

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

**АНАЛІЗ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ВОДНИЙ БАЛАНС ТА
ЕКСТРЕМАЛЬНИЙ ВОДНИЙ СТІК В БАСЕЙНІ Р. ПСЕЛ**

Спеціальність 103 – Науки про Землю
Освітня програма «УПРАВЛІННЯ ТА ЕКОЛОГІЯ ВОДНИХ РЕСУРСІВ»

студент 2-го курсу магістратури
кафедри гідрології та гідроекології
Микитченко Сергій Миколайович

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

Київ – 2026

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ПСЕЛ, ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ РІЧКИ ТА ОСНОВНІ ФАЗИ ЇЇ ВОДНОГО РЕЖИМУ	6
1.1. Географічне положення, геологічна будова та рельєф	6
1.2. Кліматична характеристика.....	9
1.3. Ґрунтово-рослинний покрив	10
1.4. Водний режим річки	11
1.5. Господарське використання басейну та водних ресурсів р. Псел	13
Висновки до 1 розділу	15
РОЗДІЛ 2. МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ	17
2.1. Методичні підходи до водно-балансових досліджень річкових басейнів	17
2.2. Аналіз часових рядів з використанням методів математичної статистики.....	24
Висновки до 2 розділу.....	27
РОЗДІЛ 3. ВИХІДНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ	28
3.1 Вихідні дані для водно-балансових розрахунків та вивчення сучасних змін складових водного балансу в басейні р. Псел	28
3.2 Вихідні дані для дослідження зміни екстремумів річкового стоку р. Псел в умовах кліматичних змін	30
Висновки до 3 розділу	30
РОЗДІЛ 4. ВОДНИЙ БАЛАНС ТА ОЦІНКА СУЧАСНИХ ЗМІН ЙОГО СКЛАДОВИХ В БАСЕЙНІ Р. ПСЕЛ	32

4.1. Оцінка часової мінливості метеорологічних показників та водного стоку води	32
4.2. Водні баланси річкових басейнів р. Псел та аналіз зміни у співвідношеннях між надходженням та витрачанням води у сучасний період	38
Висновки до 4 розділу	44
РОЗДІЛ 5. ЕКСТРЕМУМИ СТОКУ ВОДИ Р. ПСЕЛ ТА АНАЛІЗ ЇХ ЗМІН В СУЧАСНИЙ ПЕРІОД	46
Висновки до 5 розділу	53
ВИСНОВКИ	55
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	58
ДОДАТКИ	62
ДОДАТОК А Багаторічні зміни метеорологічних показників в басейні р. Псел (період 1961-2019 рр.)	63
ДОДАТОК Б Середні місячні шари стоку води (мм) за періоди кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на гідрологічних постах р. Псел	67
ДОДАТОК В Розрахунки складових водного балансу для річкових басейнів р. Псел	68

ВСТУП

Актуальність теми. Зміна клімату є однією з найважливіших екологічних проблем сучасності та є важливим чинником, що впливає на гідрологічні процеси і водні ресурси на глобальному, регіональному та локальному рівнях. Україна відчуває цей вплив. Останні десятиліття супроводжуються безпрецедентними температурними рекордами. Згідно з даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC), зростання глобальної температури, зміни у середньомісячній, сезонній, річній кількості опадів, стану їх випадіння (в рідкому чи твердому) та інтенсивності, а також екстремальні погодні явища, такі як посухи, паводки та зливи, серйозно впливають на кількість і якість прісної води. Ці зміни несуть загрозу як для природних екосистем, так і для людських соціумів Землі, які залежать від водних ресурсів для забезпечення водопостачання, сільського господарства, енергетики та промисловості.

Об'єкт дослідження – річка Псел та її басейн.

Предмет дослідження – багаторічна мінливість метеорологічних показників та річкового стоку води, водні баланси річкових басейнів, екстремальний стік води.

Метою дослідження є вивчення та аналіз впливу кліматичних змін на водний баланс та екстремальний водний стік в басейні р. Псел в сучасний період.

Відповідно мети були **поставлені наступні завдання**:

- охарактеризувати фізико-географічні умови басейну р. Псел, особливості формування стоку води річки та основні фази її водного режиму;
- представити методичні основи дослідження: методичні підходи до водно-балансових досліджень річкових басейнів та методи математичної статистики;

- створити банк вихідних даних для водно-балансових розрахунків та дослідження зміни екстремумів річкового стоку р. Псел за багаторічний період;
- оцінити багаторічну мінливість метеорологічних показників та водного стоку води, розрахувати водні баланси річкових басейнів р. Псел та проаналізувати зміни його складових під впливом кліматичних змін;
- дослідити екстремуми стоку води р. Псел за багаторічний період та проаналізувати їх зміни в сучасний період.

Вихідними даними для виконання мети та завдань кваліфікаційної магістерської роботи слугували дані метеорологічних (з 8 метеостанцій) та гідрометричних (з 3 гідрологічних постів) спостережень за період з 1961 по 2019 рр. за такими показниками: середні місячні суми атмосферних опадів; середня місячна температура та вологість повітря, середній місячний стік води, максимальні та мінімальні річні витрати води.

Методи дослідження. У роботі використано методи водно-балансових розрахунків, математичної статистики, узагальнення, аналізу та порівняння отриманих результатів.

Усі розрахунки, графічні побудови та оформлення кваліфікаційної магістерської роботи було зроблено за допомогою ПК з використанням таких програм: StokStat, Microsoft Word, Microsoft Excel.

Структура роботи. Робота складається зі вступу, п'ятих розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків.

РОЗДІЛ 1

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ПСЕЛ, ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ СТОКУ РІЧКИ ТА ОСНОВНІ ФАЗИ ЇЇ ВОДНОГО РЕЖИМУ

1.1. Географічне положення, геологічна будова та рельєф басейну р. Псел

Географічне положення басейну р. Псел, походження назви річки. Річка Псел є транскордонною річкою, оскільки протікає через території російської федерації (Білгородська і Курська області) та України. Річка починається на Середньоросійської височини на її західних схилах (біля с. Пригорки, Білгородська область). Напрямок протікання річки - з північного сходу на південний захід, який зберігається й на території України (в межах Сумської та Полтавської областях) (рис. 1.1) [2].

Річка Псел – це ліва притока річки Дніпро (відноситься до басейну Чорного моря) і друга за довжиною після р. Десна. Загальна довжина - 717 км, площа басейну - 22 800 км². В межах України знаходиться 520 км річки, площа водозбору 16270 км² [4, 6, 20]. Найбільшими правими притоками Псла є річки Хорол та Грунь, лівими – річки Говтва, Сироватка та Грунь-Ташань.

Річка Псел (іноді вживають назву Псло, а давня українська назва «Псль»), уперше згадана в «Повісті минулих літ» (1113 р.), автор Нестор-літописець [9, 27]. Існує кілька версій походження цього гідроніма. Дослідник О. Яценко пов'язує його з давньогрецьким «псел-лос» — «темний», що зумовлено майже чорним кольором води. Іншої думки дотримується М. Янко, який вважає більш вірогідними слов'янські корені цього гідроніма (від «псь», «пес», «пстрі»), що означають «луки» або «вологе місце». Поширена також гіпотеза про походження назви річки Псел від кабардино-черкеського «пси»

(«вода»). У такому разі гідронім вказує на глибоку давнину (із часів першого тисячоліття до н. е.). В той час у північному Причорномор'ї та на північно-західному Кавказі мешкали споріднені етногрупи (греки, скіфи та ін.) [9, 20, 27].

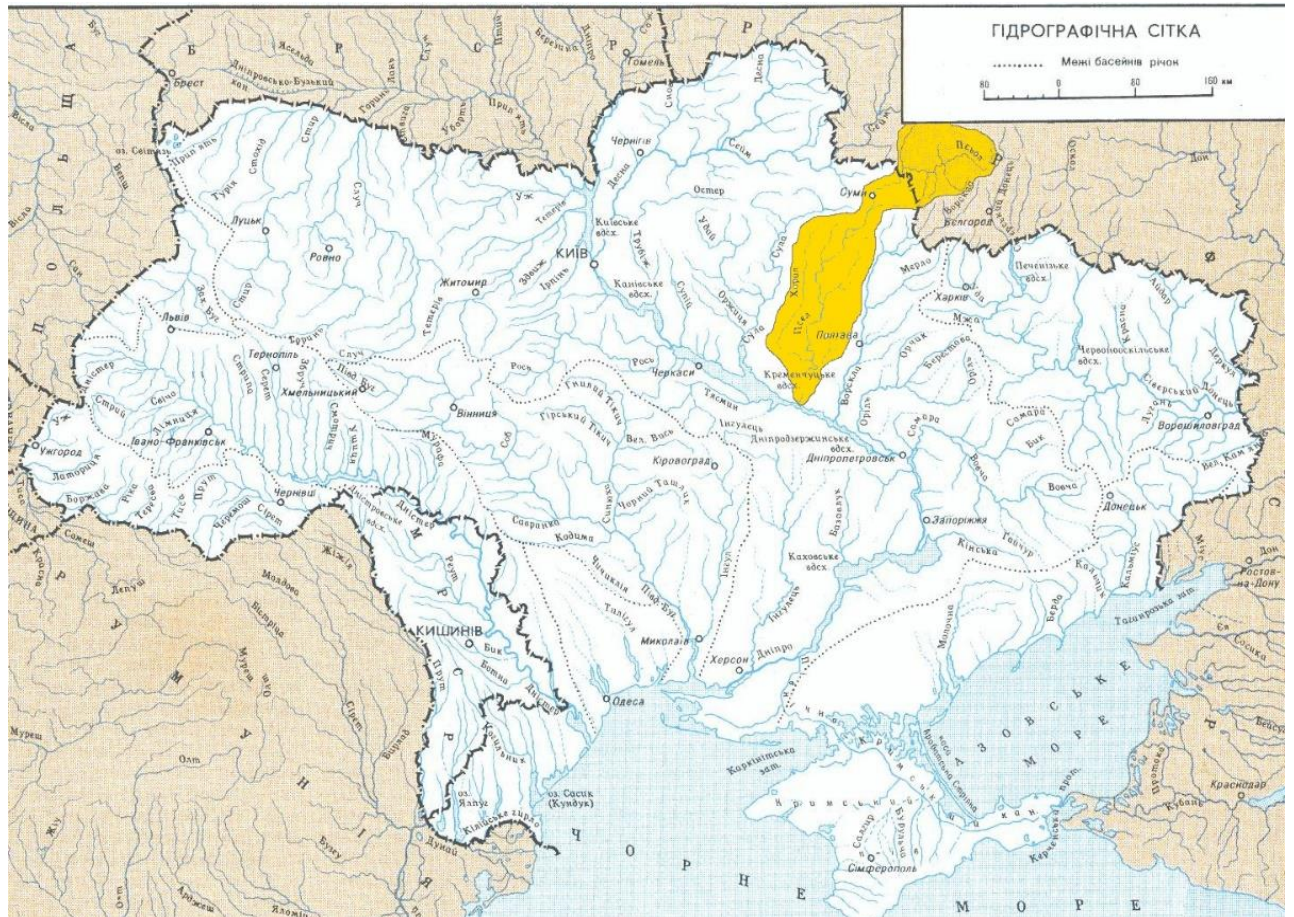


Рис. 1.1. Басейн річки Псел на гідрографічній карті України [2]

Басейн р. Псел охоплює три тектонічні структури, що безпосередньо визначають його *геологічну будову та рельєф* [21].

Витік річки та його прикордонна ділянка лежать у межах Середньоруської височини (південно-західний схил Воронезького кристалічного масиву). Рельєф тут представлений хвилястим плато (з висотами 200–250 м над рівнем моря) із асиметричною долиною завширшки десь від 5 до 7 км. Правий берег р. Псел в цієї частині басейну високий і стрімкий, значно порізаний мережею ярів, а лівий - низький, пологий із 3–4 терасами. Високий ступінь

ерозійного розчленування басейну у межах Середньо-руської височини зумовлений заляганням легкорозчинних порід - крейди, мергелю та вапняку.

Середня течія річки Псел, що охоплює й більшу частину її басейну розташовані в межах Дніпровсько-Донецької западини, що у рельєфі відповідають Полтавська рівнина, а також Придніпровська низовина (переважно її північна та центральна частини). Найпоширенішими формами рельєфу тут є ерозійно-аккумулятивні, зустрічаються також його льодовикові форми. Загалом територія Середньоруської височини та й всього басейну Псла має нахил у південно-західному напрямку, плавно опускаючись від ≈ 225 м до ≈ 100 м над рівнем моря.

Береги у середньої течії річки асиметричні. Як й у верхньої частині басейну, тут праві береги - більш високі та круті, порізані ярами й балками (особливо, в північній та північно-східній частинах), тоді як ліві – більш низки. Така особливість зумовлена тим, що правий берег річки частіше складений легшими для розмиву та руйнування породами (наприклад, пісками тощо), а лівий - стійкішими гірськими породами.

Нижня частина басейну та гирло р. Псел – це в основному зона впадіння річки у Кам'янське водосховище на р. Дніпро. Тут в геологічному відношенні виявляються північно-східні відроги Українського кристалічного щита і цей кристалічний фундамент залягає тут найближче до поверхні землі. Ця територія геоморфологічно відповідає Придніпровській низовини (її південній частині), рельєф якої можна описати - загальним значним зниженням із найнижчою відміткою ≈ 64 м над рівнем моря.

Ширина долини р. Псел у нижньої частині басейну найбільша у порівнянні з вищезазначеними і може досягати до ≈ 15 км. На схилах плоских терас доволі часто зустрічаються яри та балки [11, 21, 28]. На плоских поверхнях також широко розповсюджені суфозійні западини з дуже похилими схилами, так звані «степові блюдця». Діаметр таких западин може бути від 10-20 до 60-70 м з глибиною від метра до півтора [11, 21].

1.2. Кліматична характеристика

Досліджуваний басейн р. Псел розташований (за природною зональністю) в лісостеповій зоні, що зумовлює помірно-континентальний тип клімату [11, 14, 16].

Характерною рисою клімату території басейну є підвищення його континентальності з південного заходу на північний схід.

Тому кліматичні умови *верхньої частини басейну* р. Псел вирізняється підвищеною континентальністю, що проявляється в контрастності температур повітря. Так, зима тут відносно холодна (середня багаторічна температура повітря січня десь в межах $-7...-8$ °С з абсолютним мінімумом до ≈ -36 °С), а літо доволі тепле (середня багаторічна температура липня в межах $+19...+20$ °С з абсолютним максимумом, що може досягати до $+36..+38$ °С). Тобто, амплітуда температурних коливань може досягати $72..74$ °С. Через підвищений рельєф у верхній частини басейну р. Псел опадів випадає більше, ніж на решті території лісостепу. Так, тут фіксується річна сума опадів $\approx 550-580$ мм (з максимумом у теплий період).

Далі за течією, у середній та нижній частині басейну Псла континентальність клімату проявляється менше. Тут середня багаторічна температура повітря січня становить $-5...-7$ °С, липня десь $+20...+21$ °С. Абсолютний мінімум температури узимку сягає позначки -36 °С, літній максимум до $+38$ °С. Загальна річна сума атмосферних опадів у цих частинах басейну зменшується з північного сходу на південний захід — від 530-550 до 430-450 мм. Внутрішньорічний розподіл опадів за сезонами наступний. Найбільше випадає влітку - до 36- 38 % рід річної суми. Серед літніх місяців найвологішими є червень та липень, найсухішим — серпень. 16-18% річної норми припадає на зимовий сезон. Приблизно по $\approx 20-22$ % випадає навесні та восени. Серед осінніх найменше опадів припадає на вересень.

Варто зазначити, що через глобальні зміни клімату вплив «осі Воєйкова» майже зник, внаслідок чого середня річна температура повітря зросла на 1.0–1.5 °C [11, 14-16, 28].

