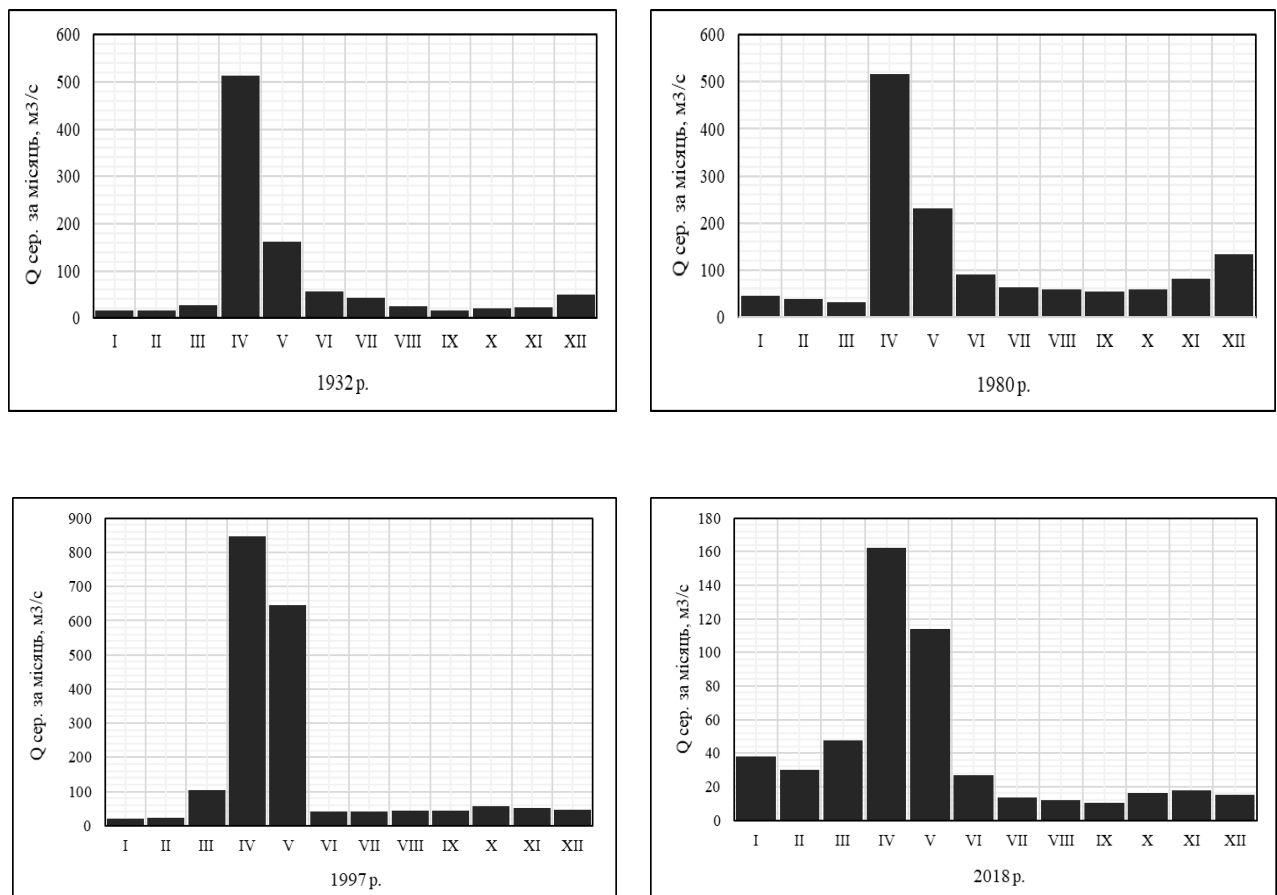


Рис. 1.5. Внутрішньорічний розподіл середньомісячного стоку води за 1932, 1980, 1997, 2018 рр., р. Псел – с. Запсілля

На весняний сезон р. Псел припадає 65-70% річного стоку (див. рис. 1.5). Внесок підземного живлення у середні за водністю роки досягає близько 30% від загального живлення [10,28].

Скресання річки відбувається у березні та на початку квітня. Весняне водопілля триває з початку березня до середини травня.

Таким чином, основна частина стоку води р. Псел формується в період проходження весняного водопілля. Початок весняного водопілля відноситься,

зазвичай, до першої-другої декади березня, інколи, при ранньому таненні снігу – до другої – третьої декади лютого. Закінчується водопілля у другій-третьій декаді квітня, інколи - в першій-другої декаді травня. Тривалість водопілля на р. Псел становить 1,5-2 місяці [13,21].

Найбільша максимальна витрата води, що будь коли спостерігалась на р. Псел – с. Запсілля, становить $1100 \text{ м}^3/\text{с}$, а найменша з мінімальних за весь період спостережень – $0,8 \text{ м}^3/\text{с}$ (табл. 1.3).

Таблиця 1.3

Характерні витрати води на діючій мережі спостережень, р. Псел

Річка-пост	Площа водозбору, км ²	Максимальна витрата		Мінімальна витрата	
		м ³ /с	дата	м ³ /с	дата
Псел-Суми	7770	1030	07-08.04.1941	1,11	30.06.1939
Псел-Гадяч	11300	1010	06-04.1960,10.04.1970	1,64	10,11.08.1936
Псел-Запсілля	21800	1100	18,19.04.1932	0,8	21-28.09.1939

Максимальні рівні та витрати води весняного водопілля на р. Псел, як правило, є максимальними річними рівнями води і спостерігаються наприкінці березня – на початку квітня. Інтенсивність підйому рівнів води під час водопілля залежить від водності весни.

Висновки до 1 розділу

За фізико-географічним положенням досліджувана р. Псел знаходиться у лісостеповій природній зоні, поверхня басейну якої є полого-горбиста рівнина, сильно розсічена сухими балками та ярами, а також долинами приток. За адміністративним поділом річка протікає у межах Курської і Білгородської областей Російської Федерації та у межах Сумської й Полтавської областей України. Впадає в р. Дніпро з лівого берега. У межах України знаходиться 72% від загальної площі водозбору р. Псел.

Клімат басейну р. Псел помірно-континентальний. Середня річна температура повітря $+ 7.3^{\circ}\text{C}$. Середня місячна температура у січні-лютому зростає від -6°C на північному сході до -5°C - у гирлі річки, а у липні-серпні від $+19^{\circ}\text{C}$ до $+20^{\circ}\text{C}$. В сучасний період прослідковується тенденція до збільшення температури повітря. Середньорічна кількість атмосферних опадів складає 560-600 мм. Для басейну за багаторічний період характерні коливання: відмічалися як дуже зволожені роки, коли річна кількість опадів досягала 800-900 мм (1973, 1980-1981, 2001 рр.), так й посушливі, бідні на опади – 400-450 мм (1961, 1975, 2011, 2019 рр.).

Водний режим р. Псел характеризується чітко вираженим весняним водопіллям і низькою меженню як літньо-осіннього, так й зимового сезонів. На весняний сезон припадає 65-70% річного стоку. Внесок підземного живлення досягає близько 30% від його загальної величини. Щодо меженних періодів, то стік води зимового сезону є суттєво меншим у порівнянні зі стоком літньо-осінньої межени.

В басейні р. Псел ведуться гідрометричні спостереження у створах його приток - р. Говтва - с. Михнівка та р. Хорол – м. Миргород.

Річка Псел має асиметричну долину: лівий берег пологий, із заплавою, невисокими і широкими надзаплавними терасами; правий - високий і крутий. Найвища відмітка становить 217 м над рівнем моря. Витік річки знаходиться в Росії на межі Курської та Білгородської областей біля села Пагорби. Свій початок річка бере на західних схилах Середньоруської височини. Долина річки у верхній частині (до м. Суми) вузька, глибока, з крутими схилами. Нижче її ширина у середньому становить 10-15 км, досягаючи 20 км в пониззі. Заплава є асиметричною; її правий берег високий (30-70 м), лівий – пологий [23].

Старе річище було розчленовано протоками, в середній та нижній течії річка місцями заболочена. Течія спокійна, її швидкість у середньому наближається до 2 км/г. Ухил річки становить 0.23 м/км. Русло є сильно звивистим, шириною до 30-100 м. Глибина річки досягає 2-4 метрів. Водночас у верхній та середній течії часто зустрічаються мілководні ділянки. Дно піщане, на розливах мулисте. Уздовж річки розташовані численні піщані пляжі [23].

Середня висота водозбору коливається у межах 160-220 м, лісистість змінюється від 2 до 12 %, найбільші значення заболоченості не перевищують 3% (табл. 2.1) [5].

Щодо гідрологічної вивченості стоку води досліджуваної річки в межах України, то спостереження за ним проводять на трьох гідрометричних постах. Самий верхній за течією пост на р. Псел знаходиться біля м. Суми (водозбірна площа розміром 7770 км²), у середній течії розташований пост у м. Гадяч (11300 км²) та нижній за течією замикальний створ на р. Псел знаходиться біля с. Запсілля (21800 км²) [12].

Тривалість спостережень за стоком води на вищезазначених гідрологічних постах в басейні р. Псел в межах України складає 82 - 92 років (табл. 2.2). Найдовший період спостережень за витратами води на р. Псел має гідрологічний пост біля с. Запсілля (1928-2020 рр.)

Таблиця 2.1

**Гідрографічні та морфометричні характеристики в створах
гідрологічних постів р. Псел**

Річка - пост	Відстань від витоку, км	Середній похил, ‰	Площа водозбору, км ²	Середня висота водозбору, м	Середній похил водозбору, ‰	Заболоченість, %	Лісистість, %	Розораність, %
Псел - Обоянь	59	1,2	1100	220	-	2	4	70
Псел - Суми	272	0,4	7770	190	-	1	6	-
Псел - Гадяч	414	0,3	11300	180	-	1	9	-
Псел - Запсілля	702	0,2	21800	160	-	3	8	-

Таблиця 2.2

**Характеристика гідрологічних постів на р. Псел та тривалість рядів
спостережень за стоком води**

Річка - Пост	Період спостережень	Географічні координати		"0" поста
р. Псел - м. Суми	1938-2020 рр.	50,54	34,48	121,48
р. Псел - м. Гадяч	1936-2020 рр.	50,22	34,01	95,49
р. Псел - с. Запсілля	1928 - 2020 рр.	49,13	33,35	62,73

Нижче наведено характеристика гідрологічних постів в межах України.

Гідрологічний пост р. Псел – м. Суми. Пост розташований в центрі міста, в 0.5 км нижче впадіння р.Сумка, в 80 м нижче залізобетонного моста.

Прилегла до долини річки місцевість низинно–рівнинна. Долина річки трапецієвидна. Правий схил висотою 20 – 30 м, крутий, розсічений балками і ярами, лівий – висотою до 12 м, помірно крутий. Схили складені супіском, зайняті будівлями міста. Заплава лівобережна, шириною 200 – 500 м, вище і нижче поста ширина заплави досягає 1.5 – 2.0 км; лугова, піщана і мулисто – піщана, зайнята будівлями міста. Починає затоплюватись при рівні води 450 см

над нулем поста. На ділянці поста заплава перетинається насипом шосейної дороги, через русло дорога проходить по залізобетонному мосту.

Русло річки звивисте, на ділянці поста каналізоване, мулисто – піщане, місцями піщане, слабо деформується, заростає. Береги висотою 4 – 6 м, похилі, укріплені кам'яним накидом, місцями облицьовані залізобетонними плитами.

На режим річки впливають скиди теплих відпрацьованих вод підприємствами міста вище і нижче поста, внаслідок чого льодовий режим на ділянці поста нестійкий.

В 15 км нижче поста знаходиться Низівська ГЕС, рівні води на посту більшу частину року в підпорі.

В басейні річки до створу поста налічується 34 ставки, загальною площею 194 га, об'ємом в межень 2200 тис.куб.м. Ставки використовуються для забезпечення місцевих господарських потреб.

Пост пальовий, розташований на лівому березі.

На посту прийнята Балтійська система висот.

Відмітка нуля поста 121.48м БС.

Гідроствори розташовані: № 5 (меженний) – в 400 м вище, № 8 (паводковий) – в 280м нижче поста, крім того, витрати води вимірювались на тимчасових гідростворах.

Температура води вимірюється в 80 м вище поста ,на середині річки; з 2004 р. температура води вимірюється в створі поста ,біля берега .Товщина льоду – в створі поста, на середині річки.

Гідрологічний пост р. Псел - м. Гадяч. Пост розташований на східній околиці міста, в створі залізобетонного моста автодороги Полтава – Гадяч, в 0.4 км нижче впадіння р. Грунь.

Прилегла до долини річки місцевість низинно–рівнинна, хвиляста, лісостепова. Долина ріки трапецієвидна. Правий схил висотою до 50 м, крутий, місцями дуже крутий, розсічений балками і ярами, вкритий чагарником та окремими групами дерев; лівий – пологий, поступово переходить в прилеглу місцевість, місцями вкритий лісом. Схили складені супіском і суглинком.

Заплава переважно лівобережна, шириною 1.5 – 2.0 км, лугова, піщана, суха, в низині місцями заболочена, пересічена старицями, задернована, вкрита чагарником та окремими деревами. Заплава частково використовується під сільськогосподарські угіддя; починає затоплюватись при рівні води 500 см над нулем поста. Заплава перетинається насипом шосейної дороги, через русло річки дорога проходить по залізобетонному мосту.

Русло річки прямолінійне, мулисто – піщане, заростає. Береги висотою 1.5 – 2.0 м, пологі, затопляються, складені супіском, місцями піддаються розмиву.

На режим річки впливає підпір від шлюзу – регулятора, розташованого в 5 км нижче поста.

В басейні річки до створу поста налічується 310 ставків, загальною площею 1250 га, об'ємом в межень 13.8 млн.куб.м. Ставки використовуються для забезпечення місцевих господарських потреб.

Пост рейково – пальовий, розташований на правому березі.

На посту прийнята Балтійська система висот.

Відмітка нуля поста 95.49 м БС.

Гідроствори розташовані: № 3 (меженний) – в 120 м нижче, № 4 (паводковий і меженний) – в створі поста.

Одиничні проби на мутність відбираються в створі поста, в 70 м від постійного початку, одноточковим способом, батометром – пляшкою об'ємом 1 л.

Проби для визначення крупності завислих і донних наносів відбираються в створі поста і в 120 м нижче.

Температура води вимірюється в створі поста, на середині річки; товщина льоду – в 120 м нижче поста, на середині річки.

Гідрологічний пост р.Псел – с.Запсілля. Пост розташований на західній околиці села, в 0,3 км на захід від стінного репера, в створі підвісного пішохідного моста, який з'єднує села Запсілля і Омельник.

Прилегла до долини річки місцевість низинно–рівнинна, використовується під сільськогосподарські угіддя. Долина річки неявно виражена, пряма. Схили дуже пологі, непомітно переходять в прилеглу місцевість, слаборозсічені, складені супіском, використовуються під сільськогосподарські угіддя, частково зайняті присадибними будівлями села. Заплава шириною 1.0 – 2.0 км, суха, чагарникова, з окремими гаями, місцями лугова, помірно пересічена улоговинами, мулисто – піщана, в прирусловій частині – піщана. Починає затоплюватись при рівні води 500 см над нулем поста.

Русло річки звивисте, піщано – мулисте, зазнає деформації. Лівий берег висотою 4 – 5 м, правий – 2 – 3 м. Береги обривисті, піщані, піддаються розмиву, зарослі чагарником та окремими деревами

На ділянці поста спостерігаються затори льоду. З червня 1964 року ділянка поста періодично знаходиться в підпорі від Кам'янського водосховища.

В басейні річки до створу поста налічується 913 невеликих ставків загальною площею 4060 га, об'ємом в межень 39,1 млн.куб.м. Ставки використовуються для забезпечення місцевих господарських потреб.

Пост пальовий, розташований на лівому березі.

На посту прийнята Балтійська система висот.

Відмітка нуля поста 62.73 м БС.

Гідроствори розташовані: № 3 (меженний) – в створі поста, №2 (паводковий) – в 0.15 км нижче поста, крім того, витрати води в паводок і межень вимірювались в 0.63 км нижче поста (з підвісного пішохідного моста).

Температура води вимірюється в створі поста , біля берега, товщина льоду – в створі поста, на середині річки.

Висновки до 2 розділу

Річкова мережа річки Псел помірно розвинута, середня щільність становить $0,27 \text{ км/км}^2$. Площа водозбору річки Псел на території України становить 16270 км^2 . Середній похил річки $0,23 \text{ м/км}$.

На р. Псел в межах України спостереження за стоком води проводять на трьох гідрометричних постах: самий верхній за течією пост на р. Псел знаходиться біля м. Суми (водозбірна площа розміром 7770 км^2), у середній течії розташований пост у м. Гадяч (11300 км^2) та нижній за течією замикальний створ на р. Псел знаходиться біля с. Запсілля (21800 км^2). Найдовші ряди спостережень за витратами води має пост на р. Псел біля с. Запсілля - 1928-2021 рр.

Річка Псел має асиметричну долину: лівий берег пологий, із заплавою, невисокими і широкими надзаплавними терасами; правий - високий і крутий. Найвища відмітка становить 217 м над рівнем моря. Долина р. Псел звивиста, переважно трапецієвидна, і лише в верхів'ї річки, до с. Берегове – V-образна, глибоко врізана, з помірно крутими схилами. Русло є сильно звивистим, шириною до 30-100 м. Глибина річки досягає 2-4 метрів. Водночас у верхній та середній течії часто зустрічаються мілководні ділянки.

РОЗДІЛ 3

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОВГОСТРОКОВОГО ПРОГНОЗУВАННЯ МЕЖЕНОГО СТОКУ ВОДИ РІВНИННИХ РІЧОК

Під меженним стоком рівнинних річок розуміється стік літньо-осіннього та зимового періодів, коли річки живляться підземними водами і лише час від часу отримують приплив від дощів або від танення снігу під час зимових відлиг [12].

Обсяг меженого стоку за певний відносно великий період часу можна представити рівністю:

$$\sum_t^{t+\Delta t} Q = W + \sum_t^{t+\Delta t} Q_{\text{п}} + \sum_t^{t+\Delta t} Q_{\text{д}} \quad (3.1)$$

де $\sum_t^{t+\Delta t} Q$ – меженний стік за час Δt ;

W – запаси води у річковій мережі в момент t ;

$\sum_t^{t+\Delta t} Q_{\text{п}}$ – стік підземних вод, що надходять в річкову мережу за час Δt ;

$\sum_t^{t+\Delta t} Q_{\text{д}}$ – стік за рахунок дощів або талих вод;

З складових формули (3.1) в даний час тільки запаси води в руслі можуть бути розраховані з достатньою точністю [2,27].

Визначення стоку підземних вод, особливо стоку талих, а також дощових вод за період завчасності прогнозу зустрічає серйозні труднощі. У зв'язку з цим використовуються наближені залежності меженого стоку від факторів, що

його визначають, чи їх індексів, що опосередковано характеризують ці чинники [2].

В практиці гідрологічного прогнозування найбільш часто використовуються для прогнозів меженного стоку наступні залежності.

1. *Зв'язок подальшого стоку з попереднім:*

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t) \quad (3.2)$$

де $\bar{Q}_{t+\Delta t}$ - середня витрата води за період Δt (зазвичай за декаду, місяць);

Q_t – витрата води на будь-яку дату попереднього періоду;

При прогнозі місячного стоку води зазвичай на 20, 25 або 30-е число попереднього місяця в тому ж створі річки. Часто замість Q_t використовується середня витрата води за попередній період $\bar{Q}_{t-\Delta t}$.

В цьому випадку витрата води є непрямою характеристикою відповідних запасів підземних і руслових вод. Зі сказаного випливає, що витрати води Q_t , що використовуються при прогнозуванні, не повинні припадати на підйом або крутий спад дощових паводків; вони повинні належати до періоду повільного спаду межені [2,30].

2. *Залежність середньої витрати, наприклад середньомісячної, від запасів води в русловій мережі та рівня ґрунтових вод.*

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_t, H_{гт}) \quad (3.3)$$

де W_t - запаси води в русловій мережі на початок розрахункового інтервалу;

$H_{гт}$ - рівень ґрунтових вод на той же момент часу

У ряді випадків застосовуються зв'язки виду

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = \varphi(W_t) \quad (3.4)$$

Такого роду залежності є досить точними, коли стік води наступного місяця формується за рахунок виснаження руслових і підземних запасів води. Це має місце на великих і середніх річках зони недостатнього зволоження в літній період і на північних річках зони надлишкового зволоження в зимовий період [2,12].