1.3. Ґрунтово-рослинний покрив

Ґрунтовий покрив басейну р. Псел, як й інші фізико-географічні показники, демонструє зональність із північного сходу на південний захід:

- *у верхній частині басейну річки* переважають темно-сірі та сірі лісові ґрунти;
- *в середній частині досліджуваного басейну* панують типові малогумусні чорноземи (включаючи солонцюваті та вилугувані їх різновиди), на підвищеннях - сірі та темно-сірі ґрунти;
- *У нижній течії басейну р. Псел* поширені лучні, лучно-солончакові, потужні малогумусні та солонцюваті чорноземи, а також лучно-чорноземні солонцюваті ґрунти; у суфозійних западинах (у «степових блюдцях») - осолоділі чорноземи.

Окремо треба виділити заплавні території басейну р. Псел, для яких характерні супіщані, дерново-підзолисті піщані ґрунти, а також, що природньо, болотні, лучно-болотні та солонцюваті комплекси [11, 20].

Рослинний покрив в басейні р. Псел представлений ліською, чагарниковою та трав'янистою рослинністю. Тут можна зустріти такі види рослинності, як лозняки, вербові, осокові, а також дубові, в'язові та вільхові ліси [11, 20].. Ліси та чагарники зосереджені переважно в заплавах, а також вони займають території колишнього русла річки, тобто зосереджені в старицях, сагах (унікальних природних неглибоких, часто видовжених рельєфних зниженнях (западинах)) та біля озер.

Треба зазначити *про заплавні ліси*, які в басейні мають особливі умови росту. Ці умови полягають в тому, що під час водопілля річкові води зрошують і тим самим збагачують долину річки, приносячи алювій та органічні

речовини. Крім того, вони відіграють бар'єрну, умовно захисну функцію у формуванні долини. Саме ці ліси першими приймають натиск водопільних чи більш високих повеневих вод, зменшують їхню швидкість і сприяють осадженню алювію [11, 20].

Загалом, на високому правому березі залісеність значно більша, ніж на лівому заплавному, де переважають в основному луки. На території у *верхній та середній* течії басейну лісова та чагарникова рослинність охоплює близько 30-35% території, тоді як у нижній частині цей показник дещо менший.

1.4. Водний режим річки

Водний режим річок формується під впливом комплексу фізико-географічних факторів. Найважливішими з них, як уже зазначалося, є кліматичні умови (циркуляція атмосфери, кількість та інтенсивність опадів, температура та вологість повітря, випаровування) та особливості підстильної поверхні (рельєф, геологічна будова, гідрогеологічні умови, властивості ґрунтів, рослинний покрив, наявність озер і боліт). Це проаналізовано вище.

Басейн р. Псел є частиною басейну Дніпра. Загалом, річкова мережа, де протікає значна частина р. Псел, включає одну велику річку (р. Дніпро), 8 середніх річок (серед них і Псел) та 1771 малу річку [4, 7, 28].

Псел – це типова рівнинна річка. Про це свідчать гідрографічні характеристики річки та її басейну. Так, похил р. Псел в межах України становить 0,2-0,25 м/км, коефіцієнт звивистості річки дорівнює ≈ 2 . Коефіцієнт густоти річкової мережі в басейні р. Псел складає 0,10 км/км² (тобто на кожний 1 км² приходить в середньому 100 м річок). Щодо морфометричних характеристик, то загалом басейн р. Псел майже симетричний (коефіцієнт асиметричності дорівнює 0,15). Середня висота басейну складає 160 м над рівнем моря. Озерність та заболоченість досліджуваної території незначна і, відповідно, дорівнюють 0, 15-0,2 % та 2-3 % від загальної площі басейну р. Псел. Коефіцієнт лісистості більший, складає $\approx 8-10$ % [6].

Живлення річок, як відомо, зумовлене насамперед кліматичними умовами басейну. У живленні р. Псел переважають снігові води, які потрапляють в річку навесні під час водопілля і їхня частка становить в середньому за багаторічними дослідженнями понад 50%, хоча в окремі роки досягає й 70-80%.

Це добре видно з рис. 1.2, на якому показано розподіл стоку води по місяцям за багаторічними даними спостережень за витратами води на р. Псел біля с. Запсілля (площа басейну біля цього поста 21800 км²). Зрідка відлиги взимку викликають тало-дощові паводки.

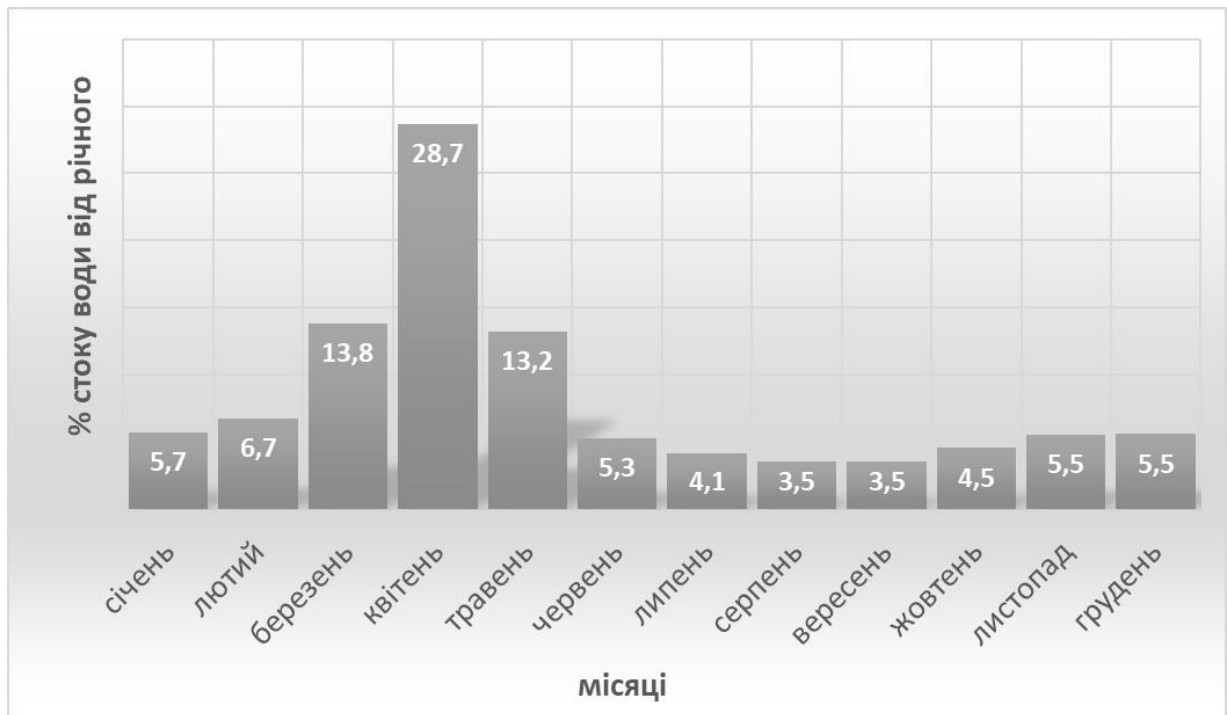


Рис. 1.2. Розподіл стоку води по місяцям за багаторічними даними спостережень за витратами води на р. Псел - с. Запсілля (площа басейну 21800 км²)

Якщо говорити про *дощове живлення* р. Псел, то його частка є найменшою і становить 10–15 %. Під час літніх та осінніх злив чи обвальних дощів спостерігаються паводки дощового походження, але переважно на малих притоках річки.

Вагомим джерелом живлення р. Псел є *підземні води* ($\approx 30\text{--}35\%$), роль яких зростає влітку та взимку, коли поверхневий стік мінімальний або

відсутній. Підземний тип живлення найбільше виражений у верхів'ї річки. Це зумовлено наявністю глибоким врізом річкової долини та розвитком карстових форм рельєфу. Нижче за течією, частка підземного живлення поступово зменшується [20].

Згідно з класифікацією щодо визначення типу живлення то, якщо один із видів живлення забезпечує понад 80 % річного стоку води річки, його вважають винятковим, від 50 до 80 % — переважним. Якщо ж жодне джерело не дає більше 50 %, такий тип живлення називають мішаним [18]. Отже, річці Псел притаманний мішаний тип живлення з переважанням снігового.

На основі вищевикладеного можна констатувати, що основними фазами водного режиму р. Псел є водопілля, а також літня та зимова межень. Літньо-осінні дощові паводки виділяються лише в окремі роки і малих притоках річки, тому ця фаза не є характерною для річки [4, 6, 7, 22].

1.5. Господарське використання басейну та водних ресурсів р. Псел

Через господарську та водогосподарську діяльність басейн річки Псел зазнає тією чи іншою мірою техногенного впливу, що є типовим для більшості річкових басейнів України [12].

Антропогенний вплив в басейні р. Псел зумовлюють промислові об'єкти, розвинена транспортна мережа, інтенсивне сільське господарство, а також критичний стан та зношеність комунальної інфраструктури у містах (застарілі системи водопостачання та водовідведення) і відсутність каналізаційних мереж у малих населених пунктах.

Екологічна ситуація ускладнюється інтенсивним видобутком вуглеводнів (нафти, газу, конденсату), залізної руди (Кременчуцька магнітна аномалія), бішофіту та мінеральних вод. Буріння свердловин і розробка родовищ у заплаві річки Псел спричиняють зниження рівня ґрунтових вод та скорочення розливів під час весняних водопіль.

Вирубка лісів та знищення рослинного покриву та луків через перевипас у басейні Псла негативно впливають на водний режим річки. Рослинність заплави затримує воду під час весняного водопілля, сприяючи інфільтрації та живленню підземних вод, які підтримують річку в межень. Тому зменшення площ лісів та лук призводить до послаблення підземного живлення і зниження мінімального стоку річки у межені фази [20, 27].

Водний режим р. Псел формується під впливом не лише об'єктів промисловості, видобутку та сільського господарства, а й водосховищ, споруджених у басейні для їх комплексного використання.

Станом на січень 2020 р. у басейні р. Псел у межах України налічувалося 36 водосховищ, які побудовано як самій річці (на р. Псел створено 10 невеликих водосховищ), так й на її притоках [27]. Так, для забезпечення роботи невеликих ГЕС було створено низку водосховищ, зокрема: Низівське, Маловорожб'янське, Михайлівське, Бобрівське, Великосорочинське, Шишацьке, Остап'євське та Сухорабівське. Ці водосховища, зазвичай, вміщують невеликий об'єм води. Але деякі з них варто відзначити:

Шишацьке водосховище: повний об'єм 2,56 млн м³;

Низівське водосховище: повний об'єм 2,5 млн м³;

Михайлівське водосховище: Повний об'єм 0,88 млн м³.

Окрім зазначених, на притоках р. Псел розташовано багато менших водойм. Вони виконують різні функції - забезпечують водою населені пункти, підтримують рибне господарство та слугують зонами відпочинку [27].

Водночас негативним наслідком функціонування водосховищ є зміна водного стоку річок басейну Псла та його режиму [27].

Висновки до 1 розділу

Річка Псел – це ліва притока р. Дніпро, є транскордонною річкою, протікає через території російської федерації та України. Понад 70% як довжини, так й площі басейну р. Псел знаходиться в межах України –

відповідно 520 км з загальної довжини 717 км та 16270 км² з загальної площі 22800 км².

Басейн річки Псел розташований у межах трьох тектонічних структур, що зумовлюють особливості його геологічної будови та характеру рельєфу. Витік річки знаходиться у межах Воронежського кристалічного масиву, що в рельєфі відповідає Середньоруської височині з висотами 200-250 м над р. м. Середня частина басейну – у межах Дніпровсько-Донецької западини (Полтавська рівнина й Придніпровська низовина), висоти від 225 м до 100 м. Нижня частина басейну розташована на північно-східних відрогах Українського кристалічного щита (південна частина Придніпровської низовини), найнижча відмітка тут – 64 м.

Басейн р. Псел розташований у межах лісостепової зони, що зумовлює помірно-континентальний клімат цього регіону.

За гідрографічними характеристиками р. Псел – це типова рівнинна річка. Похил річки 0,2-0,25 м/км, коефіцієнт її звивистості ≈ 2 , густота річкової мережі 0,10 км/км². Басейн майже симетричний, середня його висота 160 м над рівнем моря. Озерність та заболоченість басейну незначна, відповідно, 0,15-0,2 % та 2-3 %. Залісеність більша, складає $\approx 8-10\%$

Живлення річки Псел мішане, з переважанням снігового (понад 50%, у багатоводні роки — до 70-80%), тобто основна маса води надходить навесні під час танення снігу та формування водопілля. Підземні води забезпечують 30–35% стоку, дощові — лише 10–15%. Водний режим характеризується чітко вираженим весняним водопіллям та тривалою літньо-осінньою і зимовою меженню. Дощові паводки трапляються рідко.

Антропогенне навантаження на басейн р. Псел зумовлене діяльністю промислових підприємств, видобутком корисних копалин, розвиненою транспортною мережею та сільськогосподарським комплексом. Значним фактором впливу є застарілі системи водопостачання й водовідведення у великих містах, а також відсутність каналізації у малих населених пунктах. Екологічний стан річки погіршують вирубка лісів та знищення рослинного

покриву через випасання худоби. Крім того, на гідрологічний режим Псла впливають водосховища, що використовуються для різноманітних потреб.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДИЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для виконання мети та основних завдань кваліфікаційної магістерської роботи у дослідженні використано методи водного балансу та математичної статистики. В цілому, слід зазначити, що в гідрологічних дослідженнях зазначені методи знайшли широке використання при вирішенні багатьох завдань, а іноді вони виступають як єдиний шлях кількісної оцінки різноманітний сторін гідрологічних подій та явищ [3, 10].

2.1 Методичні підходи до водно-балансових досліджень річкових басейнів

Основним об'єктом водно-балансових досліджень є річкові басейни, які надають інформацію для складання водних балансів інших природних об'єктів – водного балансу озер, боліт та заболочених земель, залісених територій, руслового водного балансу, а також водних балансів будь-яких адміністративних територій [10, 24].

У найширшому розумінні поняття «водний баланс» означає сукупний розгляд та зіставлення характеристик надходження, витрати та зміни запасів вологи за певний інтервал часу в межах обмеженої конкретної території [23, 25].

Водний баланс у гідрологічних дослідженнях розглядають у таких аспектах:

- I. *Як метод наукового дослідження, що дозволяє глибоко вивчити закономірності процесів формування річкового стоку та гідрологічного режиму;*

- II. *Як систему взаємопов'язаних процесів, що описує перенесення вологи, що перебуває у стані динамічної (рухомої) рівноваги;*
- III. *Як підсумковий результат комплексного вивчення (водно-балансове рівняння), що представляє кількісну характеристику складових водного режиму конкретного об'єкта або території, що відображає їхні взаємозв'язки за певний час.*

В магістерській роботі водний баланс розглядався, як кількісна оцінка його окремих елементів (компонентів) в їх взаємозв'язках (аспект III).

Водний баланс території річкового басейну відображає процеси кругообігу води в його межах і складається з таких елементів:

- *Прибуткові елементи водного балансу* – атмосферні опади та інші види надходження вологи з атмосфери, а також притік поверхневих чи підземних вод у межах водозбору.
- *Видаткові елементи водного балансу* – усі види випаровування (фізичне й транспірація), а також відтік води за межі басейну річищем або підземним шляхом.
- *Результуючий елемент водного балансу* – зміна запасів вологи в річковому басейні, що проявляється в різниці між приходом і витратами, що відображає динаміку вологості басейну за обраний період часу [22-25].

Поряд із терміном «водний баланс» останнім часом у сучасній гідрології набув поширення термін «гідрологічний цикл», під яким розуміють поширення та переміщення всіх видів вод разом із розчиненими і нерозчинними домішками над поверхнею землі, по поверхні і під нею. Стосовно цього означення, поняття водний баланс слід розглядати як один з методів вивчення гідрологічного циклу.

Окрім терміна «водний баланс», у сучасній гідрології активно використовують поняття «гідрологічний цикл», що описує переміщення всіх видів вод, включно із розчиненими і нерозчинними домішками, в атмосфері, на поверхні та в надрах Землі. У цьому контексті поняття «водний баланс» слід

розглядати як один із методів вивчення гідрологічного циклу. Відповідно, водний баланс виступає методом кількісного вивчення цього циклу.

Водно-балансові дослідження є основою для розв'язання низки задач: встановлення закономірностей формування поверхневого та підземного стоку, кількісна оцінка водних ресурсів, а також обґрунтування заходів з управління водним режимом для потреб господарства.

За допомогою водно-балансових досліджень оцінюють антропогенне навантаження на річкові системи. Зокрема, складають баланси меліорованих земель, урбанізованих територій та басейнів, де здійснюється водозабір на господарські потреби, скиданням використаної води або міжбасейновим перекиданням стоку з інших систем. Такий підхід допомагає аналізувати зміни у водному режимі під впливом людської діяльності та прогнозувати ефект та наслідки від запланованих водогосподарських робіт та гідротехнічних заходів [10, 23, 25].

Водно-балансові дослідження є також основою для оцінки *впливу кліматичних змін на режим стоку води річок*, оскільки водний баланс залежить, як вже зазначалося, від кліматичних факторів (температура та вологість повітря, атмосферний опади та ін.) і характеру підсилюючої поверхні (геологічна будова та рельєф, наявність лісів, озер, боліт та ін.) [1, 12, 22].

Для річкового басейну *детальне* рівняння водного балансу має наступний вигляд :

$$\begin{aligned} P + K_e - (Q_{s0} + Q_{u0}) - Q_\alpha + Q_\beta - E = \\ = \Delta M + \Delta G + \Delta S_s + \Delta S_p + \Delta S_{oz} + \Delta S_\delta + \eta_\delta, \end{aligned} \quad (2.1)$$

де P – атмосферні опади; K_e – конденсація водяного пари на поверхні басейну; $Q_{s0} + Q_{u0}$ – поверхневий та ґрунтовий стоки; Q_α – водозабір з річки на господарські потреби; Q_β – води, які повертаються, та води із сусідніх басейнів; E – сумарне випаровування; ΔM – зміни запасів вологи у верхньому метровому шарі ґрунту; ΔG – зміни запасів вологи у водоносних горизонтах, які

дренуються річкою; ΔS_s – зміни запасів води в сніговому покриві і льодовій кірці; ΔS_p – зміни запасів води в русловій мережі басейну; ΔS_{oz} – в озерах і водосховищах басейну; ΔS_b – зміни запасів води в болотах і заболочених землях; η_b – нев'язка розрахунку водного балансу (включає невраховані складові, помилки визначення всіх його елементів та усереднень по басейну).

Рівняння (2.1) можна використовувати для будь-якого річкового басейну. До того ж воно може бути узагальнене або більш деталізоване залежно від наявності вихідних даних, мети розрахунку, розміру водозбору, тривалості розрахункового періоду і ін. факторів. Також, використовуючи рівняння (2.1), водний баланс можна обчислювати за будь-який період часу – від багаторічного періоду до окремих періодів, таких як місяці, декади, або фази водного режиму річки – водопілля, паводки, меженні періоди.

Найпростішою задачею є складання водного балансу за багаторічний період, оскільки це не потребує врахування змін запасів води в межах водозбору ΔS (де $\Delta S = \Delta M + \Delta G + \Delta S_s + \Delta S_p + \Delta S_{oz} + \Delta S_b$), виміри і оцінка яких представляють собою найбільшу складність. Неврахування зміни запасів води в межах водозбору ΔS за багаторічний період відбувається тому, що прибуткові ($+\Delta S$) і видаткові ($-\Delta S$) зміни запасів води в межах басейнів за окремі роки багаторічного періоду взаємно компенсуються і їх результуюча величина $\pm \Delta S$ близька до нуля. Враховуючи це, рівняння водного балансу для річкового водозбору за багаторічний період можна записати у вигляді:

$$P = R + E, \quad (2.2)$$

де всі позначки в рівнянні (2.2) ті ж самі, що у рівнянні (2.1).

Коли розраховується водний баланс на менші інтервали часу – за окремий рік, сезон, окремі місяці, декади тощо, потрібно завжди враховувати зміни вологозапасів в межах водозборів $\pm \Delta S$. З урахуванням цього рівняння водного балансу за багаторічний період записується наступним чином [23, 25]:

$$P = R + E \pm \Delta S. \quad (2.3)$$

Основною умовою водно-балансових розрахунків є те, що всі елементи рівняння водного балансу повинні бути виміряні або розраховані незалежними методами. Однак, оскільки виміри та розрахунки окремих елементів водного балансу проводяться з деякими випадковими похибками, які обумовлені самими вимірюваннями спостережником показників, запису та передачі результатів спостережень, з-за неточності вимірів приладами, недосконалістю методів вимірювання та розрахунку, рівняння водного балансу не замикається, тобто алгебраїчна сума його складових не дорівнює нулю. Таким чином, при визначенні водно-балансових співвідношень в межах річкових басейнів завжди є *нев'язка розрахунку* водного балансу η_b (див. формулу (2.1)). При цьому є логічним, чим менше невіязка, яка визначається як остаточно член рівняння водного балансу, тим точніше складений водний баланс.

Також важливим при розрахунках є те, що всі складові водного балансу – атмосферні опади P , стік води річки R , сумарне випаровування E , відображаються, в більшості випадків, через середній шар води в міліметрах (мм). Однак, в деяких випадках, наприклад, при оцінюванні водних ресурсів вони можуть бути виражені в об'ємах води в кубічних метрах чи кілометрах (м^3 , км^3), а в водогосподарських розрахунках - всі елементи водного балансу виражаються у витратах ($\text{м}^3/\text{с}$). [10, 23, 25].

Методи розрахунку складових водного балансу.

Атмосферні опади. Кількість атмосферних опадів, що випадають на поверхню річкового басейну, є основним елементом надходження в рівнянні водного балансу. Для визначення середнього шару опадів (за будь-який інтервал часу), використовуються всі дані спостережень на окремих метеостанціях за опадами в районі дослідження, що розташовані в межах басейну річки та біля нього. Середню кількість опадів для території річкового басейну може бути визначено наступними методами: середніх арифметичних, квадратів, ізогіет, зважування за площами (або метод трикутників).

Сумарне випаровування. Випаровування і протилежний йому процес конденсація являють собою вологообмін між земною поверхнею і атмосферою. На відміну від атмосферних опадів і стоку, випаровування – процес невидимий і безперервний, що відбувається з різною інтенсивністю. Він має чітко виражений добовий і річний хід і залежить від багатьох природних факторів. Під поняттям «випаровування» розуміють надходження водяної пари в атмосферу внаслідок відриву молекул води з поверхні водойм, льоду, снігу, вологого ґрунту, з поверхні листя рослин, дерев тощо. У водно-балансових дослідженнях інтерес представляють не окремі молекули, а сумарне випаровування, яке відбувається з різних природних поверхонь. Як складовими сумарного випаровування виступають:

- фізичне випаровування (тобто, випаровування з водної поверхні водойм, зі снігу та льоду;
- випаровування з поверхні ґрунту, з зони аерації та насичення у шарі ґрунтового покриву ;
- фізико-біологічне випаровування (тобто, випаровування через транспірацію рослин).

Отже, випаровування з поверхні річкових водозборів сумарно складається з випаровування з водної поверхні озер, водосховищ, ставків, лиманів, річок і тимчасових водотоків, каналів, з поверхні сезонного снігового покриву, льоду, з поверхні суші, займаної лісом, чагарниками, луками, зрошуваними і незрошуваними полями, пасовищами, урбанізованими територіями тощо.

Існують різні методи та прилади для вимірювання випаровування різних природних поверхонь (лізіметри, випарники тощо) і розрахунку сумарного випаровування. При його розрахунках за короткі проміжки часу (місяць, декада, доба) можуть бути використані методи водного і теплового балансу, турбулентної дифузії (аеродинамічний), комбінований метод (на основі рівняння теплового балансу і рівнянь турбулентного перенесення тепла і вологи) та ін. При застосуванні перерахованих методів, що мають в своїй

основі фізичні закономірності, необхідно мати досить детальні дані водно-балансових, тепло-балансових, градієнтних та ін. видів спостережень.

В практиці складання водних балансів річкових водозборів найбільшого поширення набув метод А.Р. Константинова. Відповідно до цього методу місячні і декадні величини сумарного випаровування визначаються за формулою:

$$E = E' \cdot n \quad (2.4)$$

де E' – середня добова інтенсивність випаровування в даному розрахунковому періоді – декаді, місяці, мм/добу; n – кількість діб в розрахунковому періоді (декада, місяць).

Величина E' визначається за довідковими таблицями в залежності від виправлених значень температури T і абсолютної вологості e повітря, які виходять з рівняння $T = T_{2h} + \Delta T$ і $e = e_{2h} + \Delta e$, де T_{2h} і e_{2h} – відповідно середні добові значення температури ($^{\circ}\text{C}$) і вологості повітря (мб) за розрахункові періоди (декада, місяць), виміряні на метеостанції на висоті $h = 2$ м; ΔT і Δe – відповідно поправки, що враховують відмінності в температурі і абсолютній вологості повітря в даному місяці на висоті 2 м і на рівні підстильної поверхні (верхній межі шару шорсткості z_0) T_{z0} і e_{z0} . Вони називаються поправками на сезонний хід температури і абсолютної вологості повітря. Значення поправок ΔT і Δe визначаються для середини розрахункового інтервалу часу за спеціальними таблицями залежно від виміряних величин T_{2h} і e_{2h} , відповідно до вказівок в роботі [23].

Річковий стік води та його основні характеристики. Стік води поєднує в собі процес стікання та кількісну характеристику води, що проходить через річкову систему. Це ключовий фізико-географічний і геологічний фактор, дослідження якого є центральним завданням гідрології.

Як зазначалося, всі складові водного балансу, повинні бути обчислено в одних одиницях виміру. Якщо атмосферні опади та сумарне випаровування обчислюються в міліметрах, то й стік води річки треба представити теж в

міліметрах. В цьому випадку стік води річки повинен бути представлений у вигляді шару стоку в міліметрах.

Для узгодження складових водного балансу необхідно використовувати єдині одиниці виміру. У разі вираження атмосферних опадів та випаровування в міліметрах, стік води річки слід перерахувати у шар стоку (мм).

Шар стоку води – це кількість води, що стікає з водозбору в річку за певний проміжок часу і подається у вигляді товщини шару води рівномірно розподіленого в межах площі досліджуваного водозбору. Визначається за формулою:

$$R = Q \cdot T / F \cdot 10^3 \text{ мм}, \quad (2.5)$$

де R – шар стоку, мм; Q – витрата води; м³/с; T – розрахунковий інтервал часу, с; F – площа водозбору, км²; 10^3 - перехідний коефіцієнт м у мм [10, 24].

2.2. Аналіз часових рядів з використанням методів математичної статистики

Формування річкового стоку є важливою складовою процесу водообміну і представляє собою результат дії великої кількості факторів, ступінь впливу кожного з них повною мірою врахувати не представляється можливим. Так, наприклад, на формування максимального стоку води весняного водопілля одночасно впливають різноманітні чинники, які визначаються величиною запасів води в снігові, температурного режиму повітря у ході сніготанення, ступенем зволоженості басейну, кількість опадів у вигляді дощів на сніг, що тане, та ін. Тому максимуми весняного водопілля досить мінливі в багаторічному розрізі. З'ясування закономірностей, властивих сукупності явищ, які, в свою чергу, формуються як результат багатofакторних взаємозв'язків, можна встановити лише методами математичної статистики [3, 19, 25].

Методи математичної статистики включають в себе комплекс правил,

прийомів та засобів, що використовуються для збирання, обробки, аналізу та інтерпретації статистичних даних з метою вивчення кількісних закономірностей, тенденції та взаємозв'язків у масових явищах, оцінювання певних параметрів, перевірки висунутих гіпотез, отримання обґрунтованих висновків, розробки передбачень та прогнозів. Застосовування методів математичної статистики у наукових розрахунках та дослідженнях носить назву «статистичний аналіз».

Статистичний аналіз – це *процес* вивчення даних для виявлення закономірностей, тенденцій та взаємозв'язків між ними. Він включає в себе збір, обробку, аналіз та інтерпретацію даних з метою отримання висновків та підтримки прийняття рішень. Статистичний аналіз умовно можна поділити на наступні розділи:

- I. Дескриптивна (або описова) статистика – це розділ статистики, який займається збором, організацією, поданням та описом даних. Включає методи опису основних характеристик статистичних вибірок (наборів даних), наприклад, середнє значення (норма), медіана, мода, дисперсія, стандартне відхилення, варіація, симетрія (асиметрія) тощо.
- II. Інференційна (або вивідна) статистика – це розділ статистики, який використовує дані вибірки для висновків про генеральну сукупність. Включає методи орієнтовані на висновки про ширшу популяцію базуючись на даних, зібраних з меншої, репрезентативної вибірки, наприклад, перевірку статистичних гіпотез та оцінку параметрів.
- III. Кореляційний та регресійний аналізи – це статистичні методи, які використовуються для вивчення взаємозв'язків між змінними. Кореляційний аналіз використовується для визначення, чи існує зв'язок між двома або більше змінними, і наскільки цей зв'язок сильний. Регресійний аналіз використовується для моделювання залежності однієї змінної (залежної змінної) від однієї або декількох інших змінних (незалежних змінних). Отже, кореляційний та регресійний аналізи включають методи як для оцінки взаємозв'язків між змінними, так й для

прогнозування значень однієї змінної на основі іншої [3].

Вибір правильного статистичного методу є вирішальним кроком, який впливає на якість і достовірність дослідження. В магістерській роботі були застосовано звісно не всі методи математичної статистики, а лише деякі елементи (методи) статистичного аналізу зі всіх вищезазначених розділів [19, 25].

Одним з основних параметрів статистичних рядів є їх середнє арифметичне, яке визначають за формулою:

$$\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (2.6)$$

де n – кількість спостережень; $x_1, x_2, \dots, x_n$ – значення гідрологічної величини;

$\bar{x}$ – середнє арифметичне значення гідрологічної величини.

Для порівняння мінливості статистичних рядів, утворених із характеристик, які суттєво відрізняються за величиною, використовується коефіцієнт варіації C_v . Він представляє собою відношення середнього квадратичного відхилення σ_x до середнього значення ряду $\bar{x}$, розраховується за формулою:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n}}, \quad (2.7)$$

де $K_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$ – модульний коефіцієнт.

Ступінь симетричності розподілу статистичних рядів визначається коефіцієнтом асиметрії C_s

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{nC_v^3}. \quad (2.8)$$

Для графічного представлення багаторічної динаміки та тенденції досліджуваних статистичних рядів, розрахунків статистичних параметрів цих рядів, взаємозв'язків між змінними та оцінки їх тісноти використано пакет програм Microsoft Office, а саме програму Microsoft Excel, яка є однією з найпопулярніших програм для роботи з електронними таблицями, а також функціональний інструмент візуалізації та статистичного аналізу даних.

Висновки до 2 розділу

Вибір методичної основи відіграє ключову роль у наукових дослідженнях, дозволяючи дослідникам інтерпретувати дані, виявляти закономірності та робити обґрунтовані висновки.

Огляд водно-балансових і статистичних методів щодо їх застосування в контексті виконання представленої кваліфікаційної магістерської роботи показав, що саме ефективне використання цих методів здатне надати цінні рекомендації, посилити аргументацію, підвищити достовірність результатів та переконливість наукових висновків стосовно вивчення ефектів глобального потепління на водний баланс та екстремальний водний стік в досліджуваному басейні р. Псел.

Слід зазначити, що в гідрологічних дослідженнях зазначені методи широко використовуються при вирішенні багатьох завдань, а іноді вони виступають як єдиний шлях кількісної оцінки різноманітний сторін гідрологічних подій та явищ.

РОЗДІЛ 3

ВИХІДНІ ДАНІ ТА ЇХ АНАЛІЗ

Перед розрахунками, обов'язково треба переконатися, що вихідні дані відповідають припущенням вибраного методу. Вибір відповідних методів дослідження потребує уважного аналізу вихідних даних, грамотний вибір яких забезпечить як точність результатів, так й переконливість наукових висновків [3] .

3.1 Вихідні дані для водно-балансових розрахунків та вивчення сучасних змін складових водного балансу в басейні р. Псел

Для обчислення сучасних змін складових водного балансу в басейні р. Псел зібрано матеріали метеорологічних та гідрометричних спостережень за період з 1961 по 2019 рік.