3. Залежність $(\bar{Q}_{t+\Delta t} = \varphi(X, E, W_1, W_2))$, встановлюється шляхом побудови графіків зв'язку:

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t, \Sigma X) \quad (3.5)$$

або

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_t, \Sigma X) \quad (3.6)$$

де ΣX - сума опадів, що формують дощовий стік води за період завчасності прогнозу Δt .

В (3.5) і (3.6) витрата води Q_t і запаси води в руслової мережі W_t одночасно є непрямими характеристиками насиченості басейну вологою, а тому в поєднанні зі стокоутворюючими опадами характеризують їх втрати [2,7,18].

Для зимового періоду замість ΣX можуть бути прийняті запаси води в снігові при повному таненні його в період відлиг або суми позитивних значень температури за відлиги при частковому таненні снігу.

Іноді температуру повітря враховують і при виявленні прогностичних залежностей для літньої межени (як індекс випаровування) [25,26].

У тих випадках, коли стокоутворюючі опади мало змінюються за багаторічний період, виявляється можливим отримати залежність стоку від запасів води в руслової мережі W та показника запасів вологи в ґрунті W_2 :

$$\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(W_1, W_2) \quad (3.7)$$

Використання такого роду залежностей не вимагає прогнозу опадів.

4. Зв'язок складових стоку \bar{Q}_1 і \bar{Q}_2 з визначальними їх чинниками. При цьому витрата води \bar{Q}_1 прогнозується за залежностями, що є аналогічними викладеним вище - по зв'язку з попередньою витратою або запасом води в руслової мережі. Дощова складова \bar{Q}_2 розглядається як функція стокоутворюючих опадів і характеристик або індексів втрат [2,19,20].

У випадках талого стоку при повному таненні снігу

$$\bar{Q}_2 = f(S, I_W, L) \quad (3.8)$$

а при частковому таненні снігу

$$Q_2 = f(\sum \theta, I_W, L) \quad (3.9)$$

де S – запаси води в снігу;

I_W - показник льодовість ґрунту;

L – глибина промерзання ґрунту;

$\sum \theta$ - сума позитивних значень температури повітря за період відлиг.

Висновки до 3 розділу

Методичною основою довгострокового прогнозування меженного стоку води рівнинних річок є рівняння водного балансу, основними складовими якого є:

- 1) запаси води у річковій мережі в момент часу t ;
- 2) стік підземних вод, що надходять в річкову мережу на час $(t+\Delta t)$;
- 3) стік за рахунок дощів або талих вод теж на час $(t+\Delta t)$.

З зазначених складових тільки запаси води в руслі на момент часу t можуть бути розраховані з достатньою точністю. Передбачення стоку підземних вод на час $(t+\Delta t)$, а також дощових (талих) вод за період завчасності прогнозу Δt викликає труднощі, насамперед, це проявляється у точності прогнозу зазначених величин для вирішення рівняння водного балансу меженного стоку води у гідрологічних прогностичних цілях.

В практиці гідрологічного прогнозування для прогнозів меженного стоку широко використовують більш прості, але доволі ефективні фізико-статистичні зв'язки виду $\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t)$, тобто залежності наступного стоку від попереднього. В них витрата води (Q_t) є непрямою характеристикою відповідних запасів підземних і руслових вод.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА МЕТОДИК ПРОГНОЗУ СЕРЕДНЬОГО МІСЯЧНОГО СТОКУ ВОДИ ЛІТНЬО-ОСІННЬОЇ ТА ЗИМОВОЇ МЕЖЕНІ р. ПСЕЛ - с. ЗАПСІЛЛЯ

4.1. Вихідні дані

Для розробки методик прогнозування середнього місячного стоку води літньо-осінньої та зимової межені на р. Псел біля с. Запсілля було обрано фізико-статистичну залежність (3.2), яка базується на знаходженні зв'язку подальшого водного стоку річки з його попередньою величиною. При цьому для прогнозу середнього стоку води за місяці межених періодів розглядалися два предиктори:

- середній стік попереднього місяця;
- середньодобова витрата води наприкінці попереднього місяця.

Для опрацювання методик прогнозу був сформован банк середньомісячних витрат води літньо-осінньої та зимової межені на р. Псел біля с. Запсілля за багаторічний період (з 1928 – 2019 рр.) з перервами на 1941-1949 рр. [9].

Для першого предиктанта, тобто знаходження зв'язку стоку води наступного місяця від попереднього, був взятий період з 1928-2019 рр., всього 83 років. Для другого предиктанта за наявності стокових даних за місяці літньо-осіннього та зимового сезонів, додатково створено за 33 роки (за період з 1985-2018 рр.) банк даних середньодобових витрат води на час t – кінцеву дату попереднього місяця відносно місяця, що прогнозуємо, тобто на наступні дати – 31.05; 30.06; 31.07; 31.08; 30.09; 31.10; 30.11; 31.12; 31.01;

4.2. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середнього стоку попереднього місяця

Для побудови прогнозних залежностей виду $Q_{t+dt} = f(Q_{\text{сер.}t})$ та їх оцінки, необхідно мати середній стік води попереднього місяця в час t та середньомісячні витрати води за час $(t+dt)$.

Тобто, для прогнозування середньомісячних витрат на літньо-осінній та зимовий період були побудовані наступні залежності (рис. 4.1):

- 1) залежність середньомісячної витрати води за червень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку травня,

$$Q_{\text{сер}(VI)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(V)}(t).$$
- 2) залежність середньомісячної витрати води за липень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку червня,

$$Q_{\text{сер}(VII)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(VI)}(t).$$
- 3) залежність середньомісячної витрати води за серпень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку липня,

$$Q_{\text{сер}(VIII)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(VII)}(t).$$
- 4) залежність середньомісячної витрати води за вересень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку серпня,

$$Q_{\text{сер}(IX)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(VIII)}(t).$$
- 5) залежність середньомісячної витрати води за жовтень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку вересня,

$$Q_{\text{сер}(X)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(IX)}(t).$$
- 6) залежність середньомісячної витрати води за листопад на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку жовтня,

$$Q_{\text{сер}(XI)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(X)}(t).$$
- 7) залежність середньомісячної витрати води за грудень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку листопада,

$$Q_{\text{сер}(XII)}(t+dt) = f Q_{\text{сер}(XI)}(t).$$

- 8) залежність середньомісячної витрати води за січень на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку грудня,

$$Q_{сеп(I)}(t+dt) = f Q_{сеп(XII)}(t).$$

- 9) залежність середньомісячної витрати води за лютий на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку січня,

$$Q_{сеп(II)}(t+dt) = f Q_{сеп(I)}(t).$$

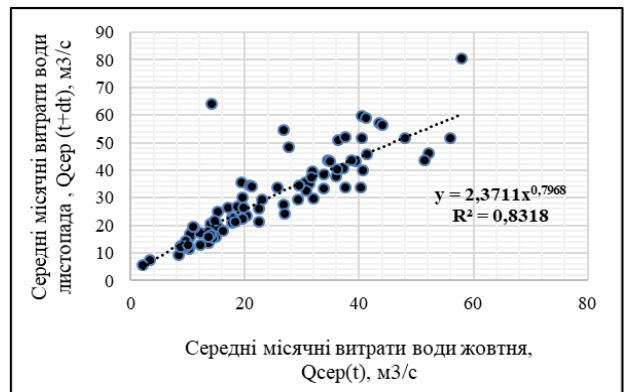
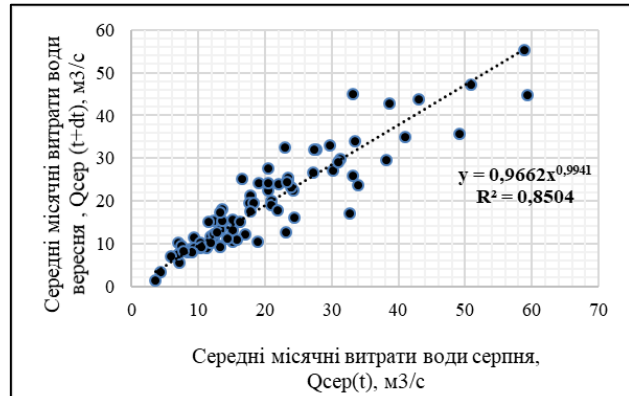
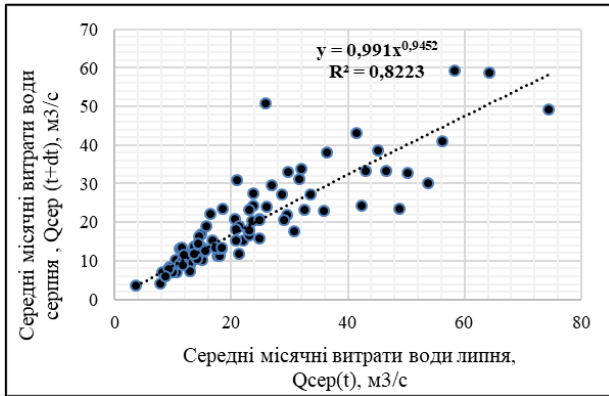
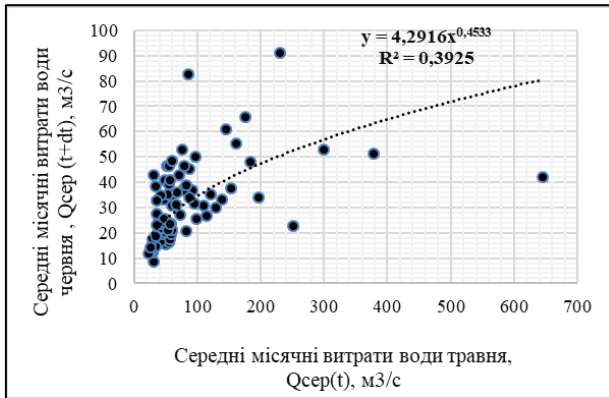
Вихідні дані для розробки методики прогнозу середнього місячного стоку води від середнього стоку води попереднього місяця на прикладі червня місяця подано у табл. 4.1 (всі інші подані в табл. А.1, додатку А) , а побудовані зазначені вище залежності на рис. 4.1.

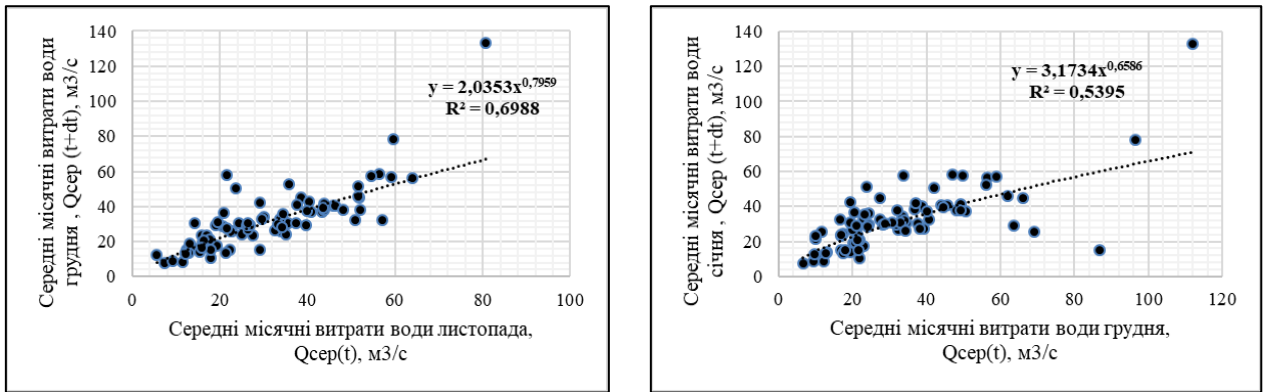
Таблиця 4.1

Вихідні дані для розробки методики прогнозу середнього місячного стоку води на червень місяць від середнього

Рік	Середньомісячна витрата води с.Запсілля на травень, м3/с	Середньомісячна витрата води с.Запсілля на червень, м3/с	сток		
1928	138	33,3	1978	79	36,7
1929	379	51,3	1979	95,5	31,7
1930	50,2	25	1980	230	91,2
1931	300	52,9	1981	87,4	34
1932	161	55,3	1982	97,7	50,1
1933	85,1	82,6	1983	59,7	30,9
1934	43,5	17,7	1984	44,5	21,8
1935	52,2	20,9	1985	86,8	45,1
1936	44,1	15,9	1986	81,8	38,7
1937	51	15,3	1987	183	48,2
1938	54,5	16,2	1988	75,6	53
1939	30,5	8,51	1989	54,5	39,3
1940	129	29,8	1990	55	46,4
1950	31	14,7	1991	79,2	46,5
1951	49,5	34,4	1992	36,2	27,4
1952	110	30,9	1993	58,8	23,5
1953	92,3	36,7	1994	145	60,8
1954	38,5	17,4	1995	66	31,1
1955	41,9	24,6	1996	154	37,5
1956	98,8	25,6	1997	645	42,1
1957	42,2	16,7	1998	71	43
1958	73,2	27,2	1999	58,8	34,7
1959	45	19,3	2000	52,8	35,2
1960	56,8	17,3	2001	57,4	41
1961	31,8	42,8	2002	42,6	34,6
1962	28,8	12,1	2003	197	34,1
1963	252	22,6	2004	59,5	48,5
1964	82,4	20,5	2005	68,6	36,1
1965	49	20,2	2006	175	65,9
1966	29,5	15,5	2007	40,9	23,4
1967	58,4	19,6	2008	47,8	25,5
1968	53	23,5	2009	36,1	23
1969	78,5	37,4	2010	53,7	21,2
1970	121	35	2011	34,6	14,6
1971	60,1	21,2	2012	26,9	12,3
1972	36,3	19,5	2013	56	23,4
1973	52,4	46,4	2014	23,7	12
1974	48,7	40,8	2015	28,9	17,3
1975	38,4	25,5	2016	36,2	32,6
1976	46,6	33,1	2017	25,9	14,2
1977	34,6	38,5	2018	114	26,7
			2019	33,7	18,6

Початок рис. 4.1





Закінчення рис. 4.1

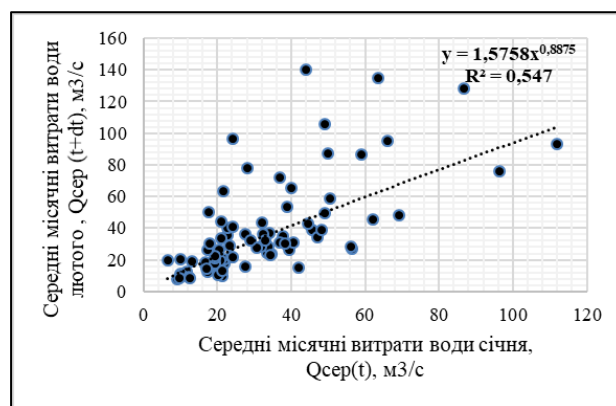


Рис. 4.1. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середнього стоку попереднього місяця за періоди літньо-осінньої та зимової межени р. Псел – с. Запсілля

У табл. 4.2 показані прогностичні рівняння та коефіцієнти апроксимації (кореляційні відношення) зв'язків між середньомісячними витратами води для всіх місяців літньо-осінньої та зимової межени від середнього стоку попередніх місяців р. Псел – с. Запсілля.

Таблиця 4.2

Рівняння для прогнозу середнього стоку води за місяці літньо-осінньої та зимової межени від попереднього середнього місячного стоку, р. Псел – с. Запсілля

Залежності наступного середнього місячного стоку води від попереднього	Прогнозне рівняння	Коефіцієнт апроксимації зв'язку, R^2	Кореляційне відношення зв'язку, r
червня від травня	$Q_{\text{сер}}(\text{VI}) = 4,2916 Q_{\text{сер}}(\text{V})^{0,4533}$	0,3925	0,63
липня від червня	$Q_{\text{сер}}(\text{VII}) = 0,7332 Q_{\text{сер}}(\text{VI})^{0,9916}$	0,6926	0,83
серпня від липня	$Q_{\text{сер}}(\text{VIII}) = 0,991 Q_{\text{сер}}(\text{VII})^{0,9452}$	0,8223	0,91
вересня від серпня	$Q_{\text{сер}}(\text{IX}) = 0,9662 Q_{\text{сер}}(\text{VIII})^{0,9941}$	0,8504	0,92
жовтня від вересня	$Q_{\text{сер}}(\text{X}) = 1,7312 Q_{\text{сер}}(\text{IX})^{0,8976}$	0,826	0,91
листопада від жовтня	$Q_{\text{сер}}(\text{XI}) = 2,3711 Q_{\text{сер}}(\text{X})^{0,7968}$	0,8318	0,91
грудня від листопада	$Q_{\text{сер}}(\text{XII}) = 2,0353 Q_{\text{сер}}(\text{XI})^{0,7959}$	0,6988	0,84
січня від грудня	$Q_{\text{сер}}(\text{I}) = 3,1734 Q_{\text{сер}}(\text{XII})^{0,6586}$	0,5395	0,73
лютого від січня	$Q_{\text{сер}}(\text{II}) = 1,5758 Q_{\text{сер}}(\text{I})^{0,8875}$	0,547	0,74

Достатньо високу апроксимацію мають прогнози залежності наступного середнього місячного стоку води від попереднього з липня по грудень, кореляційні відношення (залежності в основному степеневі) цих зв'язків знаходяться в межах $r = 0,83 - 0,92$.

Менш значимими, але задовільними, виявилися зв'язки середньомісячних витрат води червня від травня, січня від грудня, лютого від січня, які знаходяться в межах $r = 0,63 - 0,74$. Пояснюється це тим, що середній стік червня місяця достатньо мінливий завдяки значної мінливості стоку води весняного водопілля, які з року в рік характеризується достатньо різними водністю, максимальними витратами води та строками проходження. Що стосується задовільних зв'язків середньомісячних витрат води січня від грудня, лютого від січня, то їх незначна тіснота обумовлена тим, що в окремі роки можуть відбуватися або відлиги під час потепління в зимові місяці, або раннім таненням снігового покриву та раннім початком водопілля.

Загалом, аналізуючи отримані кореляційні залежності середнього місячного стоку води наступного місяця від його величини попереднього місяця та тісноту зв'язку, можна зробити висновок, що вони можуть бути застосовані у прогностичних цілях.

4.3. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця

Для прогнозування середньомісячних витрат на літньо-осінній та зимовий період від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця були побудовані наступні залежності:

- 1) залежність середньомісячної витрати води за червень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 травня (31.V),

$$Q_{\text{сер}}(VI) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(31.V) (t).$$

- 2) залежність середньомісячної витрати води за липень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 30 червня (30.VI),

$$Q_{\text{сер}}(VII) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(30.VI) (t).$$

- 3) залежність середньомісячної витрати води за серпень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 липня (31.VII),

$$Q_{\text{сер}}(VIII) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(31.VII) (t).$$

- 4) залежність середньомісячної витрати води за вересень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 серпня (31.VIII),

$$Q_{\text{сер}}(IX) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(31.VIII) (t).$$

- 5) залежність середньомісячної витрати води за жовтень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 30 вересня (30.IX),

$$Q_{\text{сер}}(X) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(30.IX) (t).$$

- 6) залежність середньомісячної витрати води за листопад біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 жовтня (31.X),

$$Q_{\text{сер}}(XI) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(31.X) (t).$$

- 7) залежність середньомісячної витрати води за грудень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 30 листопада (30.XI),

$$Q_{\text{сер}}(XII) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(30.XI) (t).$$

- 8) залежність середньомісячної витрати води за січень біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 грудня (31.XII),

$$Q_{\text{сер}}(I) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(31.XII) (t).$$

9) залежність середньомісячної витрати води за лютий біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 січня (31.I),

$$Q_{\text{сеп}}(II) (t+dt) = f Q_{\text{сеп}}(31.I) (t).$$

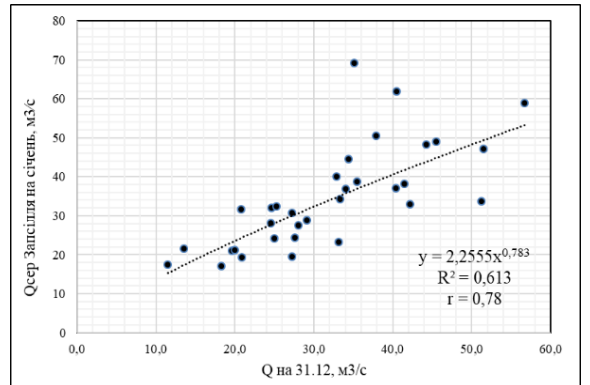
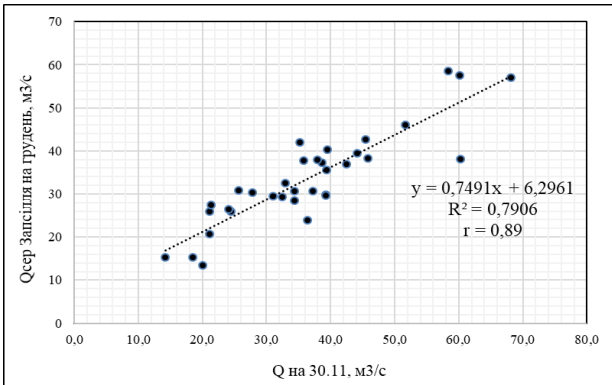
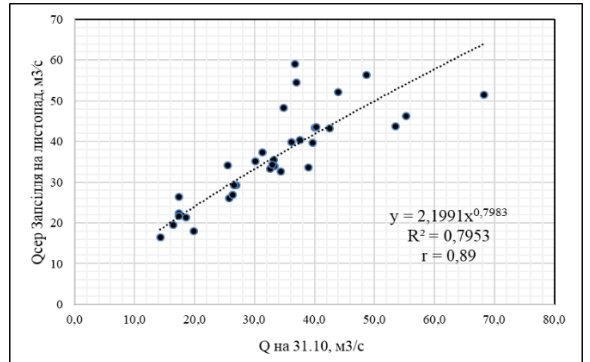
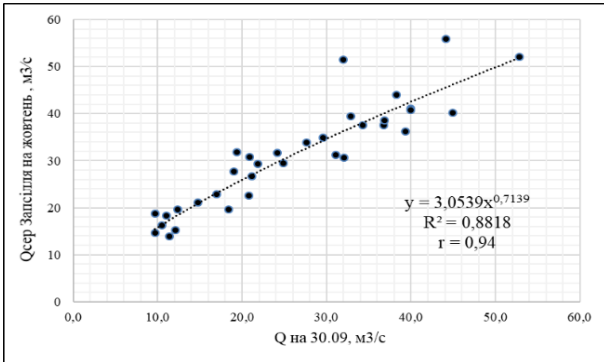
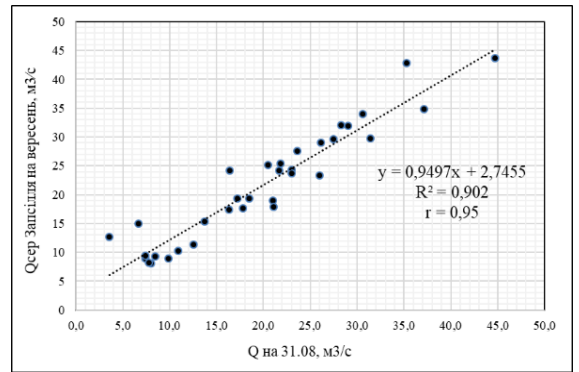
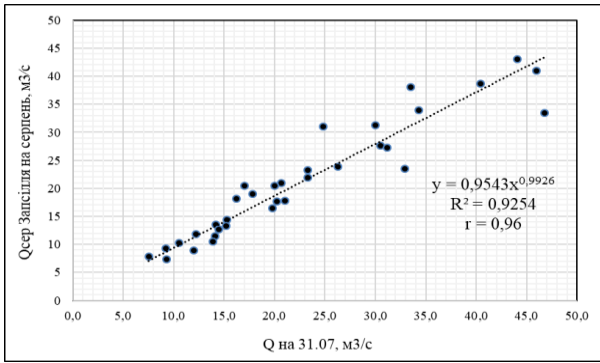
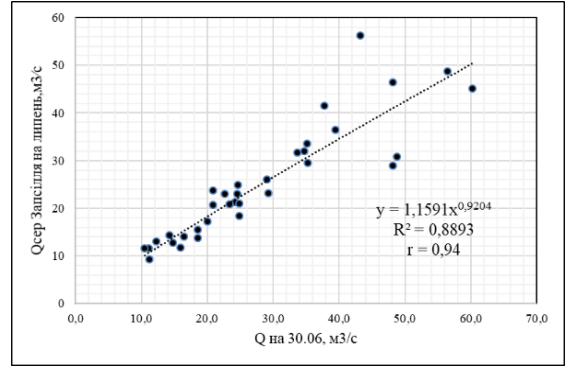
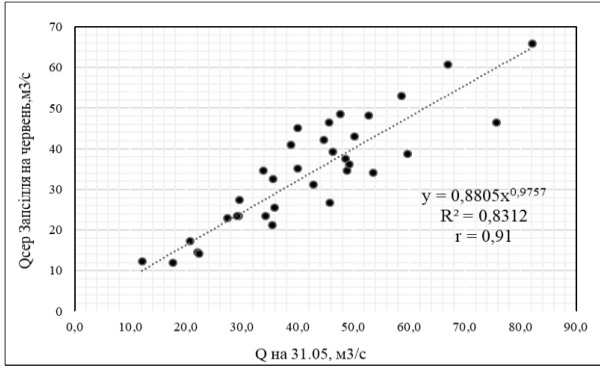
Вихідні дані для розробки методик прогнозу середнього місячного стоку води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця на прикладі червня місяця, тобто, в нашому випадку, від середньодобової витрати води на 31 травня, подано у табл. 4.3 (всі інші подані в табл. А.1, А.2 додатку А), а побудовані зазначені вище залежності на рис. 4.2.

Таблиця 4.3

Вихідні дані для розробки методики прогнозу середнього місячного стоку води на червень місяць від середньодобової витрати води на 31 травня

Рік	Виграта води на дату 31.05	Середньомісячна виграта води р.Псел - с.Запсілля на червень. м3/с
1985	40,0	45,1
1986	59,7	38,7
1987	52,8	48,2
1988	58,7	53
1989	46,3	39,3
1990	45,6	46,4
1991	75,7	46,5
1992	29,6	27,4
1993	29,4	23,5
1994	66,9	60,8
1995	42,8	31,1
1996	48,6	37,5
1997	44,7	42,1
1998	50,2	43
1999	48,9	34,7
2000	40,0	35,2
2001	38,8	41
2002	33,9	34,6
2003	53,5	34,1
2004	47,6	48,5
2005	49,2	36,1
2006	82,1	65,9
2007	34,3	23,4
2008	35,8	25,5
2009	27,4	23
2010	35,5	21,2
2011	22,0	14,6
2012	12,1	12,3
2013	29,1	23,4
2014	17,6	12
2015	20,7	17,3
2016	35,6	32,6
2017	22,3	14,2
2018	45,8	26,7

Початок рис. 4.2



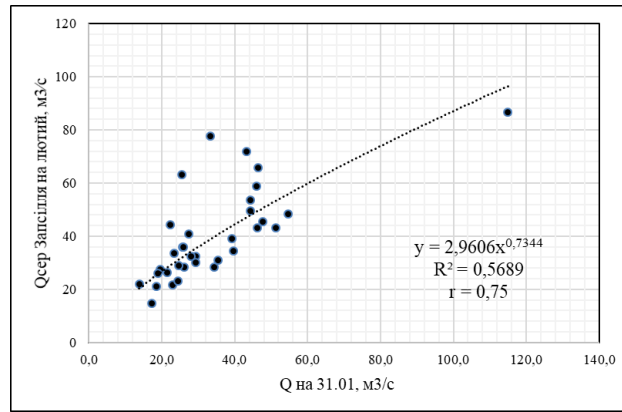


Рис. 4.2. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного місяця від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця за періоди літньо-осінньої та зимової межени р. Псел – с. Запсілля

У табл. 4.4 представлені прогностичні рівняння, коефіцієнти апроксимації зв'язків між середньомісячними витратами води для всіх місяців літньо-осінньої та зимової межени від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця р. Псел – с. Запсілля.

Таблиця 4.4

Рівняння для прогнозу середнього стоку води за місяці літньо-осінньої та зимової межени від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця, р. Псел – с. Запсілля

Залежності наступного середнього місячного стоку води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця	Прогнозне рівняння	Коефіцієнт апроксимації зв'язку, R^2	Кореляційне відношення зв'язку, r
червня від 31 травня	$Q_{сер}(VI) = 0,8805Q_{сер}(31.VI)^{0,9757}$	0,8312	0,91
липня від 30 червня	$Q_{сер}(VII) = 1,1591Q_{сер}(30.VI)^{0,9204}$	0,8893	0,94
серпня від 31 липня	$Q_{сер}(VIII) = 0,9543Q_{сер}(31.VII)^{0,9926}$	0,9254	0,96
вересня від 31 серпня	$Q_{сер}(IX) = 0,9497Q_{сер}(31.VIII) + 2,7455$	0,902	0,95
жовтня від 30 вересня	$Q_{сер}(X) = 3,0539Q_{сер}(30.IX)^{0,7139}$	0,8818	0,94
листопада від 31 жовтня	$Q_{сер}(XI) = 2,1991Q_{сер}(31.X)^{0,7983}$	0,7953	0,89
грудня від 30 листопада	$Q_{сер}(XII) = 0,7491Q_{сер}(30.XI) + 6,2961$	0,7906	0,89
січня від 31 грудня	$Q_{сер}(I) = 2,2555Q_{сер}(31.XII)^{0,783}$	0,613	0,78
лютого від 31 січня	$Q_{сер}(II) = 2,9606Q_{сер}(31.I)^{0,7344}$	0,5689	0,75

Якщо в попередньому підході найтісніші були тільки степеневі зв'язки, то в залежностях наступного середнього місячного стоку води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця значимими виявилися як степеневі зв'язки, так й лінійні. Відповідно, кореляційні відношення та коефіцієнти кореляції для прогнозних залежностей середнього місячного стоку води з червня по грудень місяць знаходяться в діапазоні від 0,89 до 0,96, що свідчить про дуже добрий зв'язок.

Зв'язок для прогнозу середньої місячної витрати води на червень місяць від стоку води 31 травня, в порівнянні з попереднім підходом, де кореляція становила $r = 0,63$, став значно кращим - кореляційне відношення складає $r = 0,91$.

Прогнозні залежності середнього місячного стоку води січня місяця від середнього стоку на 31 грудня та лютого від 31 січня оцінюються як задовільні і ситуація аналогічна з попереднім підходом. В грудні та січні певні корекції роблять відлиги, а в лютому місяці раннє водопілля. Але в сукупності за тісністю зв'язків вони можуть бути застосовані у прогностичних цілях.

4.4. Допустимі похибки прогнозів

При розробці будь-якої методики прогнозування і тим більш при складанні прогнозу важливим пунктом є розрахунок та знання допустимих похибок при прогнозуванні величин стоку води.

Передбачення величини та часу настання певного гідрологічного явища майже завжди будуть відрізнятися від дійсних (після проходження передбачуваного явища) на більшу чи меншу величину. Тобто, майже кожний прогноз має деяку похибку [11].

Допустима похибка прогнозу – це показник статистичного ряду гідрологічної характеристики, що дорівнює частки значення його стандартного відхилення, тобто це умовно прийнята в певних межах величина похибки, за який гідрологічний прогноз може вважатися підтвердженим [17].

Порядок розрахунку допустимих похибок прогнозу наступний.

Спочатку за багаторічний період визначається середнє квадратичне відхилення прогнозованої величини, у нашого випадку, середньомісячної витрати води (для кожного місяця окремо) від норми, або стандартне відхилення за формулою:

$$(4.1) \quad \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_1^n (y_i - \bar{y})^2}{n}},$$

де y_i – значення елемента (витрати води);

\bar{y} – середнє значення (норма) витрат води;

n – число членів ряду.

Результати розрахунку за формулою (4.1) середнього квадратичного відхилення середньомісячної витрати води від норми за багаторічний період для всіх місяців літньо-осінньої та зимової межени для р. Псел – с. Запсілля подані у табл.4.5

Таблиця 4.5

Середньоквадратичне відхилення середньомісячної витрати води від норми р. Псел – с. Запсілля

Місяць, на який розраховується прогноз	Середнє квадратичне відхилення середньомісячної витрати води від норми (м ³ /с), $\bar{\sigma}$
червень	14,05
липень	13,06
серпень	11,87
вересень	11,28
жовтень	12,78
листопад	15,25
грудень	18,46
січень	19,66
лютий	28,45

За допустиму похибку прогнозування $\delta_{\text{доп}}$ приймають ймовірну похибку гідрологічного прогнозу, яка є показником статистичного ряду гідрологічної характеристики, що дорівнює частині значення його стандартного відхилення (в межах 25%-75% ймовірності перевищення у розподілі похибок):

$$\delta_{\text{доп}} = \pm 0,674 \bar{\sigma} \quad (4.2)$$

де σ – середнє квадратичне відхилення середньомісячної витрати води від норми, яке розраховується за формулою (4.1) [11,14].

Розраховані можливі допустимі похибки при прогнозуванні середньомісячної витрати води р. Псел – с. Запсілля для всіх місяців літньо-осінньої та зимової межени за формулою 4.2 приведено в табл. 4.6.

Таблиця 4.6

Допустимі похибки прогнозу середньомісячних витрат води для місяців літньо-осінньої та зимової межени р. Псел – с. Запсілля

Місяць, на який розраховується допустима похибка	Допустима похибка (м ³ /с), $\delta_{\text{доп}}$.
червень	9,47
липень	8,80
серпень	8,00
вересень	7,60
жовтень	8,61
листопад	10,28
грудень	12,44
січень	13,25
лютий	19,17

Найкращі зв'язки середньомісячних витрат води від різних предикторів прослідковуються з липня по жовтень місяць, тому допустимі похибки є найменшими та знаходяться в діапазоні від 7,60 м³/с до 8,80 м³/с. Трохи більшу допустиму похибку має червень, яка складає 9,47 м³/с. В листопаді та грудні

вони знаходяться в межах 10,28 – 12,44 м³/с. При прогнозуванні в січні – лютому вони набувають найбільших значень від 13,25 до 19,17 м³/с.

4.5. Перевірочні прогнози та оцінка розроблених методик прогнозування середньомісячного стоку води

Методика може використовуватися на практиці, якщо вона достатньо точна.

Мірою точності або критерієм якості та ефективності розробленої методики прогнозу можуть бути:

1) співвідношення середньої квадратичної похибки перевірочних прогнозів до середнього квадратичного відхилення

$$(4.3) \quad S / \sigma ,$$

де σ – середнє квадратичне відхилення середньомісячної витрати води від норми, яке розраховується за формулою (4.1);

S – середня квадратична похибка перевірочних прогнозів, яка визначається за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_{\text{факт}} - Q_{\text{прог}})^2}{n - m}} , \quad (4.4)$$

де $Q_{\text{факт}}, Q_{\text{прог}}$ - відповідно фактичне та прогнозне значення величини (м³/с) ;

n – кількість значень складених прогнозів,

m – кількість параметрів у прогнозних залежностях (якщо прогнозні рівняння мають загальний вигляд $y=ax+b$, то $m = 2$).

Якщо $S/\sigma \leq 0,50$, то розроблена методика вважається доброю, якщо S/σ знаходиться у межах $0,51 \div 0,80$ – методика задовільна, а якщо S/σ більше $0,80$ – методика не може застосовуватися в оперативній практиці.

2) *забезпеченість або ймовірність неперевищення допустимої похибки* P (%) - це ймовірність того, що похибки прогнозування гідрологічної характеристики чи явища не перевищують допустимої похибки, визначеної для певної передбачуваної змінної.:

$$P = \frac{n-m}{n} \cdot 100\% , \quad (4.5)$$

де n – загальна кількість складених прогнозів;

m – кількість прогнозів, які не справилися, яка визначається порівнянням відхилення прогнозного значення від фактичного та порівнянням його з допустимими похибками прогнозу.

Якщо відхилення знаходиться в межах допустимої похибки $\pm\delta_{доп.}$, то прогноз вважається справдженим.

При $P > 82\%$ – методика прогнозування відноситься до категорії «добра»; при P у межах від 81 до 60% – «задовільна»; при $P < 60\%$ – методика не може бути застосована на практиці.

3) *коефіцієнт кореляції між фактичними та прогнозованими величинами стоку води*, при умові, що лінія цього зв'язку проходить під кутом 45° , тобто по лінії рівних значень (або дуже наближена до цієї лінії).

Якщо коефіцієнт кореляції між фактичними та прогнозованими величинами буде $\geq 0,87$, то розроблена методика прогнозування відноситься до категорії «добра». Якщо коефіцієнт кореляції буде знаходитися у межах від 81 до 60% – категорія методики «задовільна».

Отримавши прогнозні залежності та допустимі похибки прогнозів для перевірки ефективності методики прогнозування були проведені перевірочні прогнози за двома методичними підходами, які розглядаються в дипломній роботі.

1) *Перевірочні прогнози середньомісячної витрати води літньо-осінньої та зимової межені від середнього стоку попереднього місяця.*

Загальна кількість складених перевірочних прогнозів за зазначеним підходом становить 630, тобто для кожного місяця літньо-осінньої та зимової межені по 70 прогнозів. З них справилися 507, не справилися 123. Орієнтуючись на допустимі похибки прогнозів (див. табл. 4.6) і використовуючи показники якості методик були зроблені розрахунки ймовірності неперевищення допустимої похибки для кожного місяця літньо-осінньої та зимової межені на р. Псел –с. Запсілля, які приведені у табл. 4.7, а також побудовані кореляційні зв'язки між фактичними та прогнозованими величинами середньомісячного стоку води меженних періодів (рис. В.1, додаток В).

Таблиця 4.7

Оцінка якості та ефективності розроблених методик прогнозування середньомісячного стоку місяців меженного періоду від середньомісячного стоку попереднього місяця, р. Псел – с. Запсілля

Місяць, на який складено перевірочні прогнози середнього місячного стоку води	Ймовірність неперевищення допустимої похибки, Р %	Категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості
червень (від травня)	66	задовільна
липень (від червня)	77	задовільна
серпень (від липня)	86	добра
вересень (від серпня)	90	добра
жовтень (від вересня)	86	добра
листопад (від жовтня)	87	добра
грудень (від листопада)	90	добра
січень (від грудня)	64	задовільна
лютий (від січня)	79	задовільна

Показники ймовірності неперевищення допустимих похибок прогнозування $P\%$ для місяців червень-липень та січень-лютий для р. Псел – с. Запсілля знаходяться в межах оцінки методик прогнозу $64\div 79\%$, що відносить розроблену методику до категорії «задовільних». Для місяців з серпня по грудень оцінка якості методик відносяться до категорії «добра». Що свідчить про те, що дана методика може бути застосована на практиці. Приклади перевірочних прогнозів (табл.Б.1, додаток Б)

2) *Перевірочні прогнози середньомісячної витрати води літньо-осінньої та зимової межні від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця.*

Для цієї методики прогнозу було складено 305 перевірочних прогнозів, відповідно для кожного місяця літньо-осінньої та зимової межні по 33-34 прогнози. Справдилося 282 прогнози, не справдилося 23. Ймовірність неперевищення допустимої похибки та категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості для р. Псел – с. Запсілля, подані в табл. 4.8, а кореляційні зв'язки між фактичними та прогнозованими величинами за цією методикою на (рис. В.2. додаток В).

Таблиця 4.8

Оцінка якості та ефективності розроблених методик прогнозування середньомісячного стоку місяців меженого періоду від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця, р. Псел – с. Запсілля

Місяць, на який складено перевірочні прогнози середнього місячного стоку води	Ймовірність неперевищення допустимої похибки, $P\%$	Категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості
червня від 31 травня	82	добра
липня від 30 червня	91	добра
серпня від 31 липня	97	добра
вересня від 31 серпня	100	добра
жовтня від 30 вересня	94	добра
листопада від 31 жовтня	88	добра
грудня від 30 листопада	97	добра
січня від 31 грудня	91	добра
лютого від 31 січня	91	добра

Приведені в табл. 4.8 результати оцінки ефективності розроблених методик прогнозування, де показник ймовірність неперевищення допустимої похибки знаходиться в межах 82÷100% для місяців літньо-осінньої та зимової межені, що відноситься до категорії “добра”.