За даними спостережень метеорологічних станцій:

Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля,
Кобеляки (рис. 3.1),

був сформований банк даних за такими показниками:

- середні місячні суми атмосферних опадів, мм;
- середня місячна температура повітря, °С;
- середні місячні величини парціального тиску водяної пари, гПа.

За даними спостережень гідрологічних постів (рис. 3.1)

- р. Псел – м. Суми (площа водозбору $F = 7770 \text{ км}^2$)
- р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)
- р. Псел – с. Запсілля ($F =21800 \text{ км}^2$)

створено вибірки середніх місячних витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$), які для водно-балансових розрахунків перераховано в шари стоку води (мм).

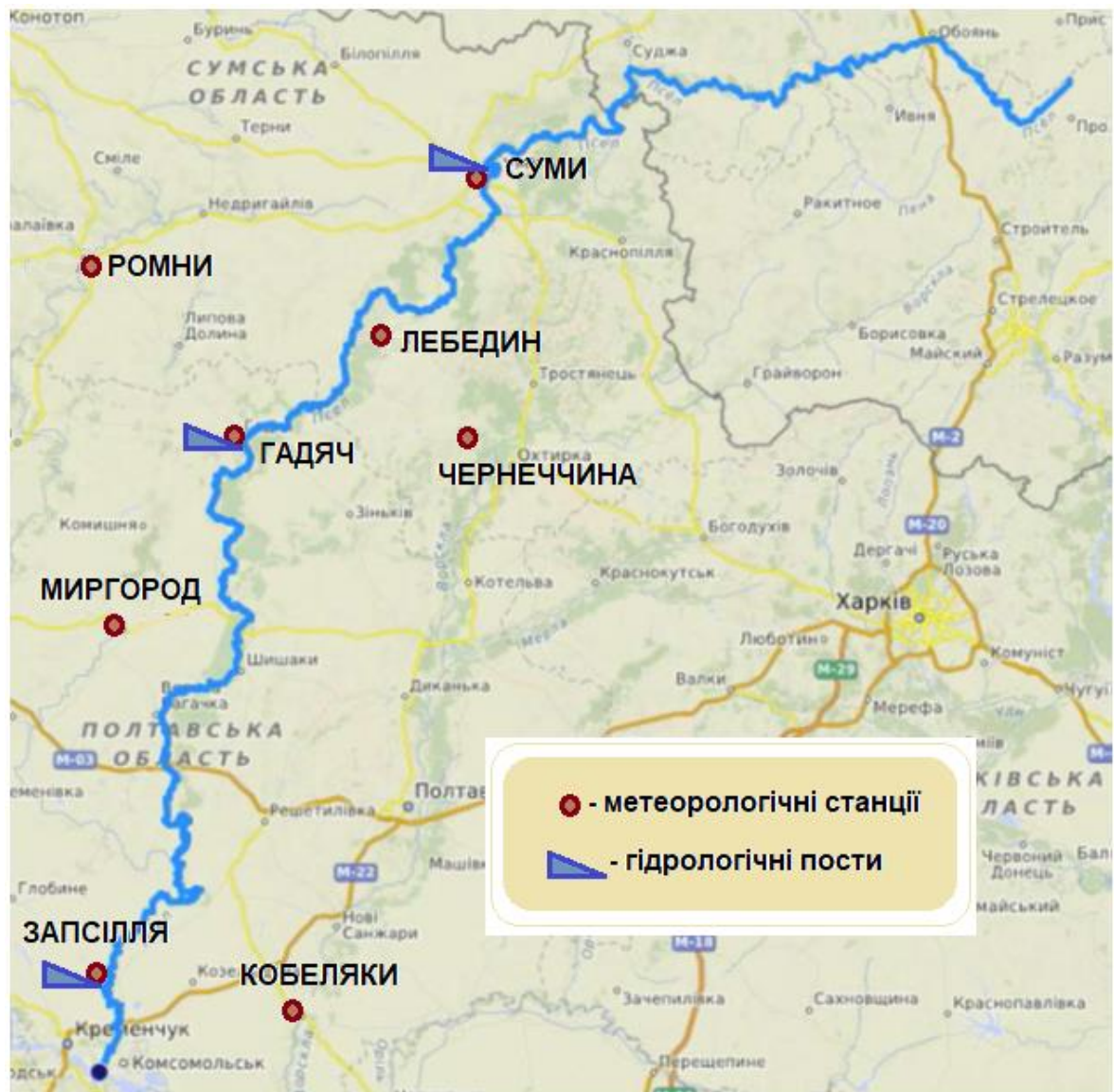


Рис. 3.1. Метеорологічні станції та гідрологічні пости, дані спостережень, які залучені до водно-балансових розрахунків в басейні р. Псел

Для вивчення та виявлення впливу зміни клімату на кількісні співвідношення між надходженням та витрачанням води в межах басейну р. Псел водний баланс розраховувався за 2 періоди - кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасного періоду 1991-2019 рр. На основі порівняння складових водного балансу за два відповідні періоди визначено тенденції змін окремих

метеорологічних і гідрологічних показників в сучасний період і, як наслідок, вплив таких змін на співвідношення між складовими водного балансу.

3.2 Вихідні дані для дослідження зміни екстремумів річкового стоку р. Псел в умовах кліматичних змін

Екстремуми стоку води річок – це максимальні та мінімальні витрати води, які формуються, відповідно, в періоди водопілля або паводків (екстремуми максимумів) та в меженні періоди (екстремуми мінімумів).

Для дослідження зміни екстремумів річкового стоку р. Псел в умовах кліматичних змін були зібрано відомості про річні максимальні та річні мінімальні витрати води період з 1961 по 2019 рр. за даними спостережень з трьох гідрологічних постів: р. Псел – м. Суми; р. Псел – м. Гадяч; р. Псел – с. Запсілля (рис. 3.1). Причому, треба зазначити, з кожного року досліджуваного багаторічного періоду 1961-2019 рр. вибиралося одне значення максимуму та одне значення мінімуму стоку води за рік. Таким чином, по кожному гідрологічному посту сформовано по два ряди – ряд річних максимумів та ряд річних мінімумів.

Для того, щоб прослідкувати сучасні зміни у максимальному та мініимальному стоку води р. Псел, проведено аналіз багаторічної мінливості екстремумів максимального та мініимального стоку води та тенденцій їх змін, порівняння середніх значень рядів годових максимумів та мінімумів та статистичних параметрів за періоди два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

Висновки до 3 розділу

Для будь-яких гідрологічних розрахунків важливим є дані спостережень, які повинні відповідати вибраним методам дослідження. Оскільки магістерська робота присвячено аналізу впливу кліматичних змін на

водний баланс та екстремальний водний стік в басейні р. Псел, в роботі використано дані як метеорологічних, так й та гідрологічних спостережень:

- За даними 8 метеорологічних станцій (Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки) за період з 1961 по 2019 рр. був сформований банк даних за наступними показниками: середні місячні суми атмосферних опадів (мм), середня місячна температура повітря (°C), середні місячні величини парціального тиску водяної пари(гПа).
- За даними 3 гідрологічних постів (р. Псел – м. Суми; р. Псел – м. Гадяч; р. Псел – с. Запсілля) створено вибірки середніх місячних витрат води (м³/с), а також максимальних річних та мінімальних річних витрат води.

РОЗДІЛ 4

ВОДНИЙ БАЛАНС ТА

ОЦІНКА СУЧАСНИХ ЗМІН ЙОГО СКЛАДОВИХ

В БАСЕЙНІ Р. ПСЕЛ

Зміна клімату суттєво впливає на водні ресурси, спричиняючи зміни у їх кількості, розподілі та якості. Потепління призводить до зміни режимів атмосферних опадів, вологості повітря, сумарного випаровування, що, в свою чергу, впливає на водний режим водних об'єктів та їх використання. З метою виявлення впливу кліматичних змін на водний баланс та екстремальний водний стік в басейні р. Псел використано метод порівняння. Оскільки вихідні дані охоплюють період 1961–2019 рр., досліджувані елементи порівнювали за два 30-річні етапи: кліматична норма (1961–1990 рр.) та сучасний період (1991–2019 рр.).

Вибір такої періодизації обґрунтовано вимогами Технічного регламенту ВМО (WMO, 2007) [29], згідно з якими кліматичну норму визначають як середнє значення за послідовні 30-річні періоди. Цей підхід до моніторингу клімату було підтверджено на XVII Всесвітньому метеорологічному конгресі (2015 р.) [30]. Тому період 1961–1990 рр. прийнято за опорний для порівняльного аналізу змін гідрометеорологічних характеристик.

4.1. Оцінка часової мінливості метеорологічних показників та водного стоку води

Як же зазначалося в розділі 2, підрозділі «Методичні підходи до водно-балансових досліджень річкових басейнів» основними метеорологічними та гідрологічними показниками, що визначають складові водних балансів річкових басейнів – це температура та абсолютна вологість повітря

(парціальний тиск водяної пари), атмосферні опади, водний стік.

Температура повітря. На рис. А.1 та А.2 (Додаток А) показано багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої місячної температури повітря та середньої річної температури повітря (°C) в басейні р. Псел. На графіках відображено середні значення за даними 8 метеостанцій (Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки). Во всіх місяцях та й в річній часовій мінливості температур повітря спостерігаються тенденції на їх підвищення.

На рис. 4.1 порівнюються середні місячні та річні температури повітря за два періоди 1961-1990 рр. і 1991-2019 рр. в басейні р. Псел (середні значення за даними 8 метеостанцій).

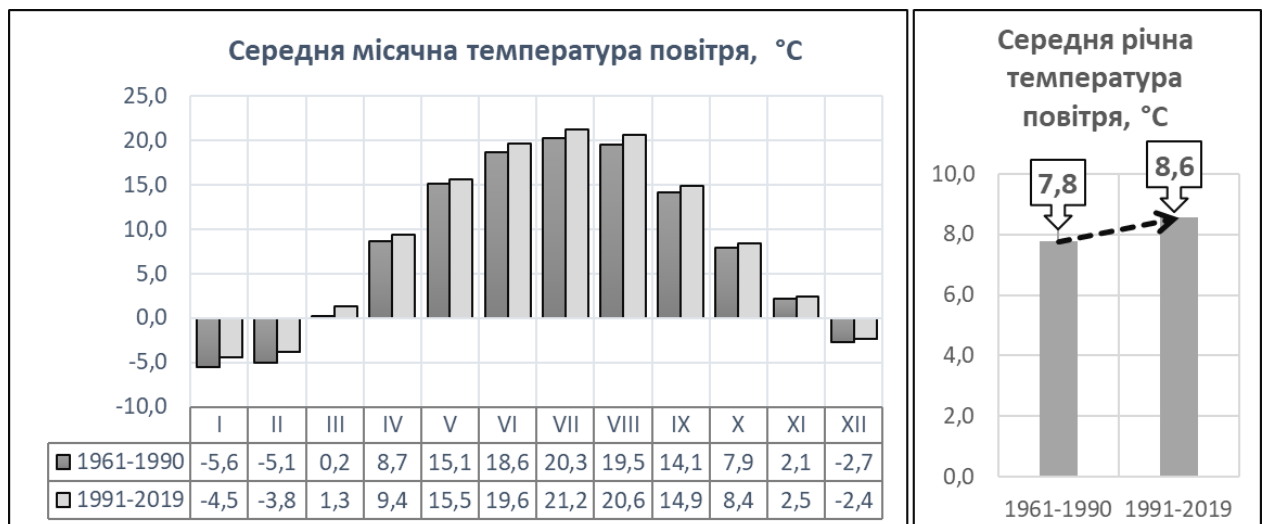


Рис. 4.1. Порівняння середніх місячних та річних температур повітря в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. (середні значення температур повітря за даними 8 метеостанцій)

Середня річна температура повітря в басейні р. Псел в період кліматичної норми 1961-1990 рр. склала +7,8 °C, а в період 1991-2019 рр. – +8,6°C, тобто в сучасний період відбулося її підвищення в середньому по басейну на 0,8°C. Найбільші підвищення на 1,0-1,3 °C відбулися в сучасний період у січні, лютому, березні, червні та серпні. Найменші підвищення

середньої місячної температури повітря, в межах 0,3-0,5°C, спостерігається травні, жовтні, листопаді та грудні.

Парціальний тиск водяної пари. Стосовно зміни парціального тиску водяної пари (абсолютної вологості повітря), то спостерігається його незначне збільшення, як місячних, так й річних його значень в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми (рис. 4.2).

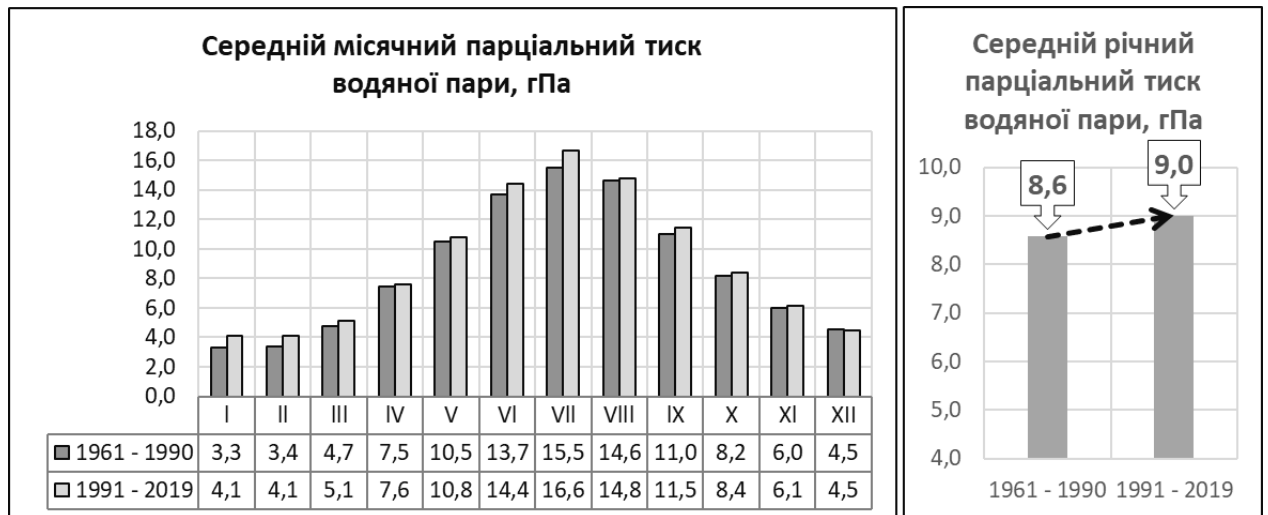


Рис. 4.2. Порівняння середніх місячних та річних значень парціального тиску водяної пари в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. (середні значення парціального тиску водяної пари за даними 5 метеостанцій)

В цілому, парціальний тиск водяної пари та випаровування - це взаємопов'язані поняття, що описують стан вологості повітря та процес переходу води в газоподібний стан. Процес випаровування збільшує вміст водяної пари в повітрі, що призводить до збільшення парціального тиску водяної пари. Швидкість випаровування залежить від температури повітря, вологості повітря, швидкості вітру та інших факторів.

Середній річний парціальний тиск водяної пари в басейні р. Псел в період кліматичної норми 1961-1990 рр. склав 8,6 гПа, а в період 1991-2019 рр.– 9,0 гПа, тобто в сучасний період відбулося збільшення парціального

тиску водяної пари в середньому по басейну на 0,4 гПа. Найбільші збільшення в сучасний період на 0,7-1,1 гПа відбулися у січні, лютому, червні та липні.

Загалом, підвищення температури повітря та збільшення парціального тиску водяної пари в басейні р. Псел опосередковано свідчить про збільшення величин сумарного випаровування.

Атмосферні опади. На рис. А.3 та А.4 (Додаток А) показано багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої місячної кількості атмосферних опадів та середньої річної їх суми (°С) в басейні р. Псел. На всіх графіках відображено середні значення за даними 8 метеостанцій (Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки). Во всіх місяцях року спостерігаються різні тенденції змін їх кількості.

На рис. 4.1 порівнюються середні місячні та річні суми атмосферних опадів в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. (середні значення за даними 8 метеостанцій).

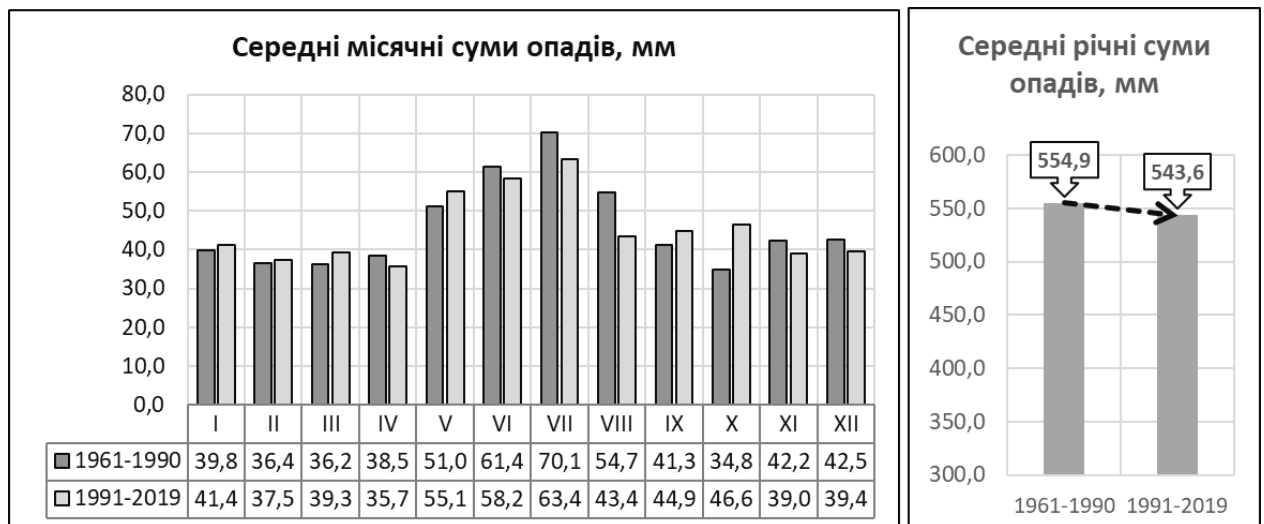


Рис. 4.3. Порівняння середніх місячних та річних сум атмосферних опадів в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. (середні значення сум атмосферних опадів за даними 8 метеостанцій)

Середня річна сума атмосферних опадів в басейні р. Псел в період кліматичної норми 1961-1990 рр. склала 555 мм, а в період 1991-2019 рр. – 544 мм, тобто в сучасний період відбулося їх зменшення в середньому по басейну

на 11 мм. Узагальнюючи зміни в сучасний період середніх місячних кількостей опадів, можна констатувати, що найбільше зменшення кількості опадів відбулося в літній сезон – на 21,2 мм, з них в серпні місяці на 11,3 мм. Найбільше збільшення опадів фіксується в жовтні – на 11,3 мм.

Річковий стік води. Для аналізу змін стоку води р. Псел в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. та в подальшому для розрахунку водного балансу середні місячні витрати води за досліджувані періоди перераховано в середні місячні шари стоку за формулою (2.5). Такий перерахунок проведено для 3 гідрологічних постів на р. Псел (додаток Б, таблиці Б.1): р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$), р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$), р. Псел – с. Запсілля ($F=21800 \text{ км}^2$).

Використовуючи дані табл. Б.1 (Додаток Б), побудовано графіки порівняння середніх місячних та річних шарів стоку води в басейні р. Псел за даними 3 гідрологічних постів за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. (рис. 4.4-4.6).

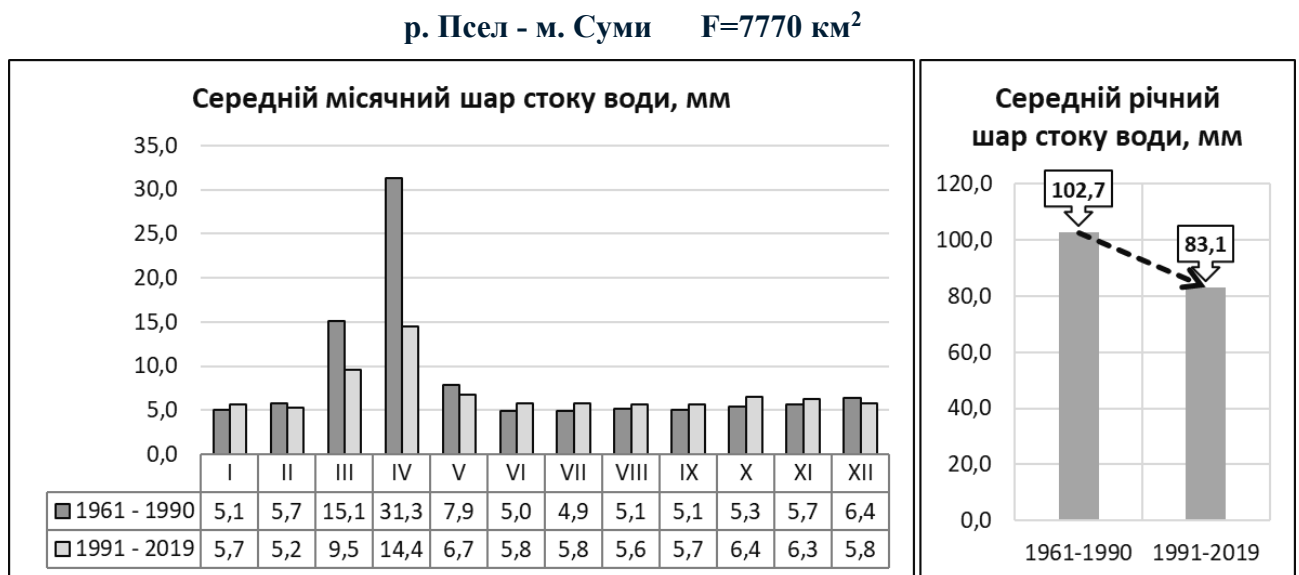


Рис. 4.4. Порівняння середніх місячних та річних шарів стоку води в басейні р. Псел - м. Суми за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

р. Псел – м. Гадяч $F=11300 \text{ км}^2$



Рис. 4.5. Порівняння середніх місячних та річних шарів стоку води в басейні р. Псел – м. Гадяч за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

р. Псел – с. Запсілля $F=21800 \text{ км}^2$

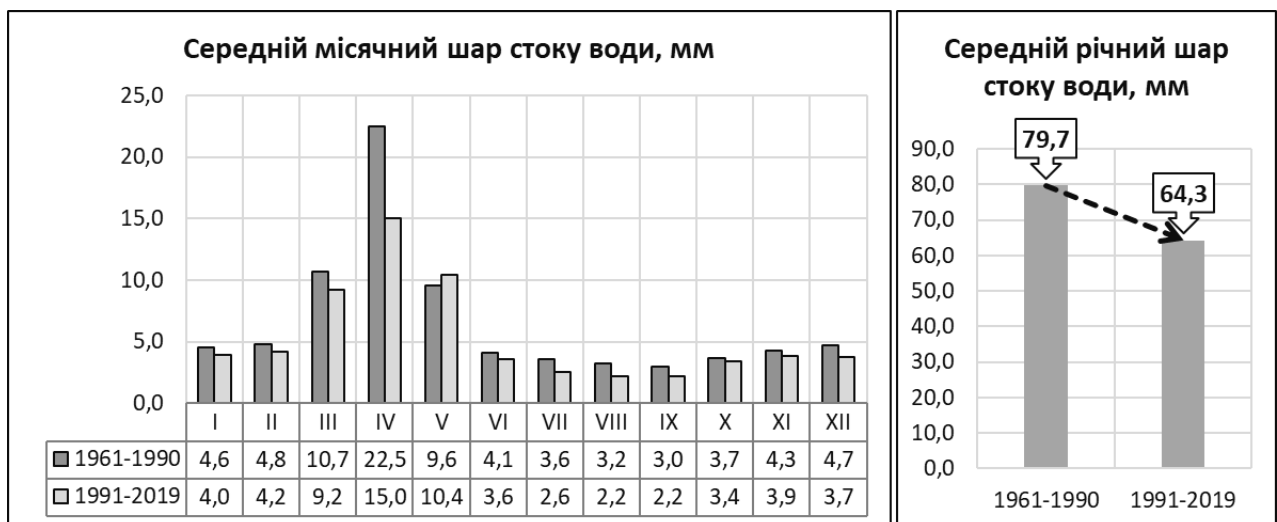


Рис. 4.6. Порівняння середніх місячних та річних шарів стоку води в басейні р. Псел – с. Запсілля за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

Як бачимо з рис. 4.4-4.6, на 3 досліджуваних постах середні місячні та річні шари стоку води в басейні р. Псел мають аналогічні тенденції змін в сучасний період в порівнянні з періодом кліматичної норми. Значні зменшення відбулися у весняному стоці води річки, особливо у квітні місяці, коли в основному формуються максимуми весняного водопілля.

Порівняння середніх річних шарів стоку води р. Псел на 3 гідрологічних постах за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. показав, що річний шар стоку води на р. Псел – м. Суми зменшився в сучасний період на 19,6 мм (або на 23,5 % відносно стоку води в період кліматичної норми), на р. Псел – м. Гадяч зменшився на 14,2 мм (або на 14,6 %), на р. Псел – с. Запсілля зменшився на 12,6 мм (15,8 %).

4.2. Водні баланси річкових басейнів р. Псел та аналіз впливу кліматичних змін на співвідношення між надходженням та витрачанням води у сучасний період

Оцінка водного балансу річкового басейну має важливе значення в гідрологічних розрахунках і прогнозах, моделюванні процесів формування стоку води, в дослідженнях екології річки та для управління водними ресурсами. Без знання водного балансу річкового басейну або певної території неможливо проаналізувати вплив зміни клімату або антропогенні впливи. Водний баланс, як вже зазначалося в розділі 2, підрозділі 2.1, розглядається в різних аспектах досліджень. В представленій магістерській роботі водний баланс розглядався, як кількісна оцінка його окремих складових за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр., з подальшим їх порівнянням та виявленням змін, що відбулися у співвідношеннях між надходженням та витрачанням води у сучасний період. Для розрахунків використовувалась формула (2.2), через те, що водний баланс розраховувався за два багаторічних періоди.

Для посилення аргументації та підвищення достовірності результатів і висновків щодо вивчення впливу кліматичних змін на водний баланс та співвідношення між його складовими, розраховано водний баланс для трьох річкових басейнів на р. Псел.

р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)

р. Псел – м. Гадяч ($F = 11300 \text{ км}^2$)

р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$)

Атмосферні опади – P (мм). Середні багаторічні кількості атмосферних опадів P , які випадають за річний проміжок часу, за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. визначалися (див. рис. 3.1 та Додаток В):

- для басейну р. Псел – м. Суми за даними 3 метеорологічних станцій (табл.В.1, додаток В)

Суми, Ромни, Лебедин ;

- для басейну р. Псел – м. Гадяч за даними 6 метеорологічних станцій (табл.В.2, додаток В)

Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород;

- для басейну р. Псел – м. Гадяч за даними 8 метеорологічних станцій (табл.В.3, додаток В)

Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля,

Кобеляки.

Шари стоку води – R (мм). Використовуючи обчислені середні місячні шари стоку для р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля (Додаток Б), розраховано середні річні шари стоку за два досліджувані періоди –1961-1990 рр. та 1991-2019 рр. (додаток В).

Сумарне випаровування – E (мм). Сумарне випаровування (видатковий елемент рівняння водного балансу) для досліджуваних річкових басейнів р. Псел обчислювалося (відповідно до формули (2.2)) як різниця між опадами P (прибутковий елемент) та шарами стоку води R (видатковий елемент) (табл. В.5, додаток В). Результируючий елемент водного балансу – зміни запасів вологи в річковому басейні, не враховувалися, оскільки баланси розраховувалися за багаторічний період.

Використовуючи розраховані складові водного балансу (додаток В), складено водні баланси (атмосферні опади P , мм = шар стоку води R , мм + сумарне випаровування E , мм) річкових басейнів р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля для двох досліджуваних періодів (рис.4.7).

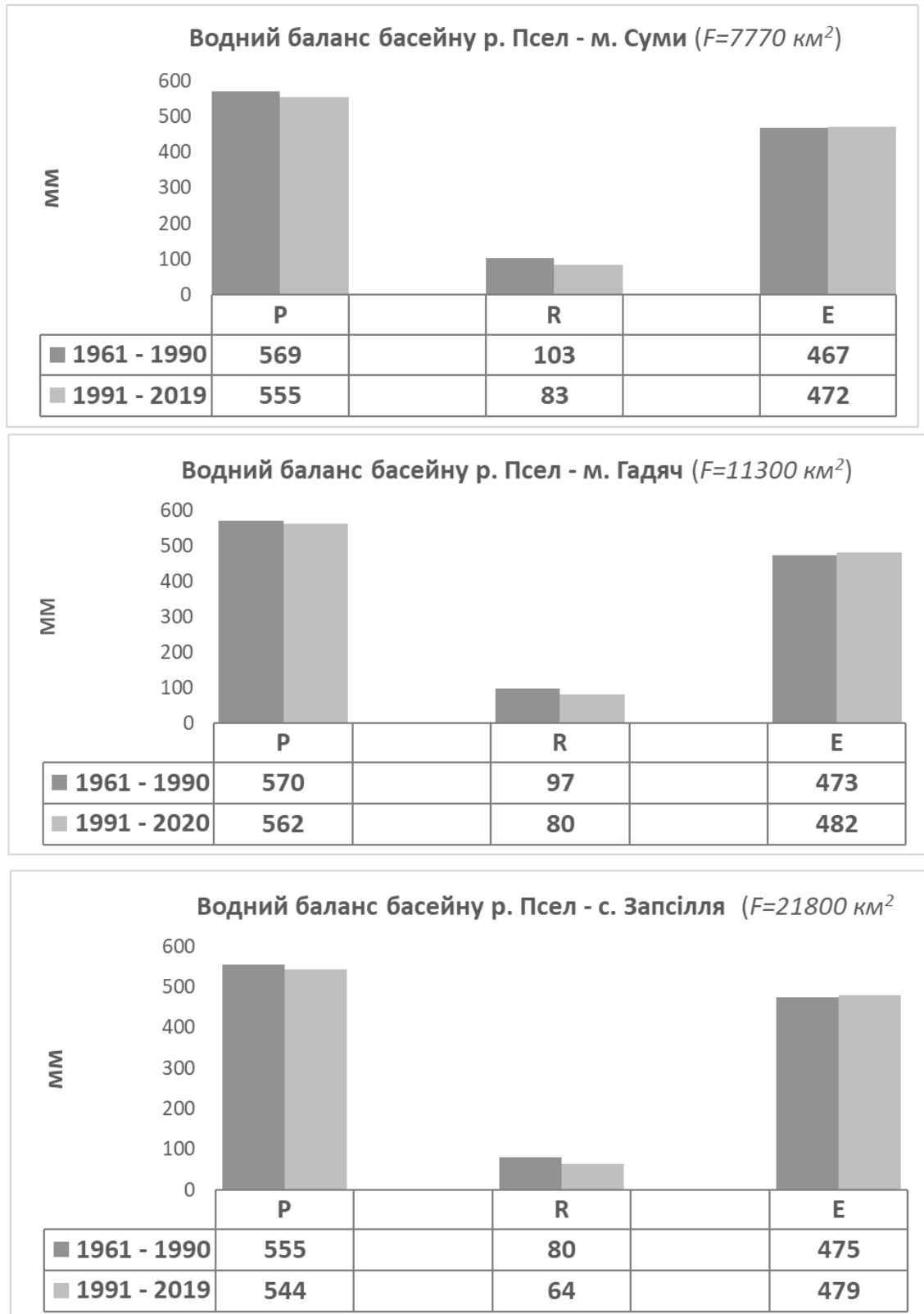


Рис. 4.7. Водні баланси ($P, \text{мм} = R, \text{мм} + E, \text{мм}$) річкових басейнів р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля для двох періодів – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

В табл. 4.1 проаналізовані зміни складових водних балансів в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. в басейнах р. Псел (р. Псел – м. Суми, р. Псел – м. Гадяч, р. Псел – с. Запсілля).