Аналізуючи результати перевірочних прогнозів за двома запропонованими підходами, можна стверджувати, що методика прогнозу середньомісячних витрат води літньо-осінньої та зимової межені від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця має значно кращі результати прогнозування і оцінюється як більш ефективна. Приклади перевірочних прогнозів (табл.Б.2, додаток Б)

Висновки до 4 розділу

Для розробки методик прогнозування середнього місячного стоку води літньо-осінньої та зимової межені на р. Псел біля с. Запсілля обрано фізико-статистичні залежності з використанням двох предикторів:

- середній місячний стік попереднього місяця;
- середньодобова витрата води наприкінці попереднього місяця.

За допустимими похибками прогнозів оцінено точність і ефективність розроблених методик. Ймовірність неперевищення допустимих похибок методики прогнозування середньомісячного стоку місяців меженних періодів від середньомісячного стоку попереднього місяця для р. Псел – с. Запсілля знаходяться в межах 64÷90% (до категорії «задовільних» відносяться методики прогнозу стоку для місяців червень-липень та січень-лютий, а для стоку води місяців з серпня по грудень - до категорії «добра»). Ймовірність неперевищення допустимих похибок методик прогнозу середньомісячного стоку місяців меженного періоду від середньодобової витрати води наприкінці

попереднього місяця змінюються в межах $82 \div 100$ % (для всіх місяців розроблені методики відносяться до категорії «добра»).

Аналізуючи результати перевірочних прогнозів за двома запропонованими підходами, можна стверджувати, що методика прогнозу середньомісячних витрат води літньо-осінньої та зимової межени від середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця має значно кращі результати прогнозування і оцінюється як більш ефективна.

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА МЕТОДИК ПРОГНОЗУ СЕЗОННОГО СТОКУ ВОДИ ЛІТНЬО-ОСІННЬОЇ ТА ЗИМОВОЇ МЕЖЕНІ р.ПСЕЛ – с.ЗАПСІЛЛЯ

5.1. Вихідні дані

Для розробки методик прогнозу сезонного меженного стоку води на р. Псел – с. Запсілля було обрано період з 1928 по 2019 рр., з перервами на 1941-1949 рр.

При цьому для прогнозу сезонного меженного стоку води, як предиктанта, розглядалися три предиктори:

- стік води попереднього сезону;
- середньомісячний стік наприкінці попереднього сезону;
- середньодобова витрата води наприкінці попереднього сезону;

Для формування банку даних першого і другого предиктору був взятий багаторічний період середніх місячних та сезонних витрат води за періоди літньо-осінньої та зимової межени з 1928 по 2019 рр., всього 83 роки., з перервами на 1941-1949 рр. Для третього предиктору були використані середньодобові витрати води на час t – кінцеву дату попереднього місяця або сезону за період з 1985 – 2018 рр., всього 33 роки.

5.2. Прогнозні залежності стоку наступного сезону від стоку води попереднього сезону

Основне завдання при розробці методики прогнозування витрат води полягає у побудові прогнозних залежностей виду $Q_{t+dt} = f(Q_{сер,t})$ та їх оцінки. Для цього необхідно мати середній стік попереднього сезону в час t та середній стік води за час $(t+dt)$.

За підготовленими вихідними даними були встановлені прогнозні залежності, які необхідні для прогнозування витрат води: залежність між стоком наступного сезону від стоку води попереднього сезону, а саме:

- 1) залежність сезонної витрати води за літо на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку весни,

$$Q_{сер(літо)}(t+dt) = f Q_{сер(весна)}(t).$$

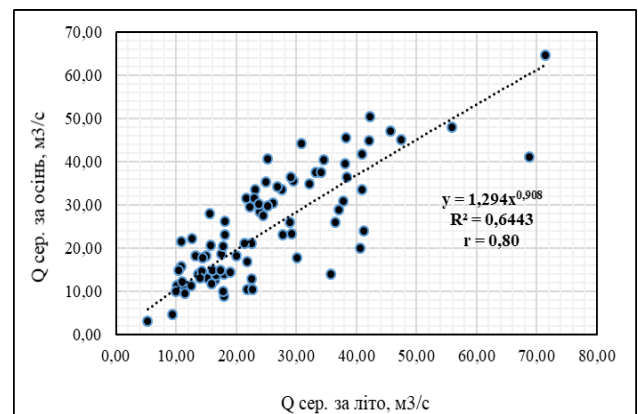
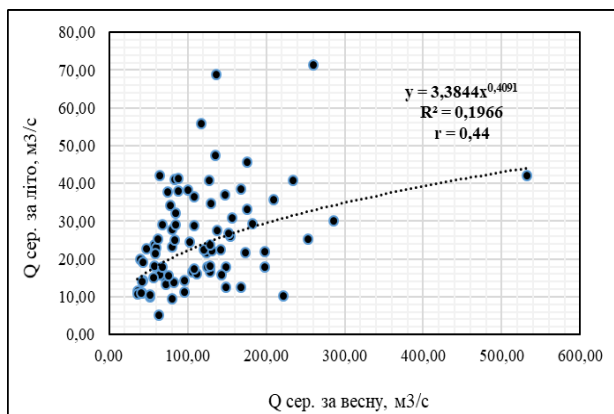
- 2) залежність сезонної витрати води за осінь на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку літа,

$$Q_{сер(осінь)}(t+dt) = f Q_{сер(літо)}(t).$$

- 3) залежність сезонної витрати води за зиму на р. Псел біля с.Запсілля від середнього стоку осені,

$$Q_{сер(зима)}(t+dt) = f Q_{сер(осінь)}(t).$$

Вихідні дані для розробки методики прогнозу наступного сезону від стоку води попереднього сезону подано у (табл. А.3 додаток А) , а побудовані зазначені вище залежності на рис. 5.1.



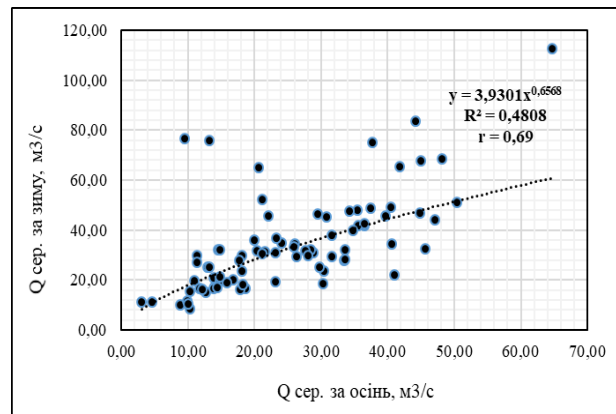


Рис. 5.1. Прогнозні залежності середнього стоку води наступного сезону від середнього стоку попереднього сезону р. Псел – с. Запсілля

У табл. 5.1 показані прогностичні рівняння та коефіцієнти кореляції між стоком наступного сезону від стоку води попереднього сезону р. Псел – с. Запсілля.

Таблиця 5.1

Рівняння для прогнозу середнього стоку води наступного сезону від стоку води попереднього сезону, р. Псел – с. Запсілля

Залежності наступного середньосезонного стоку води від попереднього	Прогнозне рівняння	Коефіцієнт апроксимації зв'язку, R^2	Кореляційне відношення зв'язку, r
літо від весни	$Q_{\text{сер}}(\text{літо}) = 3,3844 Q_{\text{сер}}(\text{весна})^{0,4091}$	0,1966	0,44
осінь від літа	$Q_{\text{сер}}(\text{осінь}) = 1,294 Q_{\text{сер}}(\text{літо})^{0,908}$	0,6443	0,80
зима від осені	$Q_{\text{сер}}(\text{зима}) = 3,9301 Q_{\text{сер}}(\text{осінь})^{0,6568}$	0,4808	0,69

Задовільний зв'язок мають залежності середньосезонних витрат води осінь-літо та зима-осінь, кореляційні відношення цих зв'язків відповідно дорівнюють $r = 0,80$ та $r = 0,69$ і ці залежності можуть бути застосовані в прогностичних цілях.

Менш значимою за апроксимацією виявилася залежність середньосезонних витрат води за літній період від весни, де кореляційне відношення складає лише $r = 0,44$, що свідчить майже про відсутність зв'язку

(за коефіцієнтом апроксимації всього на 20% точки наближені до лінії зв'язку). Тому отримане прогнозне рівняння не може бути використано для прогнозування стоку води літнього сезону від стоку води весни.

5.3. Прогнозні залежності стоку наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води

Для прогнозування середньосезонних витрат води від попереднього середнього місячного стоку води були побудовані наступні залежності:

- 1) залежність середньосезонної витрати води за літо біля с.Запсілля від середньомісячної витрати води за травень ,

$$Q_{\text{сер}}(\text{літо}) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(V) (t).$$

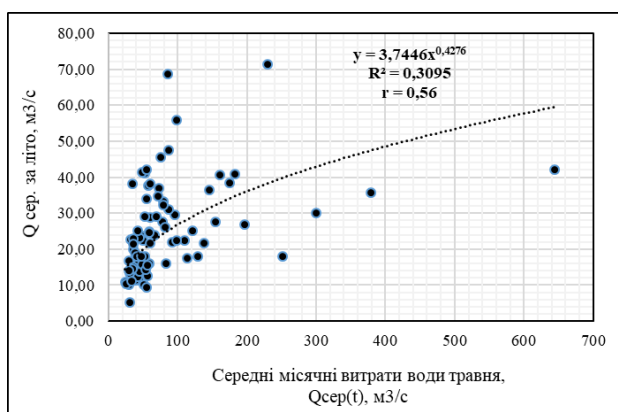
- 2) залежність середньосезонної витрати води за осінь біля с.Запсілля від середньомісячної витрати води за серпень ,

$$Q_{\text{сер}}(\text{осінь}) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(VIII) (t).$$

- 3) залежність середньосезонної витрати води за зиму біля с.Запсілля від середньомісячної витрати води за листопад ,

$$Q_{\text{сер}}(\text{зима}) (t+dt) = f Q_{\text{сер}}(XI) (t).$$

Вихідні дані для розробки методики прогнозу середньосезонного стоку води від попереднього середнього місячного стоку води подано (табл. А.1, А.3 додаток А), а побудовані зазначені вище залежності на рис. 5.2.



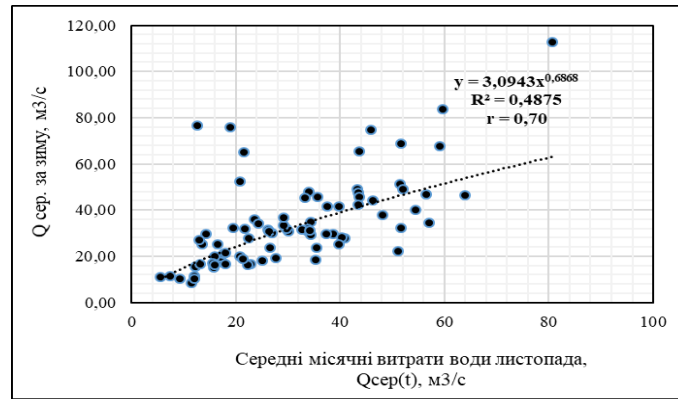


Рис. 5.2. Прогнозні залежності наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води р. Псел – с. Запсілля

У табл. 5.2 представлені прогностичні рівняння та коефіцієнти кореляції між витратами води наступного сезону від попереднього середньомісячного стоку води р. Псел – с. Запсілля.

Таблиця 5.2

Рівняння для прогнозу наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води р. Псел – с. Запсілля

Залежності наступного середньосезонного стоку води від попереднього середнього місячного стоку води	Прогнозне рівняння	Коефіцієнт апроксимації зв'язку, R^2	Кореляційне відношення зв'язку, r
літо від травня	$Q_{\text{сер}}(\text{літо}) = 3,7446Q_{\text{сер}}(V)^{0,4276}$	0,3095	0,56
осінь від серпня	$Q_{\text{сер}}(\text{осінь}) = 2,0854Q_{\text{сер}}(VIII)^{0,8258}$	0,7286	0,85
зима від листопада	$Q_{\text{сер}}(\text{зима}) = 3,0943Q_{\text{сер}}(XI)^{0,6868}$	0,4875	0,70

Кореляційне відношення для прогностичних залежностей середньосезонного стоку води за літо від середньомісячного за травень складає 0,56, що свідчить про поганий зв'язок, що порівняно й з попереднім підходом, де коефіцієнт кореляції міжсезонної залежності літо-весна становив $r = 0,44$. А це свідчить про те, що весна вносить певні корективи у формування стоку води у літній період і такі зв'язки не можуть бути застосовані на практиці.

Ідентичними, але трохи кращими (в порівнянні з попереднім підходом прогнозування міжсезонного стоку води) виявилися зв'язки середнього стоку води за осінь від середньомісячного за серпень (дуже значимий, $r = 0,85$) та середнього стоку води за зиму від середньомісячного за листопад (задовільний, $r = 0,70$). За тісністю зв'язків вони можуть бути застосовані у прогностичних цілях.

5.4. Прогнозні залежності наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону

За підготовленими вихідними даними середньосезонних та середньодобових витрат води за період 1985 – 2018 рр. були встановлені прогнозні залежності, які необхідні для прогнозування витрат води: залежність між стоком наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону, а саме:

- 1) залежність середньосезонної витрати води за літо біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 травня (31.V),

$$Q_{\text{сер(літо)}}(t+dt) = f Q_{\text{сер(31.V)}}(t).$$

- 2) залежність середньосезонної витрати води за осінь біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 31 серпня (31.VIII),

$$Q_{\text{сер(осінь)}}(t+dt) = f Q_{\text{сер(31.VIII)}}(t).$$

- 3) залежність середньосезонної витрати води за зиму біля с.Запсілля від середньодобової витрати води на 30 листопада (30.XI),

$$Q_{\text{сер(зима)}}(t+dt) = f Q_{\text{сер(30.XI)}}(t).$$

Вихідні дані, які використано для розробки методики прогнозу певного меженого сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону подано (табл. А.2, А.3, додаток А), а побудовані зазначені вище залежності представлено на рис. 5.3.

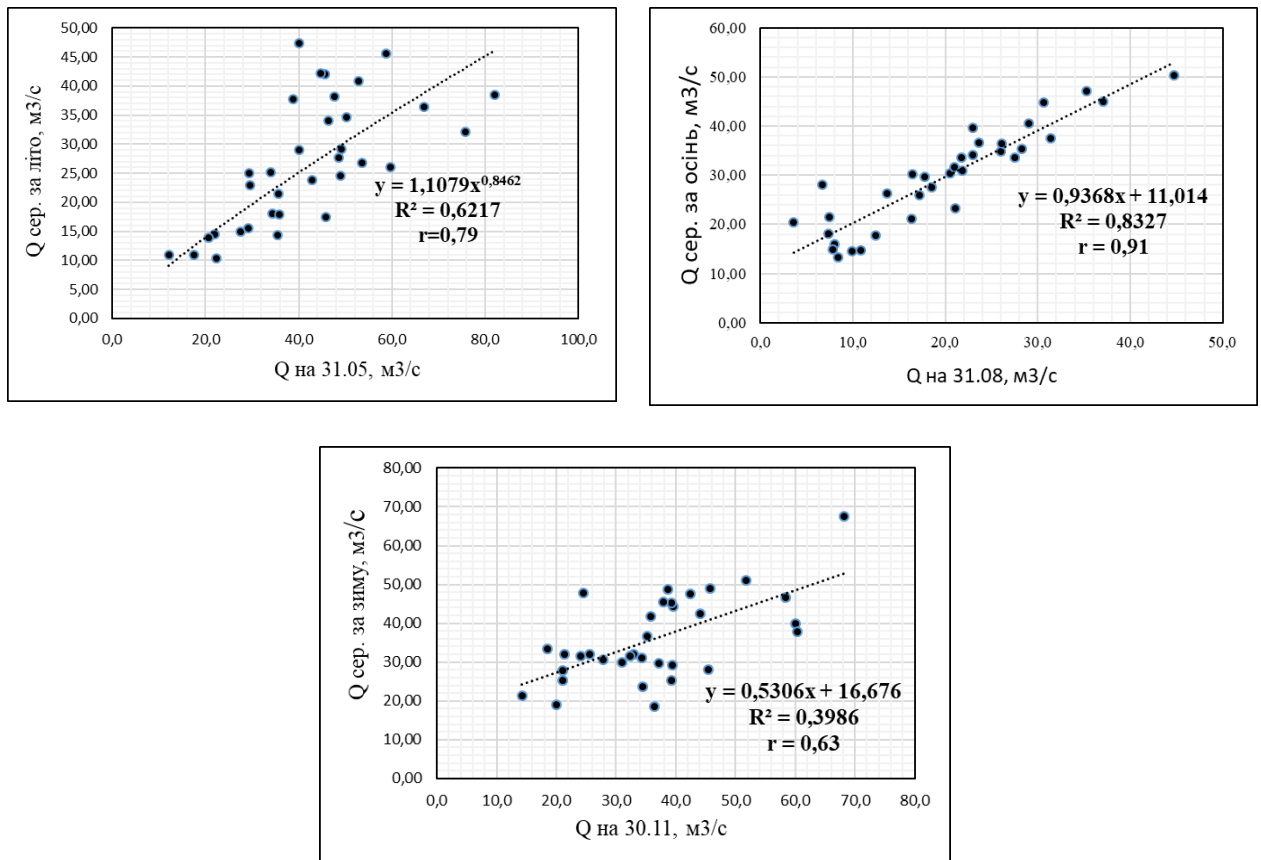


Рис. 5.3. Прогнозні залежності наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону р. Псел – с. Запсілля

Рівняння залежності, що запропоновано для прогнозу меженних сезонів від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону на р. Псел – с. Запсілля та оцінки таких кореляційних зв'язків подано в табл. 5.3

Таблиця 5.3

Рівняння для прогнозу наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону р. Псел – с. Запсілля

Залежності наступного середньосезонного стоку води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону	Прогнозне рівняння	Коефіцієнт апроксимації зв'язку, R^2	Кореляційне відношення зв'язку, r
літо від 31 травня	$Q_{\text{сер}}(\text{літо}) = 1,1079Q_{\text{сер}}(31.V)^{0,8462}$	0,6217	0,79
осінь від 31 серпня	$Q_{\text{сер}}(\text{осінь}) = 0,9368Q_{\text{сер}}(\text{VIII}) + 11,014$	0,8327	0,91
зима від 30 листопада	$Q_{\text{сер}}(\text{зима}) = 0,5306Q_{\text{сер}}(\text{XI}) + 16,676$	0,3986	0,63

У попередніх двох підходах значимими були тільки степеневі зв'язки, але в залежностях наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону найтіснішим виявився лінійний зв'язок середнього стоку води для осіннього сезону від середньодобового 31 серпня, кореляційне відношення якого складає $r = 0,91$. Що свідчить про дуже значимий зв'язок. Аналізуючи два попередні методи степеневий зв'язок середнього стоку для літнього сезону від середньодобового 31 травня є значно кращим, де коефіцієнт кореляції складає $r = 0,79$. Це вказує на те, що вже на 31 травня відбулися певні трансформаційні корекції стоку весняного водопілля і на цю дату стік води стабілізується до певної величини, яка є більш показовою щодо сезонного весняного стоку. Для залежності середнього стоку зимового сезону від середньодобового 30 листопада зв'язок виявився задовільним ($r = 0,63$), як і в попередніх підходах.

5.5. Допустимі похибки прогнозів сезонного стоку води

Поняття допустимої похибки є досить умовними, оскільки її величина визначається з урахуванням сучасних можливостей складання прогнозу. Для порівняння оцінок різних методик прогнозів допустиму похибку визначають в залежності від змінності прогнозованого явища [2].

Допустимі похибки розраховувались за ідентичною формулою, яка представлена в розділі 4.4.

Розрахунки середнього квадратичного відхилення за формулою (4.1) середньосезонної витрати води від норми за багаторічний період для р. Псел – с. Запсілля подані у табл. 5.4.[11].