Таблиця 4.1

**Аналіз зміни складових річних водних балансів (ΔP , ΔR , ΔE)
в басейнах р. Псел в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом
кліматичної норми 1961-1990 рр.**

Періоди (роки)	Складові водного балансу	Річкові басейни		
		басейн р. Псел – м. Суми (F = 7770 км ²)	басейн р. Псел – м. Гадяч (F=11300 км ²)	басейн р. Псел – с. Запсілля (F =21800 км ²)
атмосферні опади <i>P, мм</i>				
1961 - 1990	<i>P, мм</i>	569	570	555
1991 – 2019	<i>P, мм</i>	555	562	544
Зміни $\Delta P, мм$		-14,6	-8,4	-11,4
шари стоку води <i>R, мм</i>				
1961 - 1990	<i>R, мм</i>	103	97	80
1991 – 2019	<i>R, мм</i>	83	80	64
Зміни $\Delta R, мм$		-19,4	-17,5	-15,4
сумарне випаровування <i>E, мм</i>				
1961 - 1990	<i>E, мм</i>	467	473	475
1991 – 2019	<i>E, мм</i>	472	482	479
Зміни $\Delta E, мм$		+4.9	+9,1	+4,0

Як видно з табл. 4.1, сучасні тенденції змін складових водного балансу в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. однакові для всіх досліджуваних басейнів – р. Псел – м. Суми (F = 7770 км²), р. Псел – м. Гадяч (F=11300 км²), р. Псел – с. Запсілля (F =21800 км²). Отже, в сучасний період 1991-2019 рр. спостерігається:

- зменшення кількості атмосферних опадів на 8-15 мм;
- зменшення річкового стоку води на 15-19 мм;
- збільшення величин сумарного випаровування на 4-9 мм.

Таким чином, з гідрологічного погляду зменшення річкового стоку р. Псел в сучасний період пояснюється зменшенням кількості опадів в басейні та збільшенням сумарного випаровування. А такі зміни у співвідношенні складових водного балансу є результатом впливу кліматичних змін – насамперед, підвищення температури повітря, збільшення парціального тиску водяної пари та інших факторів.

Розрахунки коефіцієнтів посушливості та стоку води. Якщо поділити обидві частини витрачання (тобто, величини сумарного випаровування E та стоку води R) на надходження води на територію басейну (тобто, суму атмосферних опадів P), отримаємо наступні співвідношення:

– якщо в частках від одиниці, то

$$1 = E/P + R/P$$

– якщо у %, то

$$100\% = E/P\% + R/P\%$$

Притім, відношення E/P в вищеподаних рівняннях характеризує частку (або %) сумарного випаровування E в загальній структурі водного балансу і називається *коефіцієнтом посушливості*, а відношення R/P визначає частку (або %) той води в структурі водного балансу річкового басейну, що йде на формування водного стоку річки R і називається *коефіцієнтом стоку води*. Коефіцієнти E/P та R/P досить добре описують часові зміни співвідношень між надходженням та витрачанням води в межах окремого річкового басейну, в нашому випадку, басейну р. Псел. В табл. 4.2 представлено розрахунок коефіцієнтів стоку води R/P та посушливості E/P в басейні р. Псел та їх зміни в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр.

Таблиця 4.2

Розрахунок коефіцієнтів стоку води R/P та посушливості E/P та їх зміни в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. в басейні р. Псел

Річкові басейни р. Псел								
басейн р. Псел – м. Суми (F = 7770 км ²)			басейн р. Псел – м. Гадяч (F=11300 км ²)			басейн р. Псел – с. Запсілля (F =21800 км ²)		
період кліматичної норми – 1961-1990 рр.								
Елементи водного балансу, мм								
<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>
569	103	467	570	97	473	555	80	475
% від суми атмосферних опадів								
<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>	<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>	<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>
100	18,1	81,9	100	17,0	83,0	100	14,4	85,6
сучасний період – 1990-2019 рр.								
Елементи водного балансу, мм								
<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>	<i>P</i>	<i>R</i>	<i>E</i>
555	83	472	562	80	482	544	64	479
% від суми атмосферних опадів								
<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>	<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>	<i>P</i>	<i>R/P</i>	<i>E/P</i>
100	14,9	85,1	100	14,2	85,8	100	11,8	88,2

Аналіз співвідношення між надходженням та витрачанням води в басейні за два досліджувані періоди — 1961–1990 рр. та 1990–2019 рр. (табл. 4.2) — свідчить, що в період кліматичної норми частка стоку від суми атмосферних опадів була вищою, ніж у сучасний період. Зокрема, середня величина коефіцієнта стоку по трьох басейнах знизилася з $R/P = 16,5 \%$ (1961–1990 рр.) до $R/P = 13,6 \%$ (1990-2019 рр.)

Водночас у басейні р. Псел зросла частка сумарного випаровування. Середнє значення коефіцієнта посушливості E/P збільшилося з $83,5 \%$ у базовий період до $86,4\%$ у сучасний. Це вказує на те, що в сучасний період

відбувся перерозподіл атмосферних опадів P у бік збільшення сумарного випаровування E , що призвело до зменшення об'ємів води R , які йдуть на формування стоку.

Кількість атмосферних опадів в структурі водного балансу в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми в басейні р. Псел зменшилася в середньому на 11,4 мм, що зменшило й надходження води до річок. При цьому величини сумарного випаровування в межах басейну р. Псел в сучасному водному балансі збільшилися в середньому 6 мм (або ≈ 136800000 м³, враховуючи, що загальна площа басейну р. Псел 22800 км²) замість поповнення водних ресурсів річок. Тому стік води в сучасний період внаслідок впливу кліматичних змін (насамперед, підвищення температури повітря) зменшився на 17,4 мм (зменшення опадів 11,4 мм + збільшення сумарного випаровування 6,0 мм).

Висновки до 4 розділу

Оцінка часової мінливості метеорологічних показників в басейні р. Псел показав, що

- середня річна температура повітря в басейні р. Псел в період кліматичної норми 1961-1990 рр. склала +7,8 °С, а в період 1991-2019 рр. – +8,6 °С, тобто в сучасний період відбулося її підвищення в середньому на 0,8 °С.
- середній річний парціальний тиск водяної пари в басейні р. Псел в період 1961-1990 рр. склав 8,6 гПа, а в період 1991-2019 рр. – 9,0 гПа, в сучасний період відбулося збільшення величини парціального тиску водяної пари в середньому по басейну на 0,4 гПа.
- середня річна сума атмосферних опадів в басейні р. Псел в період 1961-1990 рр. склала 555 мм, а в період 1991-2019 рр. – 544 мм, в сучасний період відбулося їх зменшення в середньому по басейну на 11,4 мм.

Порівняння середніх річних шарів стоку води р. Псел на 3 гідрологічних постах за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період

1991-2019 рр. показав, що річний шар стоку води на р. Псел – м. Суми зменшився в сучасний період на 18,4 мм (або на 17,5 % відносно стоку в період кліматичної норми), на р. Псел – м. Гадяч – на 14,2 мм (або на 14,6 %), на р. Псел – с. Запсілля – 12,6 мм (на 15,8 %).

Щодо тенденцій змін складових водного балансу в басейні р. Псел в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. спостерігається зменшення кількості атмосферних опадів на 8-15 мм, зменшення річкового стоку води на 15-19 мм, збільшення величин сумарного випаровування на 4-9 мм.

Аналіз водно-балансових співвідношень в басейні р. Псел за два досліджувані періоди 1961-1990 рр. і 1990-2019 рр. показав, що в період кліматичної норми відсоток стоку води від суми атмосферних опадів (коефіцієнт стоку) був більшим (16,5 %), ніж в сучасний період (13,6 %). Частка сумарного випаровування у водно-балансових співвідношеннях в басейні р. Псел у сучасний період 1990-2019 рр. збільшилася. Якщо в період кліматичної норми 1961-1990 рр. середнє значення коефіцієнта посушливості було 83,5 %, то в сучасний період 86,4%. А це означає, що в басейні р. Псел в сучасний період відбувся «перерозподіл» об'ємів води атмосферних опадів в бік сумарного випаровування зі зменшенням об'ємів води, що йдуть на формування стоку води.

РОЗДІЛ 5

ЕКСТРЕМУМИ СТОКУ ВОДИ Р. ПСЕЛ ТА АНАЛІЗ ЇХ ЗМІН В СУЧАСНИЙ ПЕРІОД

Екстремальні витрати води річок відносяться до важливих характеристик річкового стоку. Екстремуми стоку води – це, насамперед, максимальні та мінімальні витрати води, які формуються, відповідно, в періоди водопілля або паводків (екстремуми максимумів) та в меженні періоди (екстремуми мінімумів) [8, 10].

Водопілля формуються під час танення снігу, паводки – під час дощів в теплий період року або під час відлиг в холодний період року. Загалом, високі рівні води і відповідні їм максимальні витрати води залежать від інтенсивності та тривалості надходження води з території річкового басейну, від швидкості стікання, від стану водозбору. Ці умови можуть порушуватися господарською діяльністю людини (будівництво водосховищ, агролісоміліоративні заходи). Високі та катастрофічні водопілля та паводки мають рідку повторюваність, близько 1 раз в 50-100 років [10, 24].

Межень – період у водному режимі річки, коли настає низька водність в результаті зменшення надходження води з водозбору після водопілля або паводків. У цей період переважне живлення відбувається за рахунок підземних вод. Виділяють зимову, літню та в деяких випадках літньо-осінню межень. Тривалість літньої та літньо-осінньої межені, відповідно, визначається від кінця водопілля до початку осінніх паводків або до початку льодових утворень. Зимова межень означається від початку зимового періоду до початку водопілля. Межень вважається тривалою, якщо вона неперервна більш ніж 30 діб, короткою – від 10 до 30 діб. Саме під час межені спостерігаються мінімальні витрати води. Окрім кліматичних факторів, на формування

мінімумів стоку впливає підстильна поверхня (регулююча роль озер, боліт та лісів), розмір басейну, глибина водоносних горизонтів тощо. Для річок, де мінімальні витрати води відбуваються в холодну пору року, додатково впливають умови промерзання ґрунтового покриття басейну. Останнім часом збільшився вплив господарської діяльності [10, 24].

Максимуми стоку води річок необхідно знати для розрахунку будівництва гребель та запруд, отворів залізничних та автомобільних мостів, при розробці заходів боротьби з затопленнями, при осушенні боліт і заболочених земель, зрошенні, розробці проектів промислового і господарського водопостачання. Без врахування даних про мінімальний стік води річок не можуть бути розроблені дієві заходи з покращення якості води. Збільшення кількості промислово-побутових стічних вод, хімізація сільського господарства, збільшення витрат на зрошення, ведуть до забруднення річок, особливо, в період, коли витрати води найменші.

Оскільки, як вже зазначалося, основними фазами водного р. Псел є весняне водопілля та межень, коли, відповідно формуються максимальний та мінімальний стік води, побудовано графіки багаторічної мінливості екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел – м. Суми (площа басейна $F = 7770 \text{ км}^2$), р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$), р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$) та проаналізовано тенденції їх змін (рис. 5.1, 5.2, 5.3). На всіх графіках прослідковується значна тенденція на зменшення максимумів весняного водопілля та невелика тенденція на збільшення мінімумів межені в сучасний період.

В табл. 5.1 проведено порівняння середніх значень річних максимумів стоку води (у витратах води $\text{м}^3/\text{с}$) за багаторічний період і за періоди кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на р. Псел за даними гідрологічних постів м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля. Також проаналізовано найбільші та найменші значення максимумів за багаторічний період, з вказівкою в які роки вони фіксувалися.

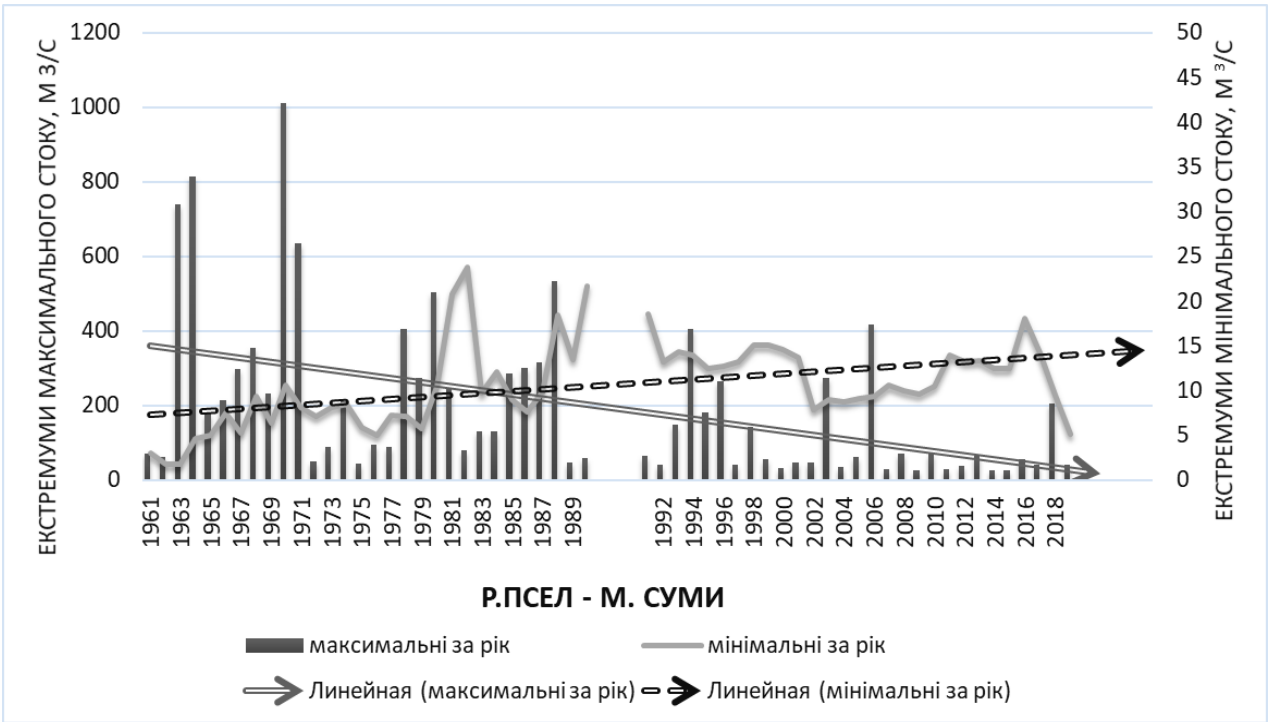


Рис. 5.1. Багаторічна мінливість екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел- м. Суми та тенденції їх змін