Таблиця 5.4

**Середньоквадратичне відхилення сезонної витрати води
від норми р. Псел – с. Запсілля**

Сезон на який розраховується прогноз	Середнє квадратичне відхилення сезонної витрати води від норми (м ³ /с), $\bar{\sigma}$
літо	11,94
осінь	12,27
зима	18,92

Розраховані можливі допустимі похибки при прогнозуванні середньосезонних витрат води р. Псел – с. Запсілля за формулою 4.2 приведено в табл. 5.5

Таблиця 5.5

**Допустимі похибки прогнозу сезонної витрати води для місяців літньо-
осінньої та зимової межені р. Псел – с. Запсілля**

Сезон на який розраховується допустима похибка	Допустима похибка (м ³ /с), $\delta_{\text{доп}}$
літо	8,05
осінь	8,27
зима	12,76

Допустимі похибки прогнозу середнього стоку води для сезонів літо – осінь знаходяться в межах від 8,05 – 8,27 м³/с, що свідчить про більш тісні зв'язки та стабільність стоку зазначених сезонів у порівнянні з зимовим періодом, де допустимі похибки становлять $\delta_{\text{доп}} = 12,76$ м³/с.

5.6. Перевірочні прогнози та оцінка розроблених методик прогнозування сезонного стоку води

Для перевірки ефективності розроблених методик проведено перевірочні прогнози середнього сезонного стоку води меженних періодів за трьома підходами, які відрізняються за обраними предикторами.

1) *Перевірочні прогнози середньосезонної витрати води від середнього стоку води попереднього сезону.*

Всього для виявлення ступеня ефективності прогнозів за методикою для трьох сезонів літо, осінь та зима було складено 248 перевірочних прогнозів. Для сезонів літо та осінь 83 прогнози та для зими – 82 прогнози відповідно. З них 179 справдилося, 69 не справдилося.

Результати перевірочних прогнозів та розрахунку показника їх справджуваності – ймовірності неперевищення допустимої похибки прогнозу сезонного стоку подано в табл. 5.6. Приклади розрахунків перевірочних прогнозів наведено (табл. Б.3, додаток Б).

Таблиця 5.6

Оцінка якості та ефективності розроблених методик прогнозування стоку наступного сезону від стоку води попереднього сезону

Сезон, на який складено перевірочні прогнози	Ймовірність неперевищення допустимої похибки, Р %	Категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості
літо	63	задовільна
осінь	72	задовільна
зима	82	добра

р.Псел – с. Запсілля

Ймовірність неперевищення допустимої похибки прогнозу середнього стоку води для сезонів літо-осінь складає 63÷72% , методика відноситься до

категорії “задовільна”. Для зими ймовірність неперевищення становить 82 %, що відповідає методиці категорії “добра”.

Для місяців літньо-осінньої та зимової межени було побудовано графіки між фактичними та спрогнозованими середньосезонними витратами води наступного сезону від стоку води попереднього сезону на р. Псел – с. Запсілля за період з 1928 по 2019 рік (рис.В.3, додаток В)

2) *Перевірочні прогнози середньосезонної витрати води від попереднього середнього місячного стоку води.*

Для перевірки зазначеної методики прогнозу всього було складено 249 перевірочних прогнозів. Загальна кількість прогнозів, які справдилися дорівнює 183, та, відповідно 66, які не справдилися. Показники якості методик представлені в табл. 5.7. Приклади розрахунків перевірочних прогнозів наведено (табл. Б.4, додаток Б).

Таблиця 5.7

Оцінка якості та ефективності розроблених методик прогнозування стоку наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води р. Псел – с. Запсілля

Сезон, на який складено перевірочні прогнози стоку	Ймовірність неперевищення допустимої похибки, Р %	Категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості
літо	65	задовільна
осінь	76	задовільна
зима	80	задовільна

Показники ймовірності неперевищення допустимої похибки прогнозу сезонного стоку води від попереднього середнього місячного стоку води знаходяться в межах 65÷80 % і аналогічно з попереднім підходом методика відповідає категорії “задовільна”.

Було побудовано графіки між фактичними та спрогнозованими середньосезонними витратами води наступного сезону від середнього стоку

води попереднього місяця на р. Псел – с. Запсілля за період з 1928 по 2019 рік.
(рис.В.4, додаток В)

3) *Перевірочні прогнози середньосезонної витрати води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону.*

Для перевірки якості та ефективності розробленої методики прогнозу було складено всього 102 перевірочних прогнозів. Приклад перевірочних прогнозів подан (табл. Б.5, додаток Б). З них 87 прогнозів справдилося та 15 не справдилося. Показники якості розроблених методик представлені в табл. 5.8.

Таблиця 5.8

Оцінка якості та ефективності розроблених методик прогнозування стоку наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону р. Псел – с. Запсілля

Сезон, на який складено перевірочні прогнози стоку	Ймовірність неперевищення допустимої похибки, Р %	Категорія методики щодо оцінки її ефективності та якості
літо	68	задовільна
осінь	97	добра
зима	91	добра

Порівнюючи розраховану ймовірність неперевищення допустимої похибки прогнозу середнього стоку води за сезони з різними предикторами, треба відзначити, що найкращу ефективність мають методики прогнозування стоку води певного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону. За цією методикою для сезонів осінь-зима справджуваність прогнозів становить 91÷97 %, що відносить розроблені методики до категорії “добрі”. Для літнього сезону ймовірність неперевищення допустимої похибки за своєю величиною аналогічна попереднім двом підходам прогнозування, ефективність методик не перевищила 63÷68% через різноманітний вплив на його стік весняного водопілля (як за величиною об’єму води та максимуму, так й за часом проходження).

Графіки зв'язку між фактичними та спрогнозованими середньосезонними витрати води від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону за період 1985 – 2018 рр. подані (рис. В.5, додаток В).

Висновки до 5 розділу

Для розробки методик прогнозування сезонного (тобто, на літо, осінь та зиму) меженого стоку на р. Псел – с. Запсілля обрано, як й для методик середнього місячного стоку, фізико-статистичні залежності з використанням трьох предикторів:

- середній стік води попереднього сезону;
- середньомісячний стік попереднього сезону;
- середньодобова витрата води наприкінці попереднього сезону.

За допустимими похибками прогнозів оцінено точність і ефективність розроблених методик. Справджуваність методик прогнозування середнього стоку наступного сезону від стоку води попереднього сезону становить $63\div 82\%$ (до категорії «задовільних» відносяться методики прогнозу стоку води для сезонів літо-осінь, до категорії «добра» - для зимового сезону). Ймовірність неперевикнення допустимих похибок методик прогнозування стоку наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води для р. Псел – с. Запсілля знаходяться в межах $65\div 80\%$ (для всіх сезонів розроблені методики відносяться до категорії «задовільних»). Оцінка якості та ефективності методик прогнозування стоку наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону має наступні результати: для сезонів осінь-зима справджуваність прогнозів становить $91\div 97\%$, що відносить розроблені методики до категорії «добрі». Для літнього сезону ймовірність неперевикнення допустимої похибки за своєю величиною (68%) аналогічна попереднім двом підходам прогнозування. Загалом для цього сезону ефективність методик не перевищила $63\div 68\%$ через різноманітний вплив на його стік весняного водопілля (як за величиною об'єму води та максимуму, так й за часом проходження).

Порівнюючи результати перевірочних прогнозів за трьома запропонованими підходами, треба відзначити, що найкращу ефективність мають методики прогнозування стоку води певного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону.

ВИСНОВКИ

Мета та всі поставлені основні завдання магістерської роботи виконано – охарактеризовано фізико-географічні умови та особливості водного режиму річки Псел; вивчено методичні основи та підходи щодо прогнозування середньомісячного та сезонного стоку води літньо-осінньої та зимової межені, розроблені методики прогнозу витрат води, проведено перевірочні прогнози методик та оцінено ефективність їх застосування. За виконаними роботами можна зробити наступні висновки:

1) За фізико-географічним положенням досліджувана р. Псел знаходиться у лісостеповій природній зоні, поверхня басейну якої є полого-горбиста рівнина, сильно розсічена сухими балками та ярами. За адміністративним поділом річка протікає у межах Курської і Білгородської областей Російської Федерації та у межах Сумської й Полтавської областей України. Впадає в р. Дніпро з лівого берега. У межах України знаходиться 72% від загальної площі водозбору р. Псел.

Клімат басейну р. Псел помірно-континентальний. Середня річна температура повітря $+7.3^{\circ}\text{C}$. Найнижчі температури спостерігаються у січні-лютому $-5-6^{\circ}\text{C}$, а найвищі – у липні-серпні, від $+19-20^{\circ}\text{C}$. В сучасний період прослідковується тенденція до збільшення середньої річної температури повітря. Середньорічна кількість опадів складає 560-600 мм. Хоча за багаторічний період відмічалися як дуже зволожені роки, коли кількість опадів досягала 800-900 мм, так й посушливі, бідні на опади – 400-450 мм.

Водний режим р. Псел характеризується чітко вираженим весняним водопіллям (припадає 65-70% річного стоку) і низькою меженню во всі інші

сезони. Стік води зимового сезону є суттєво меншим у порівнянні зі стоком літньо-осінньої межені.

2) На р. Псел в межах України спостереження за стоком води проводять на трьох гідрометричних постах: верхній – біля м. Суми (площа водозбору 7770 км²), у середній течії – у м. Гадяч (11300 км²) та нижній – біля с. Запсілля (21800 км²). Найдовші ряди за витратами води має пост біля с. Запсілля - 1928-2021 рр. Річкова мережа р. Псел помірно розвинута, середня щільність становить 0,27 км/км². Середній похил річки 0,23 м/км.

3) Методичною основою довгострокового прогнозування меженого стоку рівнинних річок є рівняння водного балансу, основними складовими якого є 1) запаси води у річковій мережі в момент часу t ; 2) стік підземних вод, що надходять в річку на час $(t+\Delta t)$; 3) стік за рахунок дощів або талих вод теж на час $(t+\Delta t)$. Зі складових тільки запаси води в руслі на момент часу t можуть бути розраховані з достатньою точністю. Визначення на період завчасності прогнозу двох інших складових викликає труднощі, насамперед, у точності передбачення зазначених величин для гідрологічного прогнозу.

На практиці для прогнозів меженого стоку широко використовують більш прості, але доволі ефективні фізико-статистичні зв'язки $\bar{Q}_{t+\Delta t} = f(Q_t)$, тобто залежності наступного стоку від попереднього, в яких витрата води (Q_t) є непрямою характеристикою відповідних запасів підземних і руслових вод.

4) Для розробки методик прогнозу середнього місячного стоку води літньо-осінньої та зимової межені на р. Псел біля с. Запсілля обрано фізико-статистичні залежності з використанням двох предикторів: 1 – середній місячний стік попереднього місяця; 2 – середньодобова витрата води наприкінці попереднього місяця.

За допустимими похибками прогнозів оцінено точність і ефективність розроблених методик. Ймовірність неперевищення допустимих похибок методик прогнозу середньомісячного стоку місяців межених періодів від середньомісячного стоку попереднього місяця знаходяться в межах 64÷90%, а для методик прогнозу середньомісячного стоку місяців меженого періоду від

середньодобової витрати води наприкінці попереднього місяця змінюються в межах $82 \div 100$ %.

Аналізуючи результати перевірочних прогнозів за двома запропонованими підходами, можна стверджувати, що методика прогнозу середньомісячних витрат води меженних періодів від середньодобової витрати наприкінці попереднього місяця має значно кращі результати прогнозування і оцінюється як більш ефективна.

5) Для розробки методик прогнозування сезонного (тобто, на літо, осінь та зиму) меженного стоку на р. Псел – с. Запсілля обрано, як й для методик середнього місячного стоку, фізико-статистичні залежності з використанням трьох предикторів: 1 – середній стік води попереднього сезону; 2 – середньомісячний стік попереднього сезону; 3 – середньодобова витрата води наприкінці попереднього сезону.

За допустимими похибками прогнозів оцінено ефективність розроблених методик. Справджуваність методик прогнозування середнього стоку наступного сезону від стоку води попереднього сезону становить $63 \div 82$ %. Ймовірність неперевищення допустимих похибок методик прогнозування стоку наступного сезону від попереднього середнього місячного стоку води знаходяться в межах $65 \div 80$ %. Оцінка якості та ефективності методик прогнозування стоку наступного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону має наступні результати: для сезонів осінь-зима справджуваність прогнозів становить $91 \div 97$ %, що відносить розроблені методики до категорії «добрі». Для літнього сезону ймовірність неперевищення допустимої похибки за своєю величиною (68%) аналогічна попереднім двом підходам прогнозування ($63 \div 65$ %) – тобто, методики відносяться до категорії «задовільних», що пояснюється різноманітним впливом на середній стік літнього сезону весняного водопілля (як за величиною об'єму води та максимуму, так й за часом проходження).

Порівнюючи результати перевірочних прогнозів сезонного стоку за трьома запропонованими підходами, треба відзначити, що найкращу

ефективність мають методики прогнозування стоку води певного сезону від середньодобової витрати води наприкінці попереднього сезону.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Апполов Б.А. Курс гидрологических прогнозов / Б.А. Апполов, Г.П. Калинин, В.Д. Комаров – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
2. Бефани Н.Ф. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам / Н.Ф. Бефани, Г.П. Калинин – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390с.
3. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання / В. І. Вишневський - Київ.: Віпол, 2000. - 375с
4. Вишневський В. І. Гідрологічні характеристики річок України / В. І. Вишневський, О. О. Косоцький – Київ : Ніка-центр, 2003. – 324 с.
5. Генсірук С.А. Географія лісових ресурсів України / С. А. Генсірук, М. С. Нижник, видавництво «Світ», Львів, 1995. – 422с
6. Геоморфология Украинской ССР. Учебн. пособие /И.М. Рослый, Ю.А.Кошик, Э.Т.Палиенко и др.; Под общ. ред. И.М.Рослого.-К.: Вища шк., 1990. - 287 с.
7. Георгиевский Ю. М. Гидрологические прогнозы / Ю. М. Георгиевский, С. В. Шаночкин – Учебник. СПб., изд. РГГМУ, 2007. – 436 с.
8. Гидрологические и воднобалансовые расчеты // Под. ред. Н. Г. Галущенко. К.: Вища школа, 1987. С. 171-221.
9. Гідрологічні щорічники, том 2, випуск 2.
10. Горбачова Л. О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. Український географічний журнал, 2015. № 3. С. 16–23.
11. Горошков И.Ф. Гидрологические расчеты. Л.: Гидрометеиздат, 1979. С. 42-54.
12. Гребінь В.В., Ободовський О.Г., Жовнір В.В., Мудра К.В., Почаєвець О.О. Оцінювання однорідності рядів стокових характеристик річок районів річкових басейнів та суббасейнів України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 1(52). С. 36-50.

13. Гребінь В. В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтногідрологічний аналіз) / В. В. Гребінь – Київ : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
14. Догановский А.М. Орлов В.Г. Сборник задач по определению основных характеристик водных объектов суши (практикум по гидрологии): Уч. пособ. - Санкт-Петербург :Изд-во РГГМУ, 2011. – 315 с.
15. Долгополов К. В. Вода – национальное достояние / К. В. Долгополов, Е. Ф. Федорова - М.: «Мысль», 1973 - 255 с
16. Загальна гідрологія // За ред. В.К. Хільчевського, О.Г. Ободовського. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 179-187 с.
17. Кайсл Ч. Анализ временных рядов гидрологических данных. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 138 с.
18. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» / Упорядник О. І. Лук'янець. К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. 60 с.
19. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Річковий стік та гідрологічні розрахунки» / Упорядник С.С. Дубняк. К.: ВПЦ «Київський університет», 2006. 37 с.
20. Методичні рекомендації до виконання практичних робіт з курсу «Гідрологічні прогнози» / Упорядник О.І. Лук'янець. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2004. – 25 с.
21. Ободовський О.Г., Лук'янець О.І., Гребінь В.В., Почаєвець О.О. Середній річний стік води в межах районів річкових басейнів України. Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 3 (54). С. 65-66.
22. Ободовський О., Лук'янець О., Москаленко С., & Корнієнко В. Узагальнення середнього річного стоку води річок відповідно до гідрографічного районування України. Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна, Серія «Геологія. Географія. Екологія», 2019. № 51, С. 158-170.

23. Рельєф України: навч. посібник / Б.О. Вахрушев, І.П. Ковальчук, О.О. Комлев та ін.; [заг. ред. В.В. Стецюк]. – К. : Слово, 2010. – 688 с.
24. Ресурсы поверхностных вод СССР: Т. 6 Вып. 2./ за ред. Каганера М. С. – Л.: Гидрометиздат, 1971. – 510 с.
25. Рождественский А. В., Чеботаев А. И. Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеиздат, 1974. С.5-24, 35-54, 184-208.
26. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебник. Специальность “Гидрология” направление подготовки “Гидрометеорология”. – СПб.: изд. РГГМУ, 2007. – с.160-180.
27. Христофоров А. В. Теория случайных процессов в гидрологии. – М.: Изд-во МГУ, 1994. – 143 с.
28. Чорноморець Ю.О., Лук’янець О.І. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дошового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 4(55). С. 40-52.
29. Швєбс Г. І. Каталог річок і водойм України: [навчально-довідковий посібник] / Г. І. Швєбс, М. І. Ігошин. – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
30. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. – Одеса: Видво: ОДЕКУ, 2010. – 153 с.
31. Басейн річки Псел на гідрографічній мапі України [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://cutt.ly/1kbc3Sj>

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Вихідні дані для розробки методик прогнозування середньомісячного та сезонного стоку води меженних періодів, р. Псел – с. Запсілля

Таблиця А.1

**Середньомісячні витрати води літньо-осінньої та зимової межени
за період 1928 – 2019 рр., р. Псел – с. Запсілля**

Рік	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, червень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, липень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, серпень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, вересень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, жовтень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, листопад,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, грудень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, січень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, лютий,м3/с
1928	33,3	16,8	15,2	15,7	14	20,7	28,6	10,8	11,4
1929	51,3	32,6	23,2	12,6	12,2	17,4	21,4	21,4	10,1
1930	25	15,1	12,3	15,4	17,7	22,8	25,6	10	20,2
1931	52,9	22,1	15,2	13,2	18	22,3	15,4	11,7	12,5
1932	55,3	42,4	24,4	16,1	20,2	23,6	50,4	16,8	16,8
1933	82,6	74,4	49,2	35,7	36,4	51	32,5	41,9	15,2
1934	17,7	14,8	17	12,1	10,3	15,8	23,4	16,7	17,3
1935	20,9	11,2	13,2	9,5	11,1	19	29,4	9,96	11,4
1936	15,9	10,7	7,08	5,61	10,3	17	23,5	63,6	135
1937	15,3	8,23	6,95	10,2	9,72	14,2	30,7	16,8	18,6
1938	16,2	7,83	4,24	3,24	3,28	7,39	7,65	34,7	23,4
1939	8,51	3,69	3,53	1,36	2,18	5,6	12,4	6,57	19,6
1940	29,8	11,8	12,3	11,5	10,9	19,4	17,9	10,3	10,4
1950	14,7	11,5	13,5	14,6	15,2	25	24,4	19,3	17,2
1951	34,4	21,3	11,9	11,6	13,6	13,6	17,2	17,4	12,1
1952	30,9	20,8	15,2	10,5	14,2	63,9	56,5	22,9	35,7
1953	36,7	17,6	11,4	9,41	10,2	11,5	8,66	56,4	26,7
1954	17,4	9,85	6,98	7,43	8,76	12,5	15,2	9,3	7,75
1955	24,6	18	11,2	8,86	8,39	9,31	8,86	86,8	128
1956	25,6	18,5	23,4	24,8	17,8	20,8	36,4	12,3	9,2
1957	16,7	10,4	10,2	9,1	12,1	13	13,9	24,3	96,4
1958	27,2	53,7	30,2	27,1	25,6	33,7	27,2	17,6	49,9
1959	19,3	13	8,82	8,78	15,1	17,9	10,6	39,4	26,2
1960	17,3	11,2	9,28	11,4	19,3	35,7	52,6	21,9	17,8
1961	42,8	15	10,3	10,1	8,79	12,2	13,8	56,1	28,5
1962	12,1	9,44	8,43	8,11	9,65	12,1	13,5	13,1	19
1963	22,6	17,9	13,2	9,21	8,68	12,1	13	12,7	8,2
1964	20,5	15	12,3	12,1	9,97	13,1	19	9,67	8,63
1965	20,2	13,6	13,6	18	22,5	21,5	57,7	20,3	10,4
1966	15,5	15,7	18,9	10,4	13,6	17,6	21,1	49,9	87
1967	19,6	15,1	13,4	13,7	14,8	16	19,3	21,8	20,2
1968	23,5	14,5	16,3	15	26,7	27,6	23,6	20,7	19,4
1969	37,4	24,8	20,9	20	19,6	30	34,1	21,3	13,1
1970	35	22,9	17,8	21,3	43,5	57	32,1	33,6	24,63
1971	21,2	23,6	20,4	22,5	33,7	38,6	45	34,1	36,9
1972	19,5	24,8	15,7	11	17	26,5	26,8	27,5	16
1973	46,4	25,8	50,8	47,2	34,6	43,7	41,4	20	24,2
1974	40,8	50,3	32,7	17,1	20,8	34,3	32,5	49,1	106
1975	25,5	18,4	13,2	13,3	14,4	15,5	14	40,7	31,1
1976	33,1	16,4	22,1	23,9	31,9	29,7	33,1	19,3	17,5
1977	38,5	43,1	33,2	44,9	40,5	51,6	51,5	22,9	39,9
1978	36,7	29,7	33,1	25,8	41,4	45,8	40,6	23,9	21,8
1979	31,7	27	29,7	33,1	36	37,6	40,9	44	140
1980	91,2	64,2	58,9	55,3	57,9	80,7	133	45,6	38,7

Продовження табл. А.1

Рік	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, червень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, липень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, серпень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, вересень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, жовтень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, листопад,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, грудень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, січень,м3/с	Середньомісячна витрата води р.Псел-с.Запсілля, лютий,м3/с
1981	34	35,8	23	32,4	40,4	59,6	78,3	112	93,3
1982	50,1	58,3	59,3	44,7	48	51,7	45	96,4	76,1
1983	30,9	28,6	27,2	26,7	27	24,3	30,3	66	94,9
1984	21,8	23,7	24,2	22,4	37,3	40,8	36,7	37,7	34,8
1985	45,1	56,2	41	34,9	41,1	59,1	57	20,6	26,2
1986	38,7	23	16,5	25,1	30,6	35,5	30,6	59	86,7
1987	48,2	36,4	38,1	29,6	37,5	33,7	32,6	19,3	21,2
1988	53	45,2	38,7	42,9	52,1	46,3	40,3	27,5	36
1989	39,3	31,7	31,2	29,7	39,4	43,3	37,3	38,8	53,7
1990	46,4	46,5	33,4	34	44	56,4	58,5	50,5	58,7
1991	46,5	26	23,9	23,3	26,7	54,5	57,5	47,1	34,5
1992	27,4	20,7	20,9	19	27,7	48,2	38,1	33,7	28,5
1993	23,5	23,7	27,6	32,1	40,2	33,9	25,9	32	43,3
1994	60,8	30,8	17,7	19,4	29,3	29,2	15,3	69,1	48,5
1995	31,1	21,3	19	24,2	31,3	35,2	23,9	21,5	63,3
1996	37,5	24,9	20,5	24,2	36,2	40,3	42,7	17	14,7
1997	42,1	41,5	43	43,7	55,9	51,5	46	19,5	22,1
1998	43	33,6	27,3	31,9	37,6	52,1	38,2	62	45,5
1999	34,7	20,8	18,2	19,4	30,8	32,6	26,5	36,8	71,8
2000	35,2	21	31	29	40,7	39,8	37,8	32,4	36
2001	41	48,8	23,5	25,4	33,8	33,3	29,8	48,2	39,1
2002	34,6	23,1	17,8	17,6	31,8	39,7	29,6	28,2	77,8
2003	34,1	23	23,3	24,3	34,9	43,4	37	24,3	21,7
2004	48,5	32	33,9	23,7	51,5	43,7	37,9	40,1	65,7
2005	36,1	29,5	21,9	17,9	22,9	29,2	42	49,1	49,5
2006	65,9	29	20,5	27,6	38,6	43,5	39,4	37	31
2007	23,4	17,3	13,5	15,3	29,4	34,3	35,6	44,5	43,2
2008	25,5	15,5	12,7	12,7	22,5	26,1	29,4	23,2	28,8
2009	23	12,7	9,3	8,94	18,7	26,9	29,5	21	44,3
2010	21,2	11,6	10,2	8,96	15,3	19,5	30,9	31,7	28,5
2011	14,6	14,3	14,4	11,3	19,6	22,4	26	32,9	32,4
2012	12,3	13	7,38	9,38	21,1	34,1	28,5	34,3	23,1
2013	23,4	11,8	11,5	15	31,6	37,4	30,6	24,2	40,8
2014	12	11,6	8,98	8,05	18,3	21,3	13,5	30,8	27,5
2015	17,3	14,1	10,5	9,33	13,9	16,4	20,7	17,5	26
2016	32,6	18,4	13,3	17,4	19,7	26,4	30,4	21,2	33,7
2017	14,2	9,26	7,78	8,14	14,7	21,7	27,4	28,9	32,5
2018	26,7	13,7	11,8	10,2	16,2	18	15,3	38,2	30,2
2019	18,6	8,63	5,89	6,9	13,6	15,9	16,4	17,9	30,6

Таблиця А.2

**Середньодобові витрати води на наступні дати – 31.05; 30.06; 31.07; 31.08;
30.09; 31.10; 30.11; 31.12; 31.01;**

Рік	Витрата води на дату 31.05	Витрата води на дату 30.06	Витрата води на дату 31.07	Витрата води на дату 31.08	Витрата води на дату 30.09	Витрата води на дату 31.10	Витрата води на дату 30.11	Витрата води на дату 31.12	Витрата води на дату 31.01
1985	40,0	43,2	46,0	37,1	40,0	36,8	68,1	56,7	21,5
1986	59,7	24,5	19,8	20,5	32,1	33,2	34,4	20,9	115
1987	52,8	39,4	33,5	27,5	36,8	39,0	32,9	28,0	18,5
1988	58,7	60,2	40,4	35,3	52,8	55,3	39,5	35,5	25,7
1989	46,3	33,7	30,0	31,4	32,9	42,5	38,7	37,9	44,2
1990	45,6	48,1	46,8	30,6	38,3	48,7	58,4	51,5	45,9
1991	75,7	29,0	26,3	26,0	21,2	37,0	60,1	51,2	39,6
1992	29,6	20,9	20,7	21,0	19,0	34,8	60,3	24,6	26,2
1993	29,4	20,9	30,5	28,3	44,9	33,3	24,5	35,1	46,3
1994	66,9	48,8	20,2	17,2	21,9	26,9	18,5	13,5	54,6
1995	42,8	24,2	17,8	16,4	31,1	30,1	36,4	18,3	25,4
1996	48,6	24,6	20,0	21,7	39,3	37,6	45,5	27,2	17,2
1997	44,7	37,8	44,1	44,7	44,1	68,3	51,7	40,5	13,8
1998	50,2	35,1	31,2	29,0	34,3	43,9	45,8	34,0	47,6
1999	48,9	23,4	16,2	18,5	20,9	34,4	24,1	25,3	43,2
2000	40,0	24,8	24,8	26,1	40,0	36,2	35,8	44,2	26,0
2001	38,8	56,4	32,9	21,8	27,6	32,6	39,2	24,5	39,3
2002	33,9	29,3	21,0	17,8	19,4	39,7	39,2	27,6	33,3
2003	53,5	22,6	23,3	23,0	29,6	40,1	42,5	32,9	23,0
2004	47,6	34,7	34,3	23,0	32,0	53,5	37,9	45,5	46,4
2005	49,2	35,2	23,3	21,1	17,0	26,6	35,2	40,4	44,4
2006	82,1	48,1	17,0	23,6	36,9	40,3	44,1	34,4	35,4
2007	34,3	20,0	14,2	13,7	24,9	33,0	39,4	33,1	51,3
2008	35,8	18,5	14,5	3,57	20,8	25,8	32,4	19,6	24,7
2009	27,4	14,8	9,20	7,38	9,70	26,4	31,0	20,8	22,3
2010	35,5	11,1	10,5	9,87	12,1	16,4	25,6	42,2	34,3
2011	22,0	14,2	15,3	12,5	12,4	17,4	21,1	33,3	29,2
2012	12,1	12,2	9,26	7,43	14,8	25,5	34,3	25	24,5
2013	29,1	15,9	14,1	6,67	24,2	31,3	37,2	27,2	27,3
2014	17,6	10,5	12,0	7,99	11,0	18,6	20,0	11,5	19,6
2015	20,7	16,4	13,9	8,44	11,4	14,3	21,1	20,0	19,0
2016	35,6	24,8	15,2	16,3	18,4	17,4	27,8	29,1	23,3
2017	22,3	11,2	7,54	7,80	9,70	17,4	21,4	41,5	28,0
2018	45,8	18,6	12,2	10,9	10,5	19,9	14,2	16,0	29,2

Сезонний стік води за період 1928 – 2019 рр., р. Псел – с. Запсілля

Рік	Весна	Літо	Осінь	Зима
1928	124,60	21,77	16,80	20,03
1929	209,43	35,70	14,07	17,20
1930	128,73	17,47	18,63	16,60
1931	285,53	30,07	17,83	16,33
1932	234,13	40,70	19,97	35,83
1933	136,73	68,73	41,03	22,17
1934	128,17	16,50	12,73	14,92
1935	70,83	15,10	13,20	76,00
1936	95,70	11,23	10,97	19,63
1937	222,33	10,16	11,37	29,60
1938	80,70	9,42	4,64	11,27
1939	63,33	5,24	3,05	11,03
1940	198,17	17,97	13,93	
1950	72,73	13,23	18,27	17,97
1951	142,07	22,53	12,93	25,27
1952	130,87	22,30	29,53	46,53
1953	198,40	21,90	10,37	8,57
1954	36,93	11,41	9,56	76,67
1955	125,30	17,93	8,85	10,12
1956	120,25	22,50	21,13	52,37
1957	148,73	12,43	11,40	27,13
1958	147,73	37,03	28,80	30,93
1959	81,97	13,71	13,93	16,77
1960	168,33	12,59	22,13	45,73
1961	47,93	22,70	10,36	15,30
1962	51,67	9,99	9,95	11,47
1963	149,03	17,90	10,00	10,43
1964	143,40	15,93	11,72	16,57
1965	64,40	15,80	20,67	64,87
1966	106,00	16,70	13,87	21,03
1967	111,97	16,03	14,83	19,80
1968	128,90	18,10	23,10	19,33
1969	79,73	27,70	23,20	30,78
1970	253,33	25,23	40,60	34,37
1971	173,70	21,73	31,60	29,50
1972	39,43	20,00	18,17	23,67
1973	83,03	41,00	41,83	65,50
1974	87,60	41,27	24,07	34,77
1975	43,61	19,03	14,40	16,93
1976	58,03	23,87	28,50	31,97
1977	100,70	38,27	45,67	32,40
1978	175,33	33,17	37,67	74,87
1979	182,50	29,47	35,57	41,73
1980	259,53	71,43	64,63	112,77
1981	157,13	30,93	44,13	83,60
1982	117,57	55,90	48,13	68,63
1983	108,23	28,90	26,00	34,27
1984	80,43	23,23	33,50	27,83
1985	135,70	47,43	45,03	67,57
1986	154,60	26,07	30,40	23,70
1987	127,53	40,90	33,60	32,03
1988	175,53	45,63	47,10	44,27
1989	78,33	34,07	37,47	48,83
1990	64,77	42,10	44,80	46,70
1991	85,23	32,13	34,83	39,90
1992	60,53	23,00	31,63	37,80
1993	83,37	24,93	35,40	47,83
1994	107,90	36,43	25,97	33,37
1995	128,00	23,80	30,23	18,53
1996	137,47	27,63	33,57	28,10
1997	532,00	42,20	50,37	51,17
1998	129,33	34,63	40,53	48,93
1999	102,63	24,57	27,60	31,63
2000	68,00	29,07	36,50	41,70
2001	75,07	37,77	30,83	45,27
2002	62,73	25,17	29,70	25,20
2003	152,37	26,80	34,20	47,60
2004	87,83	38,13	39,63	45,50
2005	84,60	29,17	23,33	36,67
2006	167,33	38,47	36,57	42,37
2007	58,03	18,07	26,33	29,20
2008	68,03	17,90	20,43	31,57
2009	56,37	15,00	18,18	29,90
2010	96,43	14,33	14,59	32,07
2011	42,67	14,43	17,77	27,80
2012	42,47	10,89	21,53	31,17
2013	75,37	15,57	28,00	29,63
2014	35,90	10,86	15,88	19,00
2015	41,63	13,97	13,21	25,20
2016	58,67	21,43	21,17	30,60
2017	52,00	10,41	14,85	31,93
2018	107,80	17,40	14,80	21,27
2019	41,03	11,04	12,13	16,40

ДОДАТОК Б

Перевірочні прогнози середньомісячного та сезонного стоку води літньо-осінньої та зимової межені, р. Псел – с. Запсілля

Таблиця Б.1

Приклад перевірочних прогнозів середньомісячного стоку води, предиктор – середньомісячний стік попереднього місяця

Рік	Фактична витрата води серпень, м3/с	Прогнозна витрата води, Q вересень, t+Δt	Фактична витрата води, вересень, м3/с	Різниця витрат води	Врахування допустимої похибки
1950	13,5	12,8	14,6	-1,76	+
1951	11,9	11,3	11,6	-0,27	+
1952	15,2	14,5	10,5	3,95	+
1953	11,4	10,9	9,41	1,45	+
1954	6,98	6,7	7,43	-0,76	+
1955	11,2	10,7	8,86	1,81	+
1956	23,4	22,2	24,8	-2,61	+
1957	10,2	9,7	9,1	0,62	+
1958	30,2	28,6	27,1	1,50	+
1959	8,82	8,4	8,78	-0,37	+
1960	9,28	8,8	11,4	-2,55	+
1961	10,3	9,8	10,1	-0,28	+
1962	8,43	8,0	8,11	-0,07	+
1963	13,2	12,6	9,21	3,35	+
1964	12,3	11,7	12,1	-0,39	+
1965	13,6	12,9	18	-5,06	+
1966	18,9	17,9	10,4	7,55	+
1967	13,4	12,8	13,7	-0,95	+
1968	16,3	15,5	15	0,49	+
1969	20,9	19,8	20	-0,17	+
1970	17,8	16,9	21,3	-4,39	+
1971	20,4	19,4	22,5	-3,14	+
1972	15,7	14,9	11	3,92	+
1973	50,8	48,0	47,2	0,76	+
1974	32,7	31,0	17,1	13,85	-
1975	13,2	12,6	13,3	-0,74	+
1976	22,1	21,0	23,9	-2,93	+
1977	33,2	31,4	44,9	-13,48	-
1978	33,1	31,3	25,8	5,53	+
1979	29,7	28,1	33,1	-4,97	+
1980	58,9	55,6	55,3	0,26	+
1981	23	21,8	32,4	-10,58	-
1982	59,3	55,9	44,7	11,23	-
1983	27,2	25,8	26,7	-0,93	+
1984	24,2	22,9	22,4	0,55	+
1985	41	38,8	34,9	3,86	+
1986	16,5	15,7	25,1	-9,42	-
1987	38,1	36,0	29,6	6,43	+
1988	38,7	36,6	42,9	-6,31	+
1989	31,2	29,5	29,7	-0,16	+
1990	33,4	31,6	34	-2,39	+
1991	23,9	22,7	23,3	-0,64	+
1992	20,9	19,8	19	0,83	+
1993	27,6	26,2	32,1	-5,95	+
1994	17,7	16,8	19,4	-2,59	+
1995	19	18,0	24,2	-6,16	+
1996	20,5	19,5	24,2	-4,74	+
1997	43	40,6	43,7	-3,07	+
1998	27,3	25,9	31,9	-6,03	+
1999	18,2	17,3	19,4	-2,11	+
2000	31	29,4	29	0,35	+
2001	23,5	22,3	25,4	-3,11	+
2002	17,8	16,9	17,6	-0,69	+
2003	23,3	22,1	24,3	-2,20	+
2004	33,9	32,1	23,7	8,38	-
2005	21,9	20,8	17,9	2,88	+
2006	20,5	19,5	27,6	-8,14	-
2007	13,5	12,8	15,3	-2,46	+
2008	12,7	12,1	12,7	-0,61	+
2009	9,3	8,9	8,94	-0,07	+
2010	10,2	9,7	8,96	0,76	+
2011	14,4	13,7	11,3	2,40	+
2012	7,38	7,0	9,38	-2,33	+
2013	11,5	11,0	15	-4,05	+
2014	8,98	8,6	8,05	0,51	+
2015	10,5	10,0	9,33	0,68	+
2016	13,3	12,7	17,4	-4,74	+
2017	7,78	7,4	8,14	-0,71	+
2018	11,8	11,2	10,2	1,04	+
2019	5,89	5,6	6,9	-1,27	+

Примітка: “+” — прогноз справдився; “-” — прогноз не справдився

Таблиця Б.2

**Приклад перевірочних прогнозів середньомісячного стоку води,
предиктор – середньодобова витрата води наприкінці попереднього місяця**

Рік	Фактична витрата води, 31 серпня, м ³ /с	Прогнозна витрата води, вересень, t+Δt	Фактична витрата води вересень, м ³ /с	Різниця витрат води	Врахування допустимої похибки
1985	37,1	38,0	34,9	3,08	+
1986	20,5	22,2	25,1	-2,89	+
1987	27,5	28,9	29,6	-0,74	+
1988	35,3	36,3	42,9	-6,63	+
1989	31,4	32,6	29,7	2,87	+
1990	30,6	31,8	34,0	-2,19	+
1991	26,0	27,4	23,3	4,14	+
1992	21,0	22,7	19,0	3,69	+
1993	28,3	29,6	32,1	-2,48	+
1994	17,2	19,1	19,4	-0,32	+
1995	16,4	18,3	24,2	-5,88	+
1996	21,7	23,4	24,2	-0,85	+
1997	44,7	45,2	43,7	1,50	+
1998	29,0	30,3	31,9	-1,61	+
1999	18,5	20,3	19,4	0,91	+
2000	26,1	27,5	29,0	-1,47	+
2001	21,8	23,4	25,4	-1,95	+
2002	17,8	19,7	17,6	2,05	+
2003	23,0	24,6	24,3	0,29	+
2004	23,0	24,6	23,7	0,89	+
2005	21,1	22,8	17,9	4,88	+
2006	23,6	25,2	27,6	-2,44	+
2007	13,7	15,8	15,3	0,46	+
2008	3,6	6,1	12,7	-6,56	+
2009	7,4	9,8	8,9	0,81	+
2010	9,9	12,1	9,0	3,16	+
2011	12,5	14,6	11,3	3,32	+
2012	7,4	9,8	9,4	0,42	+
2013	6,7	9,1	15,0	-5,92	+
2014	8,0	10,3	8,1	2,28	+
2015	8,4	10,8	9,3	1,43	+
2016	16,3	18,2	17,4	0,83	+
2017	7,8	10,2	8,1	2,01	+
2018	10,9	13,1	10,2	2,90	+