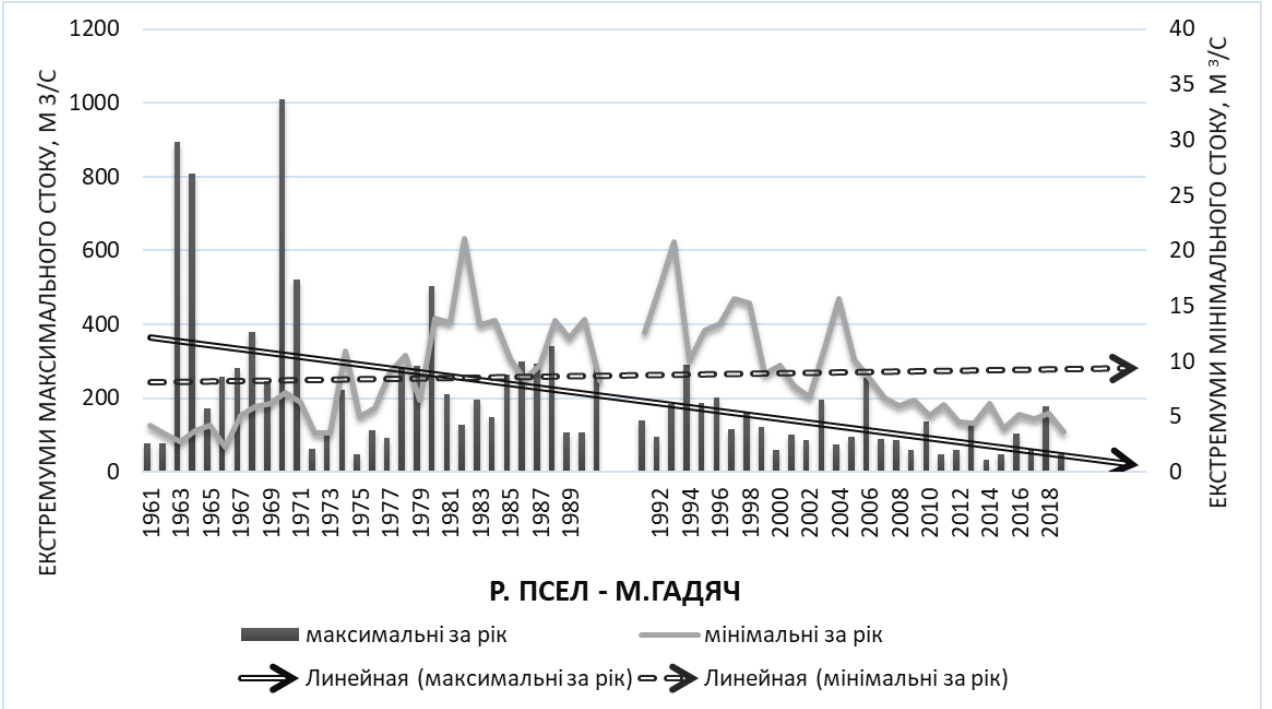


Рис. 5.2. Багаторічна мінливість екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел- м. Гадяч та тенденції їх змін

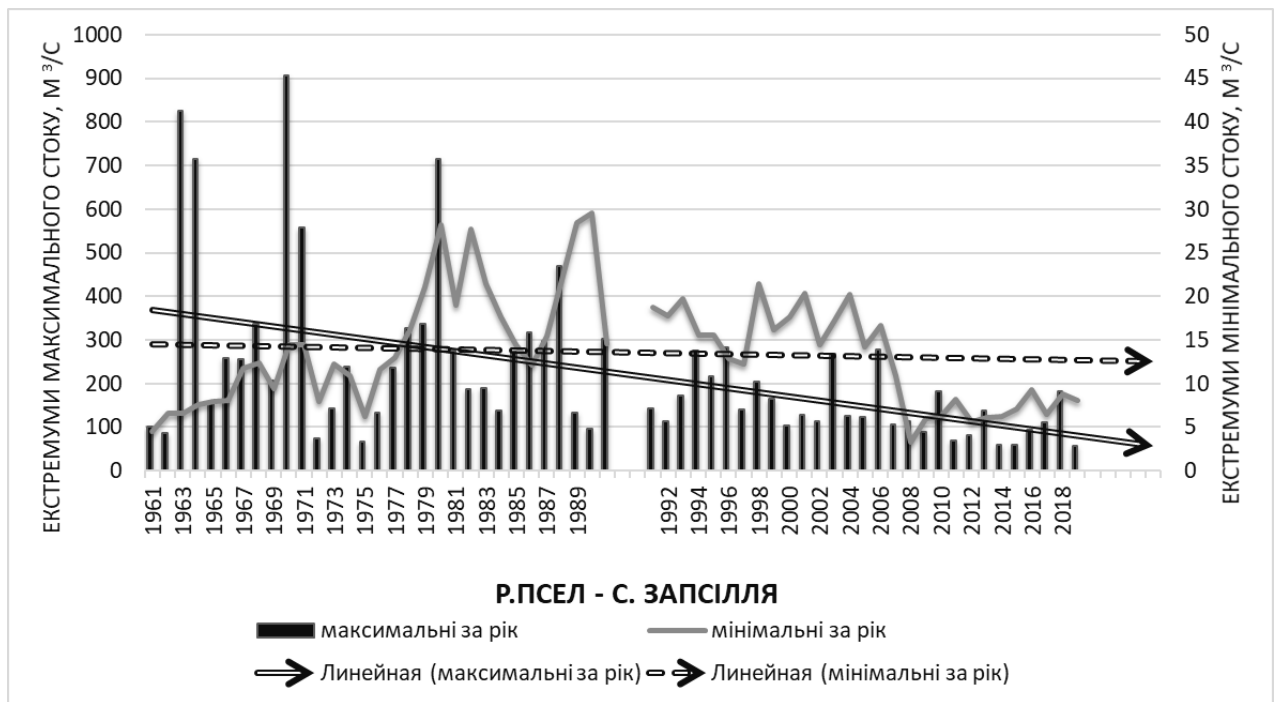


Рис. 5.3. Багаторічна мінливість екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел- с. Запсілля та тенденції їх змін

Таблиця 5.1.

Порівняння середніх значень максимумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) за багаторічний період і за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на р. Псел (за даними спостережень гідрологічних постів м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля)

Річка – гідрологічний пост	Середні значення (норма) максимумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) за періоди			Найбільші максимуми, $\text{м}^3/\text{с}$ (рік)	Найменші максимуми, $\text{м}^3/\text{с}$ (рік)
	1961- 2019 рр.	1961- 1990 рр.	1991- 2019 рр.	за період 1961-2019 рр.	
р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	192,5	282,8	102,4	1010 (1970) 815(1964) 739 (1963) 636 (1971)	27,1 (2007) 26,2 (2009) 25,0 (2015) 24,1 (2014)
р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)	202,9	285,1	119,3	1010 (1970) 895 (1963) 809 (1964) 520 (1971)	49,2 (2011) 49,1 (1975) 47,4 (2015) 34,4 (2014)
р. Псел – с. Запсілля ($F=21800 \text{ км}^2$)	225,3	301,9	144,7	906 (1970) 825 (1963) 716 (1964) 716 (1980)	68,7 (2011) 66 (1975) 60,1 (2014) 59,8 (2015)

Аналізуючи дані табл. 5.1, можна помітити значне зменшення середніх значень екстремумів максимумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) на р. Псел, порівнюючи два досліджувані періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. В сучасний період на посту р. Псел - м. Суми максимальні екстремуми зменшилися у 2,8 рази в порівнянні з періодом 1961-1990 рр., на посту р. Псел - м. Гадяч – у 2,4 рази, на посту р. Псел - с. Запсілля – у 2,1 разів. Найбільші екстремуми максимумів спостерігалися в період кліматичної норми в 1970, 1963, 1964, 1971, 1980 рр., а найменші в сучасний період 1991-2019 рр. – в 2007, 2009, 2011, 2014, 2015 рр.

Окрім аналізу багаторічної мінливості екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел, тенденцій їх змін, порівняння середніх значень екстремумів на р. Псел за періоди кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. було ще визначено статистичні параметри максимумів та мінімумів стоку води р. Псел.

В табл. 5.2 пораховано статистичні параметри - коефіцієнти варіації C_v та асиметрії C_s для максимумів стоку води р. Псел за багаторічний період 1961-2019 рр. та а два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

Таблиця 5.2.

Статистичні параметри максимумів стоку води р. Псел за багаторічний період та за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

Річка – гідрологічний пост	Коефіцієнт варіації C_v	Коефіцієнт асиметрії C_s	Коефіцієнт варіації C_v		Коефіцієнт асиметрії C_s	
	1961-2019 рр.		1961-1990 рр.	1991-2019 рр.	1961-1990 рр.	1991-2019 рр.
р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	1,09	1,97	0,87	1,08	1,47	1,85
р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)	0,95	2,64	0,84	0,55	1,89	0,95
р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$)	0,81	2,24	0,74	0,45	1,49	0,82

Коефіцієнт варіації максимумів стоку води р. Псел за багаторічний період в середньому $C_v = 0,95$ (табл. 5.2). В період кліматичної норми 1961-1990 рр. в середньому для 3 постів на річці $C_v = 0,82$, а сучасний період коефіцієнт варіації зменшився, $C_v = 0,69$. За величинами коефіцієнтів асиметрії C_s , які во всіх випадків мають позитивні значення, можна констатувати, що в рядах досліджуваних періодів переважають максимуми невеликі за своїми величинами.

В табл. 5.3 проведено порівняння середніх значень річних мінімумів стоку води (у витратах води, $\text{м}^3/\text{с}$) за багаторічний період 1961-2019 рр. і за періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на р. Псел, проаналізовано найбільші та найменші величини мінімумів за багаторічний період з вказівкою років, коли вони спостерігалися.

Таблиця 5.3.

Порівняння середніх значень мінімумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) за багаторічний період і за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на р. Псел (за даними спостережень гідрологічних постів м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля)

Річка – гідрологічний пост	Середні значення мінімумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) за періоди			Найбільші мінімуми, $\text{м}^3/\text{с}$ (рік)	Найменші мінімуми, $\text{м}^3/\text{с}$ (рік)
	1961-2019 рр.	1961-1990 рр.	1991-2019 рр.	за період 1961-2019 рр.	
р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	10,6	9,1	12,2	23,8 (1982) 21,7 (1990) 20,8 (1981) 18,5 (1991)	4,56 (1964) 2,94 (1961) 1,78 (1963) 1,75 (1962)
р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)	9,1	8,3	9,1	21,1 (1982) 20,8 (1993) 16,7 (1992) 15,7 (1997)	3,54 (1973) 3,42(1962) 2,75 (1963) 2,27 (1966)
р. Псел – с. Запсілля ($F=21800 \text{ км}^2$)	14,0	14,6	12,4	29,6 (1990) 28,5 (1989) 28,2 (1980) 27,7 (1982)	5,95 (2009) 5,61 (2012) 4,5 (1961) 3,29 (2008)

Аналізуючи дані табл. 5.3, бачимо, що проявляється різноспрямованість тенденцій зміни середніх значень екстремумів мінімумів стоку води ($\text{м}^3/\text{с}$) на р. Псел, порівнюючи два досліджувані періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. В сучасний період на гідрологічному посту р. Псел - м. Суми – збільшення екстремумів мінімальних витрат води склало 25,5 % в порівнянні з періодом 1961-1990 рр. , на посту р. Псел - м. Гадяч таке збільшення склало безмал 9 %, а на посту р. Псел - с. Запсілля відбулося зменшення екстремумів мінімальних витрат води – на 17,7 %. Найбільші величини мінімумів спостерігалися наприкінці періоду 1961-1990 рр. - на початку періоду 1991-2019 рр. а найменші – на початку періоду 1961-1990 рр. - наприкінці періоду 1991-2019 рр.

Аналіз табл. 5.4, в якій пораховані коефіцієнти варіації C_v та асиметрії C_s для річних мінімумів стоку води р. Псел за багаторічний період та за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. показав, що коефіцієнт варіації C_v мінімумів в середньому за даними 3 постів складає 0.46.

Таблиця 5.4.

Статистичні параметри мінімумів стоку води р. Псел за багаторічний період та за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

Річка – гідрологічний пост	Коефіцієнт варіації C_v	Коефіцієнт асиметрії C_s	Коефіцієнт варіації C_v		Коефіцієнт асиметрії C_s	
	1961-2019 рр.		1961- 1990 рр.	1991- 2019 рр.	1961- 1990 рр.	1991- 2019 рр.
р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	0,44	0,57	0,59	0,25	1,39	-0,11
р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)	0,49	0,69	0,54	0,45	0,82	0,68
р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$)	0,45	0,53	0,49	0,40	0,79	-0,37

Варіювання річних мінімумів у сучасний період 1991-2019 рр. зменшилася ($C_v=0,36$) у порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990

рр. ($C_v=0,54$). За досліджувані періоди (кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.) змінилася симетричність рядів. Якщо в період кліматичної норми в рядах переважали мінімуми нижче норми (середній показник коефіцієнта асиметрії $C_s = 1,0$), то розподіл мінімумів в сучасний період майже симетричний (середній показник $C_s = 0,07$).

Висновки до 5 розділу

Аналіз багаторічної мінливості екстремумів максимального та мінімального стоку води р. Псел та тенденцій їх змін, а також порівняння середніх значень рядів годових максимумів та мінімумів та статистичних параметрів - коефіцієнтів варіації C_v та асиметрії C_s , за багаторічний період і за періоди кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. показав наступне:

- в сучасний період відбулося зменшення максимумів в середньому на 42 % в порівнянні з періодом 1961-1990 рр. Найбільші екстремуми максимумів спостерігалися в період кліматичної норми в 1970, 1963, 1964, 1971, 1980 рр., а найменші в сучасний період 1991-2019 рр. – в 2007, 2009, 2011, 2014, 2015 рр. Коефіцієнт варіації максимумів стоку води р. Псел в період кліматичної норми 1961-1990 рр. дорівнює $C_v = 0,82$, а сучасний період він зменшився, $C_v = 0,69$. Коефіцієнти асиметрії C_s мають позитивні значення за два досліджувані періоди, тобто в рядах переважають максимумами невеликі за своїми величинами.
- в сучасний період виявляється незначне збільшення середніх значень екстремумів мінімумів в середньому на 5,5 % в порівнянні з періодом 1961-1990 рр. Найбільші величини мінімумів спостерігалися наприкінці періоду 1961-1990 рр. - на початку періоду 1991-2019 рр. а найменші – на початку періоду 1961-1990 рр. - наприкінці періоду 1991-2019 рр. Варіація річних мінімумів у сучасний період 1991-2019 рр. зменшилася ($C_v=0,36$) у порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. ($C_v=0,54$). Щодо

коефіцієнтів асиметрії C_s рядів за досліджувані періоди, то у період кліматичної норми переважали мінімуми нижче норми, $C_s = 1,0$, то розподіл мінімумів в сучасний період майже симетричний, $C_s = 0,07$.

ВИСНОВКИ

Мета та всі завдання кваліфікаційної магістерської роботи на тему «Аналіз впливу кліматичних змін на водний баланс та екстремальний водний стік в басейні р. Псел» виконано, що дозволило зробити **наступні висновки**.

1. Річка Псел – ліва притока р. Дніпро протікає через території російської федерації та України. Понад 70% як довжини (520 км з загальної довжини 717 км), так й площі басейну (16270 км^2 з загальної площі 22800 км^2) знаходиться в Україні. Витік в межах Середньоросійської височини на висоті 229 м над рівнем моря, гирло - в межах Придніпровської низовини, найнижча відмітка – 64 м. Отже, похил річки 0.23 м/км, що свідчить про рівнинний характер р. Псел. Озерність (0,15-0,2%) та заболоченість (2-3 %) басейну незначна, лісистість $\approx$ 8-10%. Клімат басейну визначається розташуванням його у межах лісостепової природної зони України, який відноситься до помірно-континентального.

Річка Псел має мішаний тип живлення з переважанням снігового. Частка снігового живлення становить понад 50 %, а в окремі роки – до 80 %. Частка дощового найменша – 10-15 %. Значним джерелом живлення є підземне – до 30-35 %. Основними фазами водного режиму є водопілля, літня та зимова межень. Паводки трапляються лише в окремі роки.

2. Огляд водно-балансових і статистичних методів в контексті виконання представленої кваліфікаційної магістерської роботи показав, що ефективне використання саме цих методів здатне посилити аргументацію, підвищити достовірність результатів та переконливість наукових висновків стосовно вивчення ефектів глобального потепління на водний баланс та екстремальний водний стік в досліджуваному басейні р. Псел.

3. Відповідно до вибраних методів дослідження використано дані як метеорологічних, так й та гідрологічних спостережень за період 1961-2019 рр:

з 8 метеорологічних станцій (Суми, Ромни, Гадяч, Лебедин, Чернеччина, Миргород, Запсілля, Кобеляки) за показниками – середні місячні суми опадів (мм), середні місячні температури повітря ($^{\circ}\text{C}$), середні місячні величини парціального тиску водяної пари (гПа) та з 3 гідрологічних постів (р. Псел – м. Суми; р. Псел – м. Гадяч; р. Псел – с. Запсілля) – середні місячні, максимальні та мінімальні річні витрат води ($\text{м}^3/\text{с}$).