Примітка: “+” — прогноз справдився; “-” — прогноз не справдився

Таблиця Б.3

**Приклад перевірочних прогнозів сезонного стоку води,
предиктор – стік попереднього сезону**

Рік	Фактична витрата води, осінь, м3/с	Прогнозна витрата води, зима, t+Δt	Фактична витрата води зима, м3/с	Різниця витрат води	Врахування допустимої похибки
1928	16,80	25,07	20,03	5,04	+
1929	14,07	22,31	17,20	5,11	+
1930	18,63	26,84	16,60	10,24	+
1931	17,83	26,07	16,33	9,74	+
1932	19,97	28,08	35,83	-7,75	+
1933	41,03	45,07	22,17	22,91	-
1934	12,73	20,90	14,92	5,98	+
1935	13,20	21,40	76,00	-54,60	-
1936	10,97	18,95	19,63	-0,68	+
1937	11,37	19,40	29,60	-10,20	+
1938	4,64	10,76	11,27	-0,51	+
1939	3,05	8,17	11,03	-2,86	+
1950	18,27	26,49	17,97	8,52	+
1951	12,93	21,11	25,27	-4,15	+
1952	29,53	36,32	46,53	-10,22	+
1953	10,37	18,26	8,57	9,69	+
1954	9,56	17,32	76,67	-59,35	-
1955	8,85	16,46	10,12	6,34	+
1956	21,13	29,15	52,37	-23,22	-
1957	11,40	19,43	27,13	-7,70	+
1958	28,80	35,72	30,93	4,79	+
1959	13,93	22,17	16,77	5,40	+
1960	22,13	30,05	45,73	-15,68	-
1961	10,36	18,26	15,30	2,96	+
1962	9,95	17,78	11,47	6,31	+
1963	10,00	17,83	10,43	7,39	+
1964	11,72	19,80	16,57	3,23	+
1965	20,67	28,73	64,87	-36,14	-
1966	13,87	22,10	21,03	1,07	+
1967	14,83	23,10	19,80	3,30	+
1968	23,10	30,90	19,33	11,57	+
1969	23,20	30,99	30,78	0,22	+
1970	40,60	44,76	34,37	10,39	+
1971	31,60	37,97	29,50	8,47	+
1972	18,17	26,39	23,67	2,73	+
1973	41,83	45,65	65,50	-19,85	-
1974	24,07	31,75	34,77	-3,02	+
1975	14,40	22,66	16,93	5,72	+
1976	28,50	35,48	31,97	3,51	+
1977	45,67	48,35	32,40	15,95	-
1978	37,67	42,61	74,87	-32,26	-
1979	35,57	41,03	41,73	-0,70	+
1980	64,63	60,75	112,77	-52,02	-

Продовження табл. Б.3

1981	44,13	47,28	83,60	-36,32	-
1982	48,13	50,05	68,63	-18,58	-
1983	26,00	33,40	34,27	-0,87	+
1984	33,50	39,45	27,83	11,62	+
1985	45,03	47,91	67,57	-19,65	-
1986	30,40	37,01	23,70	13,31	-
1987	33,60	39,53	32,03	7,49	+
1988	47,10	49,35	44,27	5,08	+
1989	37,47	42,46	48,83	-6,37	+
1990	44,80	47,75	46,70	1,05	+
1991	34,83	40,47	39,90	0,57	+
1992	31,63	37,99	37,80	0,19	+
1993	35,40	40,91	47,83	-6,93	+
1994	25,97	33,37	33,37	0,01	+
1995	30,23	36,88	18,53	18,35	-
1996	33,57	39,50	28,10	11,40	+
1997	50,37	51,57	51,17	0,40	+
1998	40,53	44,71	48,93	-4,22	+
1999	27,60	34,74	31,63	3,10	+
2000	36,50	41,74	41,70	0,04	+
2001	30,83	37,36	45,27	-7,91	+
2002	29,70	36,45	25,20	11,25	+
2003	34,20	39,99	47,60	-7,61	+
2004	39,63	44,06	45,50	-1,44	+
2005	23,33	31,11	36,67	-5,56	+
2006	36,57	41,79	42,37	-0,58	+
2007	26,33	33,68	29,20	4,48	+
2008	20,43	28,51	31,57	-3,05	+
2009	18,18	26,41	29,90	-3,49	+
2010	14,59	22,85	32,07	-9,22	+
2011	17,77	26,01	27,80	-1,79	+
2012	21,53	29,51	31,17	-1,66	+
2013	28,00	35,07	29,63	5,43	+
2014	15,88	24,16	19,00	5,16	+
2015	13,21	21,41	25,20	-3,79	+
2016	21,17	29,18	30,60	-1,42	+
2017	14,85	23,12	31,93	-8,82	+
2018	14,80	23,07	21,27	1,80	+
2019	12,13	20,25	16,40	3,85	+

Примітка: “+” — прогноз справдився; “-” — прогноз не справдився

**Приклад перевірочних прогнозів сезонного стоку води,
предиктор – попередній середньомісячний стік води**

Рік	Фактична витрата води, серпень, м3/с	Прогнозна витрата води, осінь, t+Δt	Фактична витрата води осінь, м3/с	Різниця витрат води	Врахування допустимої похибки
1928	15,20	19,73	16,80	2,93	+
1929	23,20	27,98	14,07	13,91	-
1930	12,30	16,57	18,63	-2,07	+
1931	15,20	19,73	17,83	1,90	+
1932	24,40	29,17	19,97	9,20	-
1933	49,20	52,05	41,03	11,02	-
1934	17,00	21,64	12,73	8,91	-
1935	13,20	17,56	13,20	4,36	+
1936	7,08	10,50	10,97	-0,47	+
1937	6,95	10,34	11,37	-1,03	+
1938	4,24	6,87	4,64	2,24	+
1939	3,53	5,91	3,05	2,86	+
1940	12,30	16,57	13,93	2,63	+
1950	13,5	17,9	18,27	-0,38	+
1951	11,9	16,1	12,93	3,19	+
1952	15,2	19,7	29,53	-9,80	-
1953	11,4	15,6	10,37	5,19	+
1954	6,98	10,4	9,56	0,81	+
1955	11,2	15,3	8,85	6,48	+
1956	23,4	28,2	21,13	7,04	+
1957	10,2	14,2	11,40	2,79	+
1958	30,2	34,8	28,80	5,98	+
1959	8,82	12,6	13,93	-1,34	+
1960	9,28	13,1	22,13	-9,01	-
1961	10,3	14,3	10,36	3,95	+
1962	8,43	12,1	9,95	2,17	+
1963	13,2	17,6	10,00	7,56	+
1964	12,3	16,6	11,72	4,84	+
1965	13,6	18,0	20,67	-2,67	+
1966	18,9	23,6	13,87	9,75	-
1967	13,4	17,8	14,83	2,95	+
1968	16,3	20,9	23,10	-2,20	+
1969	20,9	25,7	23,20	2,47	+
1970	17,8	22,5	40,60	-18,12	-
1971	20,4	25,2	31,60	-6,44	+
1972	15,7	20,3	18,17	2,10	+
1973	50,8	53,4	41,83	11,61	-
1974	32,7	37,1	24,07	13,08	-
1975	13,2	17,6	14,40	3,16	+
1976	22,1	26,9	28,50	-1,62	+
1977	33,2	37,6	45,67	-8,05	+
1978	33,1	37,5	37,67	-0,15	+
1979	29,7	34,3	35,57	-1,26	+
1980	58,9	60,4	64,63	-4,25	+

Продовження табл. Б.4

1981	23	27,8	44,13	-16,36	-
1982	59,3	60,7	48,13	12,59	-
1983	27,2	31,9	26,00	5,90	+
1984	24,2	29,0	33,50	-4,53	+
1985	41	44,8	45,03	-0,26	+
1986	16,5	21,1	30,40	-9,29	-
1987	38,1	42,1	33,60	8,54	-
1988	38,7	42,7	47,10	-4,41	+
1989	31,2	35,7	37,47	-1,73	+
1990	33,4	37,8	44,80	-7,00	+
1991	23,9	28,7	34,83	-6,16	+
1992	20,9	25,7	31,63	-5,97	+
1993	27,6	32,3	35,40	-3,11	+
1994	17,7	22,4	25,97	-3,59	+
1995	19	23,7	30,23	-6,51	+
1996	20,5	25,3	33,57	-8,31	-
1997	43	46,6	50,37	-3,80	+
1998	27,3	32,0	40,53	-8,53	-
1999	18,2	22,9	27,60	-4,70	+
2000	31	35,5	36,50	-0,96	+
2001	23,5	28,3	30,83	-2,56	+
2002	17,8	22,5	29,70	-7,22	+
2003	23,3	28,1	34,20	-6,12	+
2004	33,9	38,3	39,63	-1,37	+
2005	21,9	26,7	23,33	3,34	+
2006	20,5	25,3	36,57	-11,31	-
2007	13,5	17,9	26,33	-8,44	-
2008	12,7	17,0	20,43	-3,42	+
2009	9,3	13,2	18,18	-5,03	+
2010	10,2	14,2	14,59	-0,39	+
2011	14,4	18,9	17,77	1,10	+
2012	7,38	10,9	21,53	-10,66	-
2013	11,5	15,7	28,00	-12,33	-
2014	8,98	12,8	15,88	-3,11	+
2015	10,5	14,5	13,21	1,33	+
2016	13,3	17,7	21,17	-3,50	+
2017	7,78	11,3	14,85	-3,50	+
2018	11,8	16,0	14,80	1,21	+
2019	5,89	9,0	12,13	-3,11	+

Примітка: “+” — прогноз справдився; “-” — прогноз не справдився

Таблиця Б.5

**Приклад перевірочних прогнозів сезонного стоку води,
предиктор – середньодобова витрата води наприкінці попереднього сезону**

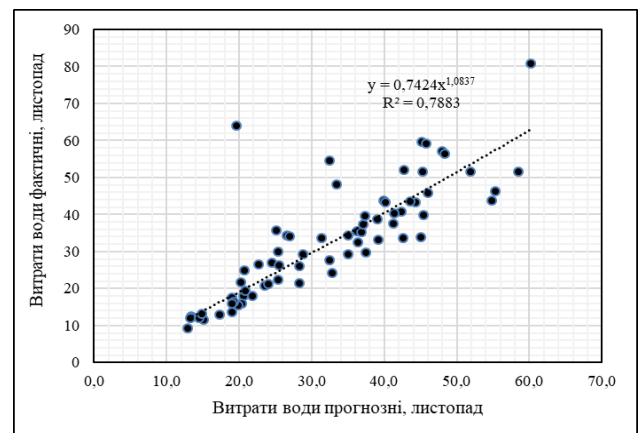
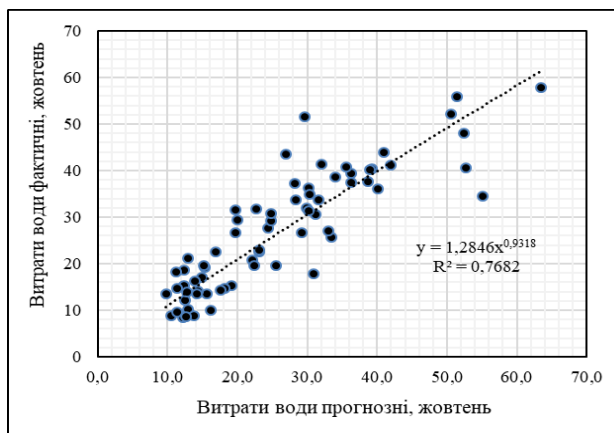
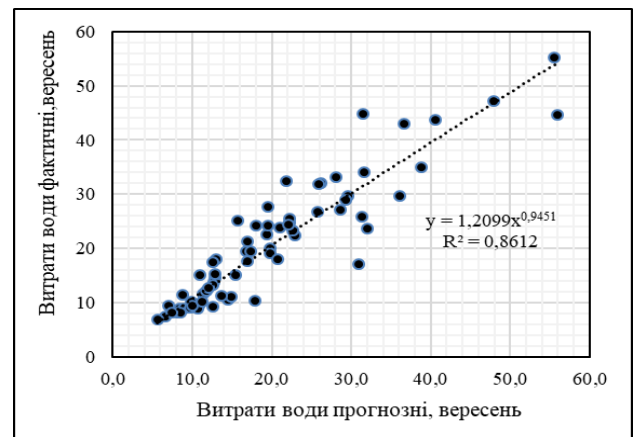
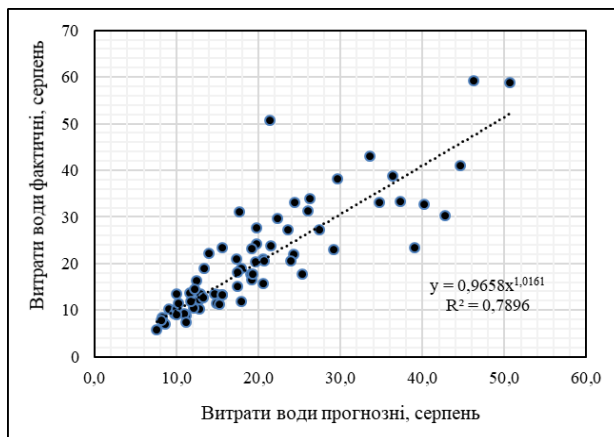
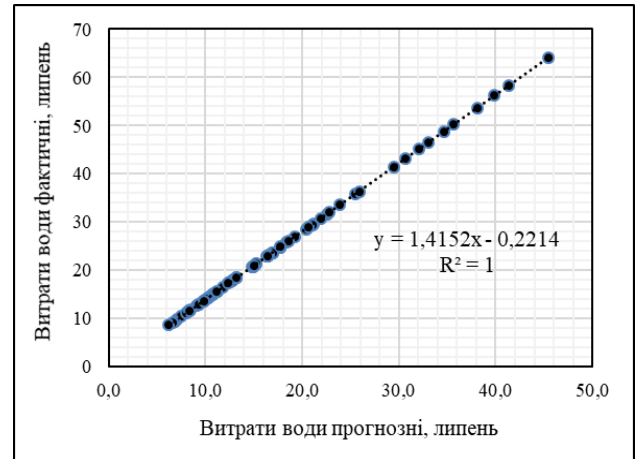
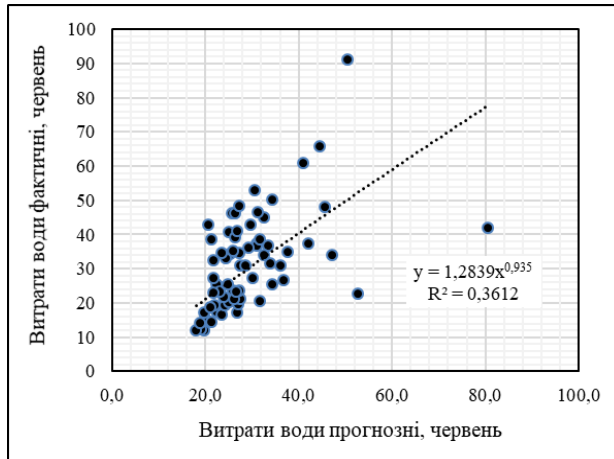
Рік	Фактична витрата води, 31 серпня, м3/с	Прогнозна витрата води, осінь, $t+\Delta t$	Фактична витрата води осінь, м3/с	Різниця витрат води	Врахування допустимої похибки
1985	37,1	45,8	45,03	0,74	+
1986	20,5	30,2	30,40	-0,18	+
1987	27,5	36,8	33,60	3,18	+
1988	35,3	44,1	47,10	-3,02	+
1989	31,4	40,4	37,47	2,96	+
1990	30,6	39,7	44,80	-5,12	+
1991	26,0	35,4	34,83	0,54	+
1992	21,0	30,7	31,63	-0,95	+
1993	28,3	37,5	35,40	2,13	+
1994	17,2	27,1	25,97	1,16	+
1995	16,4	26,4	30,23	-3,86	+
1996	21,7	31,3	33,57	-2,22	+
1997	44,7	52,9	50,37	2,52	+
1998	29,0	38,2	40,53	-2,35	+
1999	18,5	28,3	27,60	0,74	+
2000	26,1	35,5	36,50	-1,04	+
2001	21,8	31,4	30,83	0,60	+
2002	17,8	27,7	29,70	-2,01	+
2003	23,0	32,6	34,20	-1,64	+
2004	23,0	32,6	39,63	-7,07	+
2005	21,1	30,8	23,33	7,45	+
2006	23,6	33,1	36,57	-3,44	+
2007	13,7	23,8	26,33	-2,49	+
2008	3,57	14,4	20,43	-6,07	+
2009	7,38	17,9	18,18	-0,25	+
2010	9,87	20,3	14,59	5,67	+
2011	12,5	22,7	17,77	4,96	+
2012	7,43	18,0	21,53	-3,55	+
2013	6,67	17,3	28,00	-10,74	-
2014	7,99	18,5	15,88	2,62	+
2015	8,44	18,9	13,21	5,71	+
2016	16,3	26,3	21,17	5,12	+
2017	7,80	18,3	14,85	3,47	+
2018	10,9	21,2	14,80	6,43	+

Примітка: “+” — прогноз справдився; “-” — прогноз не справдився

ДОДАТОК В

Порівняння фактичних та прогнозних середньомісячних та сезонних витрат води для літньо - осінньої та зимової межени, р. Псел – с. Запсілля

Початок рис. В.1



Закінчення рис. В.1

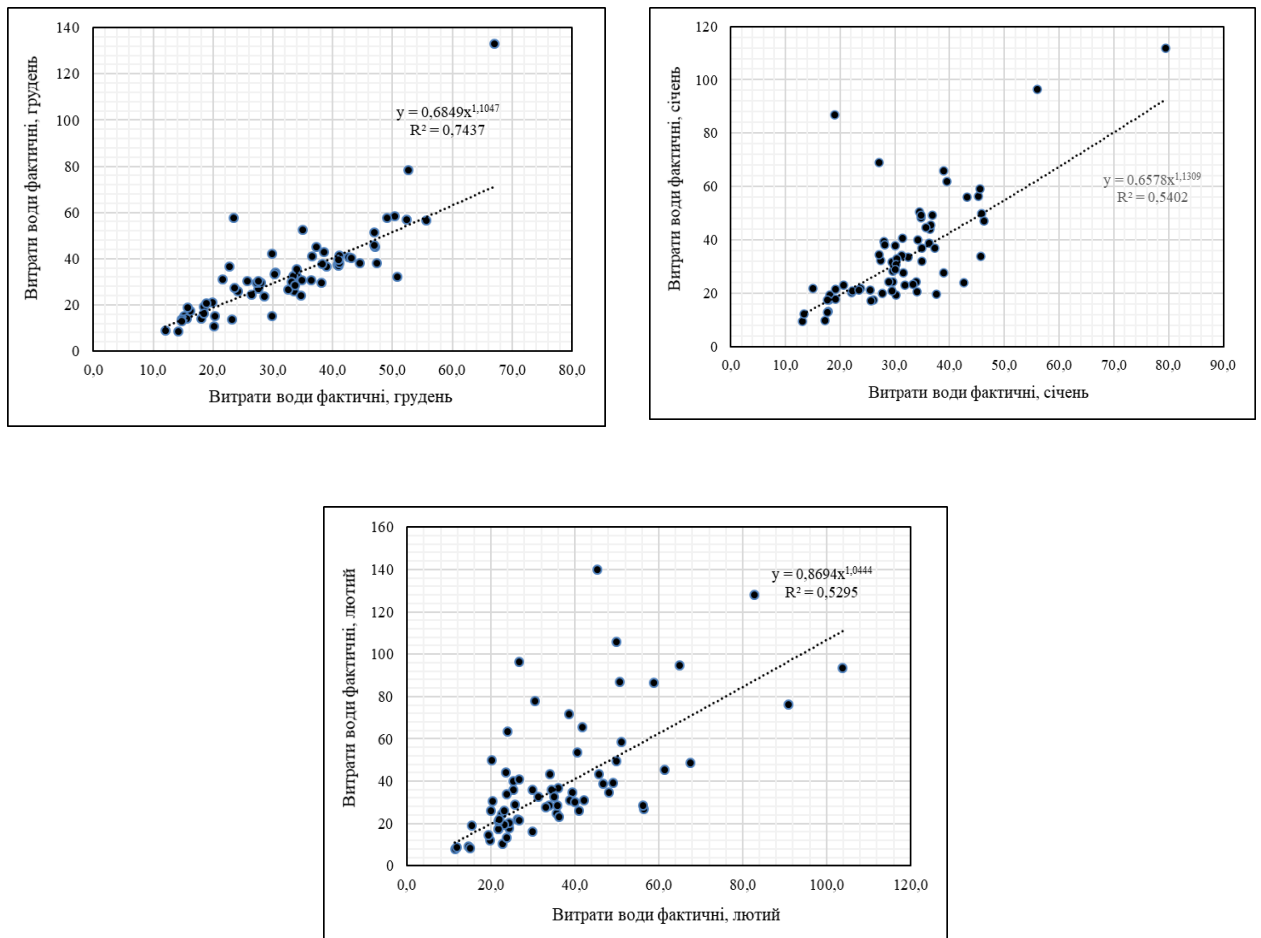
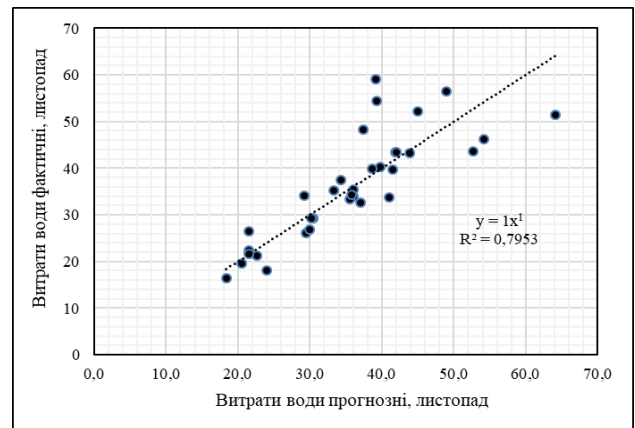
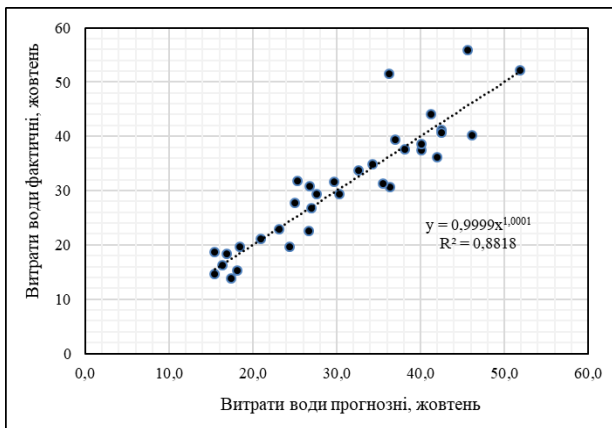
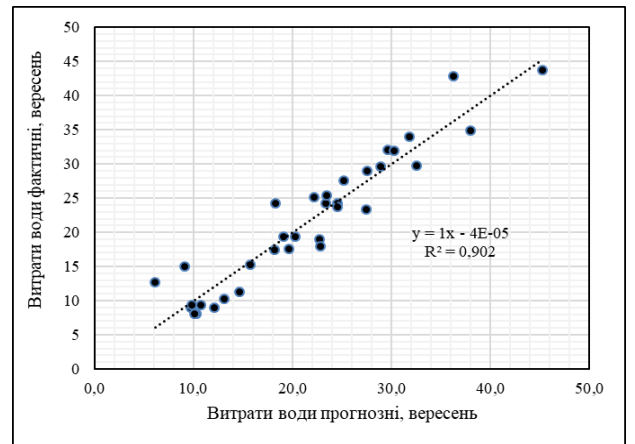
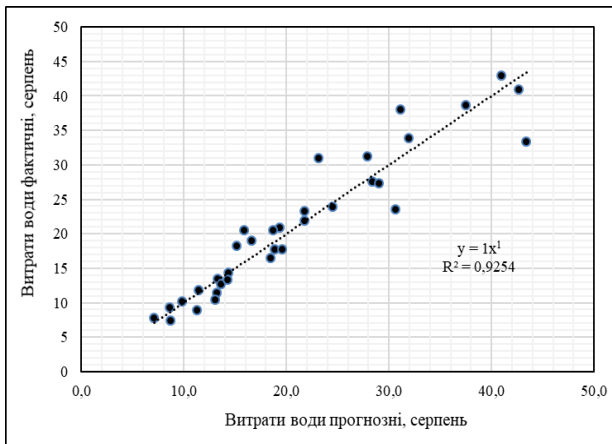
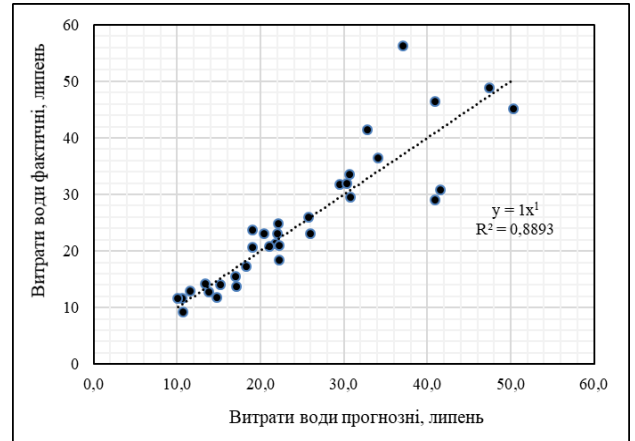
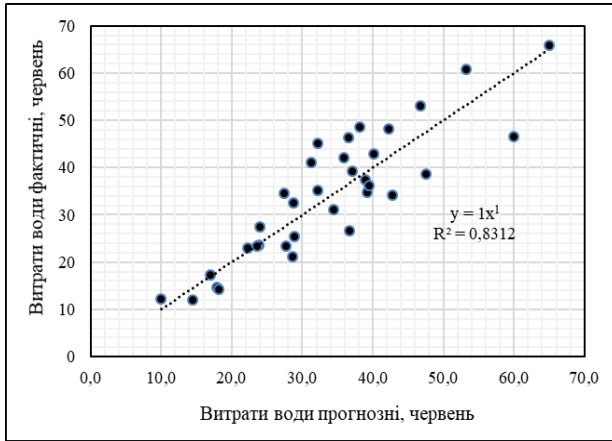


Рис. В.1. Порівняння фактичних та прогнозних середньомісячних витрат води для літньо-осінньої та зимової межени за період 1950 – 2019 рр., р. Псел – с. Запсілля. Предиктор: середній стік попереднього місяця



Закінчення рис. В.2

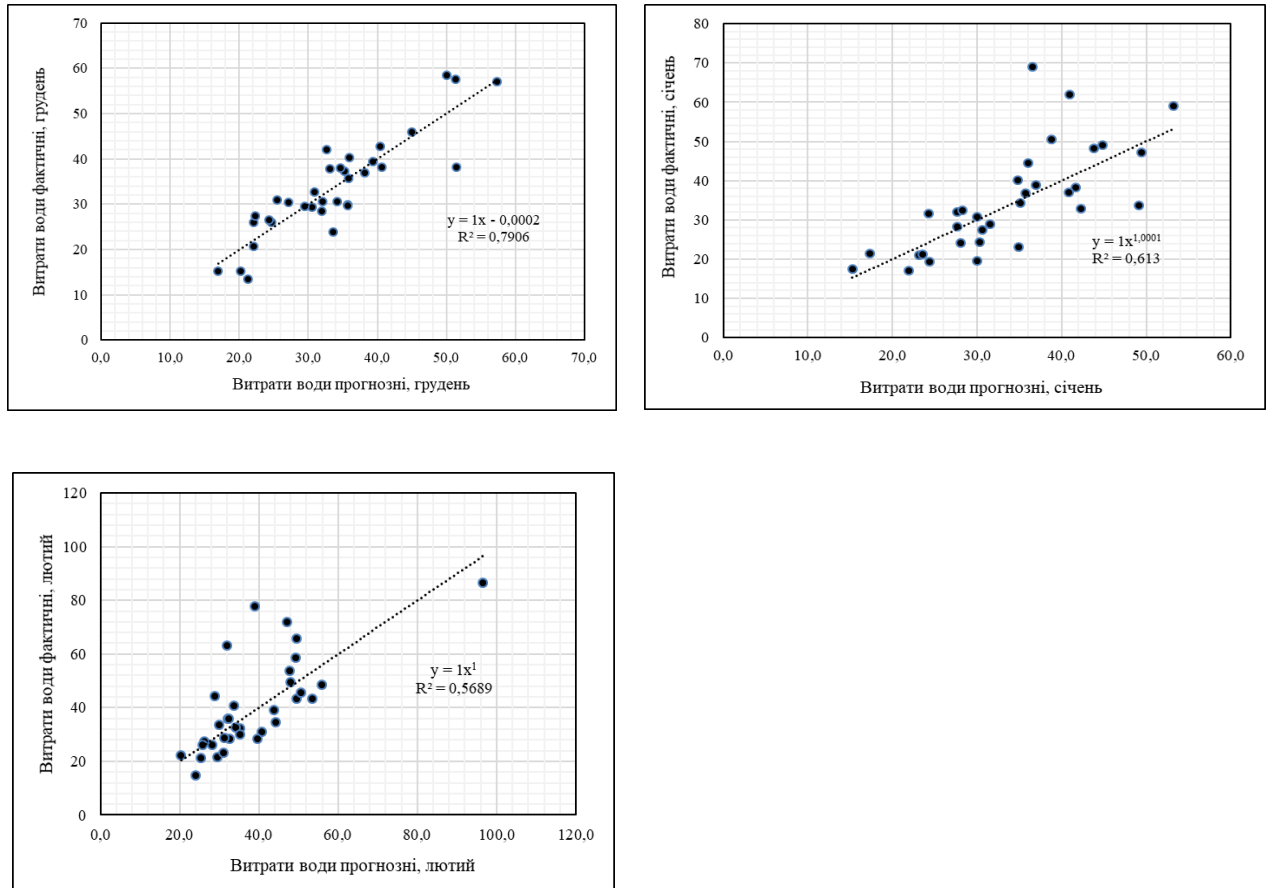


Рис. В.2. Порівняння фактичних та прогнозних середньомісячних витрат води для літньо - осінньої та зимової межени за період 1985 – 2018 рр., р. Псел – с. Запсілля. Предиктор: середньодобова витрата води наприкінці попереднього місяця

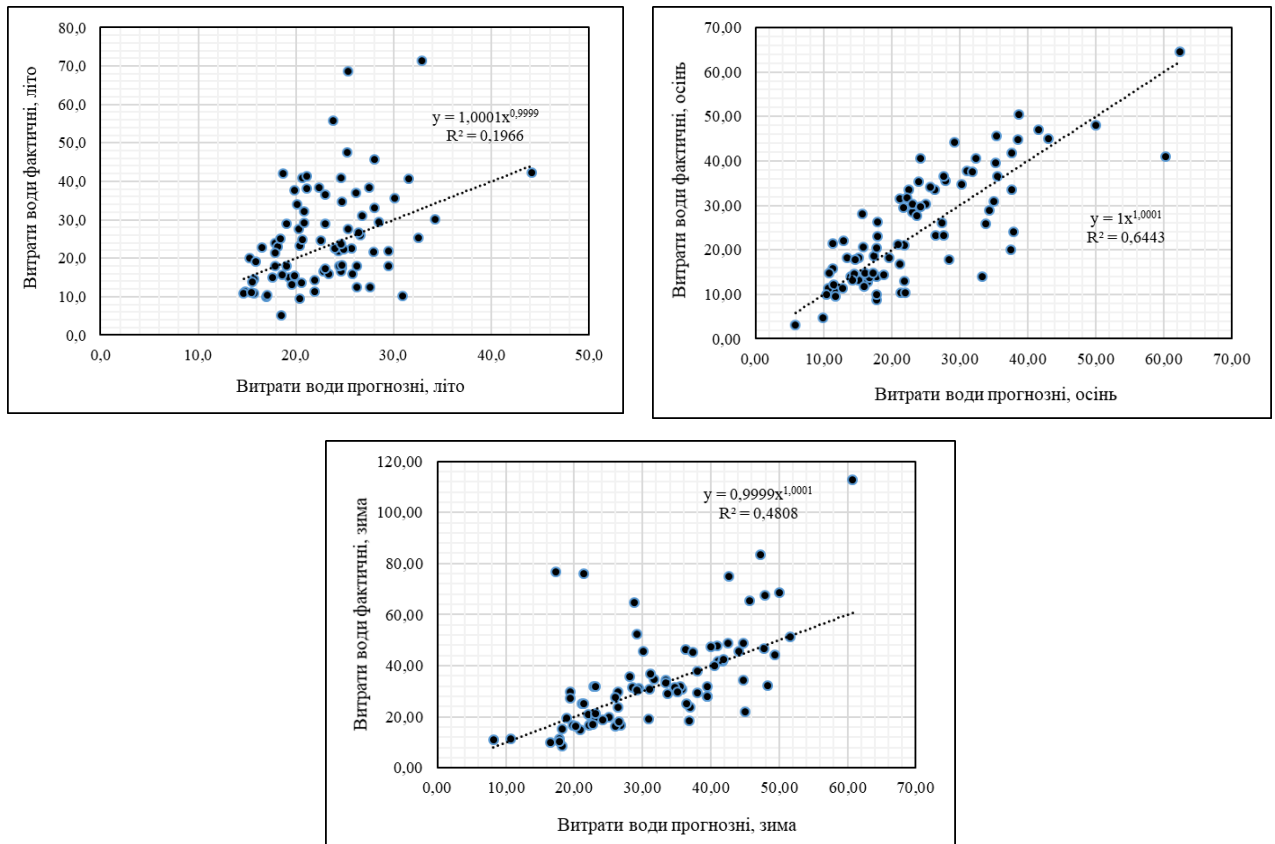


Рис. В.3. Порівняння фактичних та прогнозних витрат води для середньосезонної витрати води за період 1928 – 2019 рр., р. Псел – с. Запсілля. Предиктор: середній стік води попереднього сезону

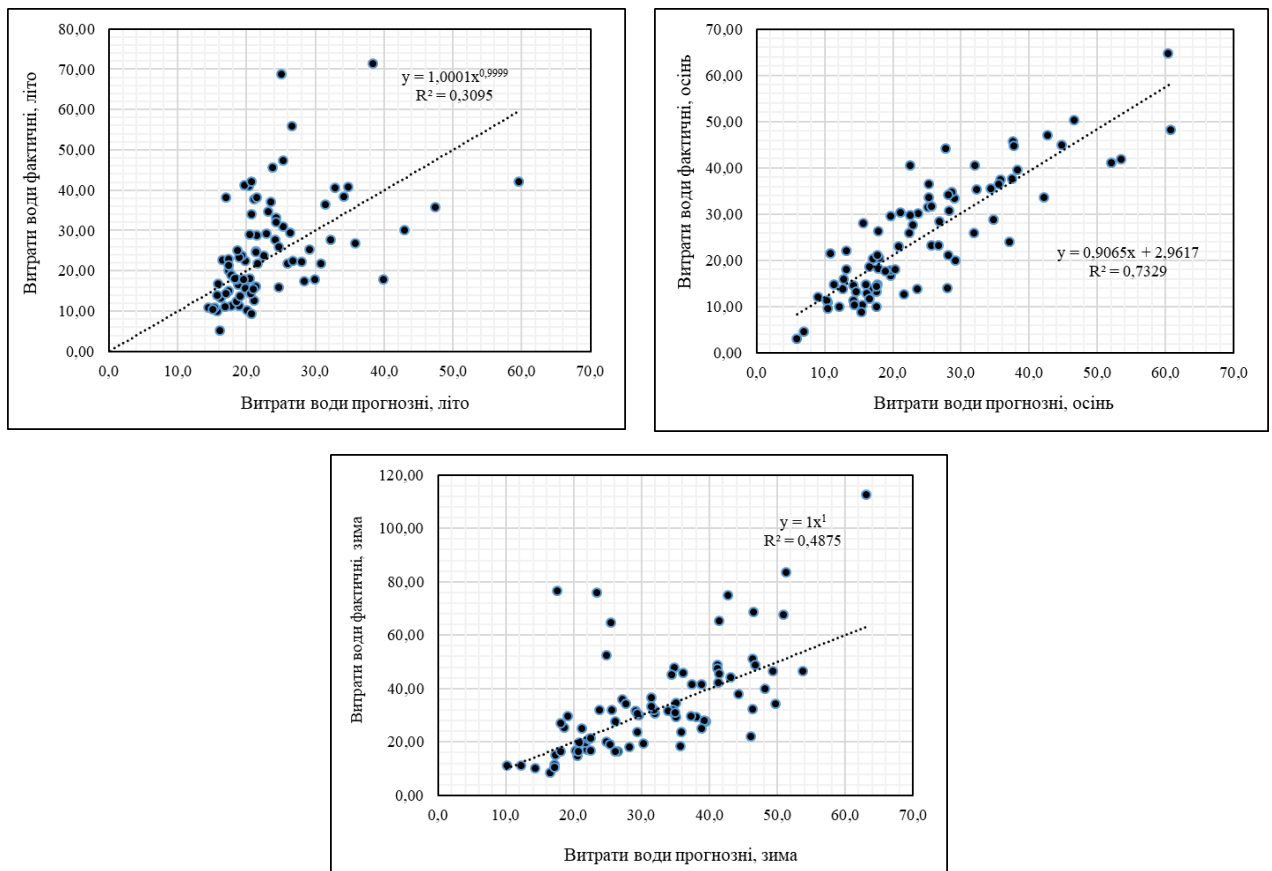


Рис. В.4. Порівняння фактичних та прогнозних витрат води для середньосезонної витрати води за період 1928 – 2019 рр., р. Псел – с. Запсілля. Предиктор: середній стік води попереднього місяця

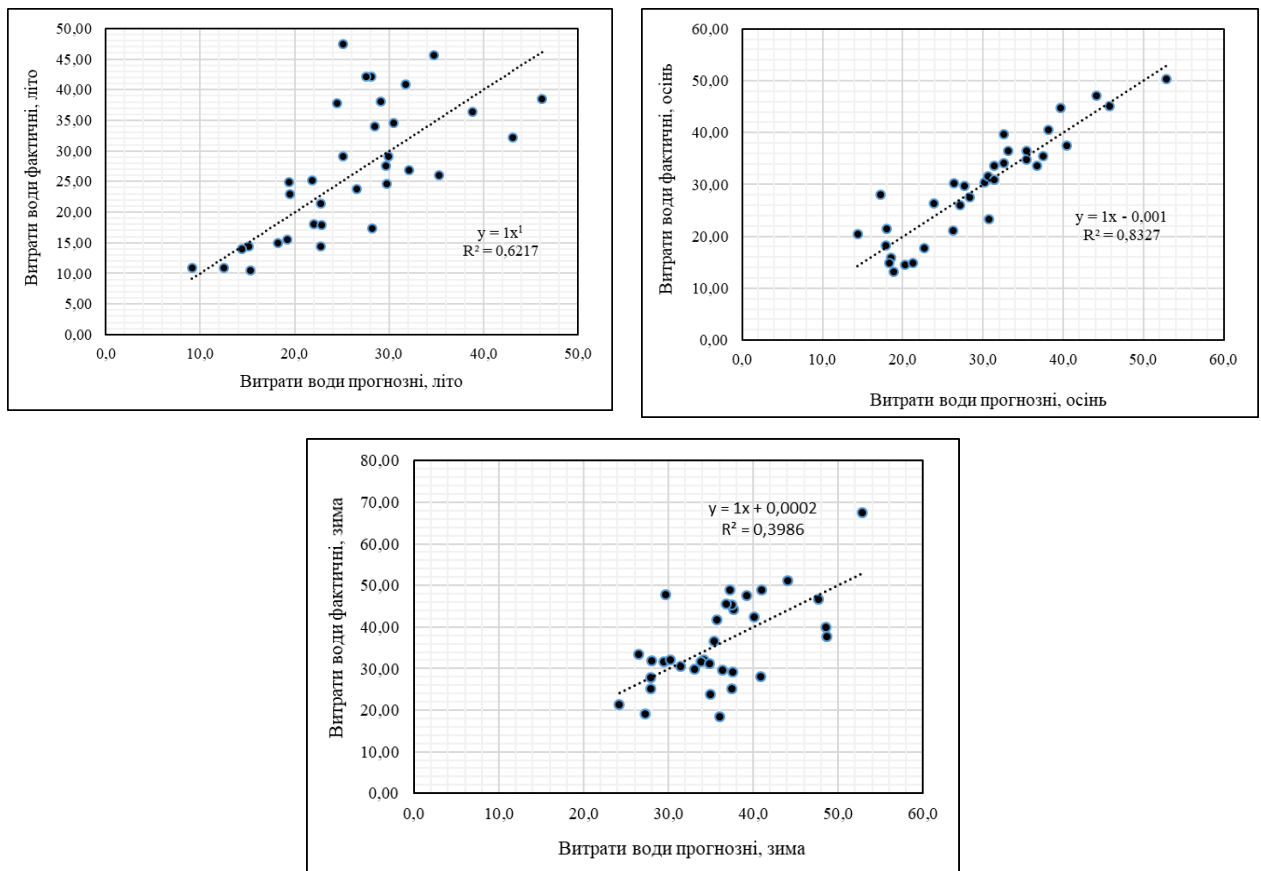


Рис. В.5. Порівняння фактичних та прогнозних витрат води для середньосезонної витрати води за період 1985 – 2018 рр., р. Псел – с. Запсілля. Предиктор: середньодобова витрата води наприкінці попереднього сезону