4. Оцінка часової мінливості метеорологічних показників в басейні р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. показав, що середня річна температура повітря в сучасний період підвищилася в середньому на $0,8^{\circ}\text{C}$, відбулося й збільшення парціального тиску водяної пари на 0,4 гПа, а середня річна сума атмосферних опадів в сучасний період зменшилася на 11,4 мм. Порівняння середніх річних шарів стоку води р. Псел на 3 гідрологічних постах показав, що річний шар стоку зменшився в сучасний період в середньому на 17,4 мм.

Розрахунок водних балансів річкових басейнів р. Псел – м. Суми; р. Псел – м. Гадяч; р. Псел – с. Запсілля показав, що в сучасний період 1991-2019 рр. в порівнянні з періодом кліматичної норми 1961-1990 рр. спостерігаються наступні зміни в їх кількісній структурі: зменшення кількості опадів на 8-15 мм, зменшення річкового стоку води на 15-19 мм, збільшення величин сумарного випаровування на 4-9 мм. Аналіз водно-балансових співвідношень в басейні р. Псел за два досліджувані періоди показав, що в період кліматичної норми коефіцієнт стоку був більшим (16,5 %), ніж в сучасний період (13,6 %), а коефіцієнт посушливості, відповідно навпаки, в період кліматичної норми був 83,5 %, а в сучасний період – 86,4%. А це означає, що в басейні р. Псел в сучасний період відбувся «перерозподіл» об'ємів води атмосферних опадів в бік сумарного випаровування зі зменшенням об'ємів води, що йдуть на формування стоку води.

5. Вивчення екстремумів максимального стоку води р. Псел та тенденцій їх змін за періоди 1961-1990 рр. та 1991-2019 рр. показав, що в сучасний період відбулося значне зменшення максимумів в середньому в 2,4 рази щодо періоду

кліматичної норми. Коефіцієнт їх варіації в період кліматичної норми $C_v = 0,82$, а сучасний період він зменшився, $C_v = 0,69$. Коефіцієнти асиметрії C_s за два досліджувані періоди показують переважання невеликих за своїми величинами максимумів.

Аналіз екстремумів мінімального стоку води р. Псел показав, що в сучасний період виявляється незначне збільшення екстремумів мінімумів в середньому на 5,5 % в порівнянні з періодом 1961-1990 рр. Найбільші величини річних мінімумів спостерігалися наприкінці періоду 1961-1990 рр.- на початку періоду 1991-2019 рр., а найменші – на початку періоду 1961-1990 рр. - наприкінці періоду 1991-2019 рр. Варіація річних мінімумів у сучасний період зменшилася ($C_v = 0,36$) у порівнянні з періодом кліматичної норми ($C_v = 0,54$). Щодо коефіцієнтів асиметрії C_s рядів за досліджувані періоди, то якщо у період кліматичної норми переважали мінімуми нижче норми ($C_s = 1,0$), то розподіл мінімумів в сучасний період майже симетричний ($C_s = 0,07$).

Отримані у даному дослідженні результати свідчать, що зміна клімату матиме суттєвий вплив на водний баланс та екстремальний водний стік в басейні р. Псел. Найважливішими кліматичними показниками, які впливають на зволоження території, є температура повітря та атмосферні опади. Кількість атмосферних опадів в структурі водного балансу досліджуваного басейну в сучасний період у порівнянні з періодом кліматичної норми зменшилася, величини сумарного випаровування збільшилися, що зменшило надходження води до річок. Отже, зростання ресурсів тепла на фоні зменшення ресурсів зволоження в сучасний період призвело до значного зменшення водних ресурсів, до внутрішньорічного перерозподілу стоку води, до зменшення максимумів та збільшення мінімумів стоку води р. Псел.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проекту). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с. URL: <https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2021/06/analiz-vplyvu-vodni-resursy-full.pdf>
2. Басейн р. Псел на гідрографічній мапі України. URL: https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/a8/Басейн_річки_Псел.jpg
3. Використання статистичних методів у дипломній роботі: приклади та поради. URL: <https://na5ku.com.ua/uk/vikoristannya-statistichnih-metodiv-u-diplomnij-roboti-prikladi-ta-poradi/>
4. Вишневський В. І. Річки і водойми України. Стан і використання / В. І. Вишневський – Київ: Віпол, 2000. 376 с.
5. Вишневський В. І., Куций А. В. Багаторічні зміни водного режиму річок України. Київ: Наукова думка, 2022. 252 с. URL: <https://er.nau.edu.ua/handle/NAU/56293>
6. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. К.: Ніка-Центр, 2003. С. 90-127.
7. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). – К. : Ніка-Центр, 2010. 316 с.
8. Екстремальні гідрологічні явища на річках Півдня України: розрахунки і прогнози: монографія /за ред. В.А. Овчарук та Ж. Р. Шакірзанової. Одеса: ОДЕКУ, 2024. 674 с. URL: http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/13144/1/eksrem_gidrolog_yavycha_na_richkax_pivdnia_ukr_monogr_2024.pdf
9. Желєзняк І. М., Корепанова А. П., Масенко Л. Т. та ін. Словник гідронімів України. К.: Наук. думка, 1979. С. 451-452.

10. Загальна гідрологія / В.К. Хільчевський, О.Г. Ободовський, В.В. Гребінь, та ін. К.: ВПЦ «Київський університет», 2008. 399 с. URL: <https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/02/PIDRUCHNYK.pdf>
11. Заставний Ф.Д. Фізична географія України. Львів: Обласний інститут освіти, 1996. 231 с.
12. Зміна гідрологічного режиму в басейні Псла під дією природних та антропогенних чинників. URL: https://pnpu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/03/robota_4.pdf
13. Карта річкових басейнів України. URL: www.dpbuvr.gov.ua/baseynova-karta-ukrainy/
14. Клімат України / під ред. В. М. Ліпінського, В. А. Дячука, В. М. Бабіченко. К.: Вид-во Раєвського, 2003. 343 с.
15. Кліматичні зміни в Україні: проєкції на XXI століття. Інститут географії ім. В. М. Доросенка НАН України. URL: <http://geography.org.ua/naukovi-statti/klimatychni-zminy-v-ukrayini-proektsiyi-na-xxi-stolittya>.
16. Кліматичні характеристики регіонів України. Міністерство екології та природних ресурсів України. URL: <https://menr.gov.ua/content/climatic-characteristics-regions-ukraine>.
17. Лук'янець О. І., Ободовський О. Г., Гребінь В. В. та ін. Просторові закономірності зміни середнього річного стоку води річок України. Український географічний журнал. 2021. № 1. С. 6-14. DOI: <https://doi.org/10.15407/ugz2021.01.006>
18. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Гідрологія річок» / С.О. Москаленко. Київ: ТОВ «ПРО ФОРМАТ», 2024. 46 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/05/met_vkazivky_2024_pr_gidrologiya_richok_25.04_24.pdf
19. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Математичні методи в гідрометеорології» / Упорядник О. І. Лук'янець. К.: ВПЦ «Київський університет», 2010. 60 с.

20. Псел. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Псел>
21. Рельєф України. Навч. посібник/ [Б. О. Вахрушев, І. П. Ковальчук, О. О. Комлев, Я. С. Кравчук, Е. Т. Палієнко, Г. І. Рудько, В. В. Стецюк]; за загальною редакцією В. В. Стецюка. К.: Видавничий дім «Слово», 2010. С. 108-180.
22. Сарнавський С.П. Зміни водно-балансових складових в межах лівобережжя Середнього Дніпра за 1961-2020 рр. // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2023. № 4(70). С. 59-78. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2023.4.5>
23. Хільчевський В. К. Баланс водний // Велика українська енциклопедія. URL: [https://vue.gov.ua/Баланс водний](https://vue.gov.ua/Баланс_водний)
24. Хільчевський В. К., Гребінь В. В. Гідрологія та гідрохімія: навч. посібник. Київ: ДІА, 2025. 352 с. URL: https://www.researchgate.net/publication/392731237_Hilcevskij_VK_Grebin_VV_Gidrologia_ta_gidrohimia_navc_posibnik_-_K_DIA_2025_352_s
25. Хільчевський В.К. Гребінь В.В., Манукало В.О. Гідрологічний словник. Київ: ДІА, 2022. 236 с. URL: https://geo.knu.ua/wp-content/uploads/2024/10/khilchevskiyi-v.k.-et-al._hydrological-dictionary.-16.06.22.pdf
26. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І. Вплив сучасних змін у співвідношенні сніго-дощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли) // Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія, 2019. № 4(55). С. 40-52. URL: <https://doi.org/10.17721/2306-5680.2019.4.3>.
27. Цікаві факти про річку Псел. Господарське використання. URL: https://sm.darg.gov.ua/_cikavi_fakti_pro_richku_psel_0_0_0_1204_1.html
28. Sarnavskiy S. P. Characterization of the physical and geographical conditions of the formation of the flow of the rivers of the left bank of the Middle Dnipro. Modern aspects of natural science research in the context of sustainable

development of society : Scientific monograph. Riga : Baltija Publishing, 2023. P. 377–414. URL: <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-395-8-20>

29. WMO Media Centre, 2015: New Two-Tier approach on «climate normal». URL: <https://public.wmo.int/en/media/news/new-two-tier-approach-climate-normals>

30. WMO, 2007: «The role of climatological normals in a changing climate», World Climate Data and Monitoring Programme - No. 61, WMO-TD № 1377.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Багаторічні зміни метеорологічних показників в басейні р. Псел
(період 1961-2019 рр.)

Температури повітря (°C)

Початок рис. А. 1.



Закінчення рис. А. 1.

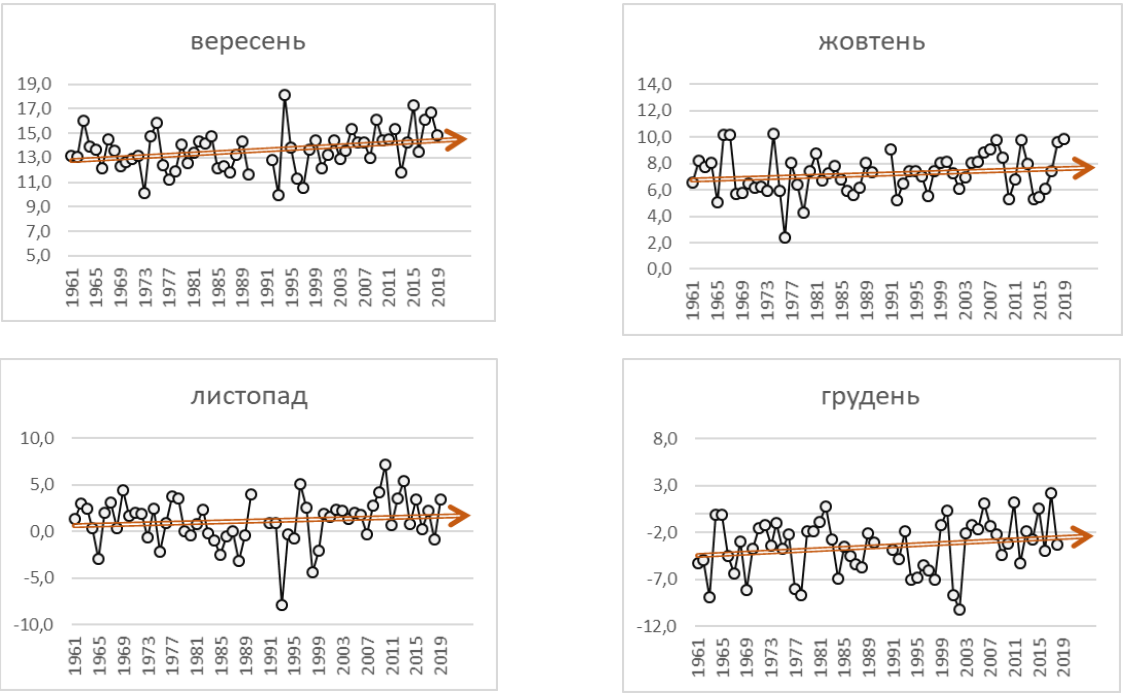


Рис. А.1. Багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої місячної температури повітря (°C) в басейні р. Псел (на графіках –середні значення за даними 8 метеостанцій)

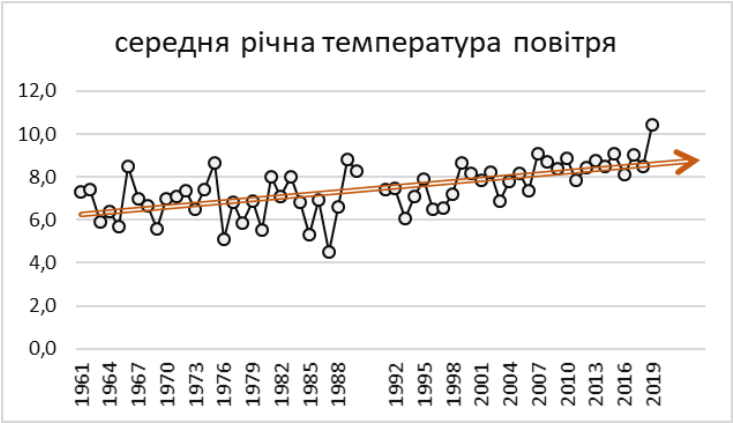
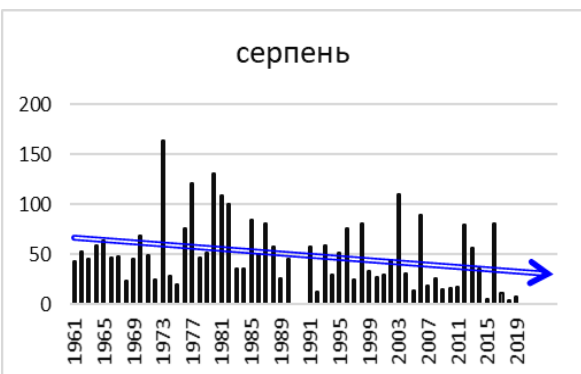
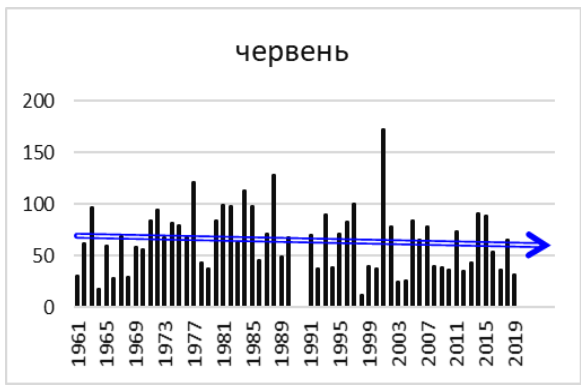
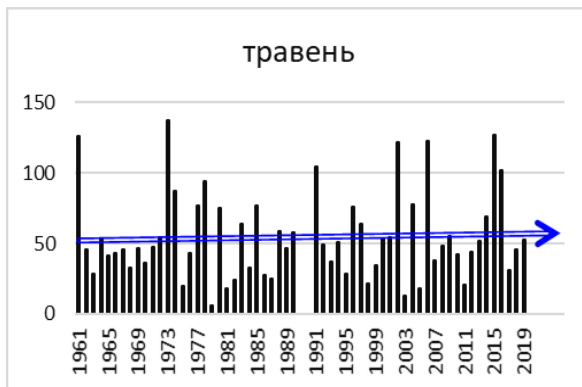
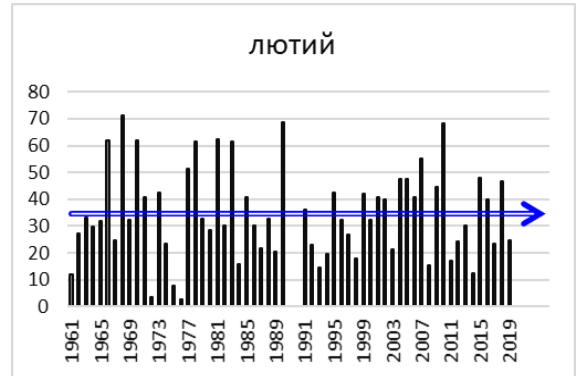
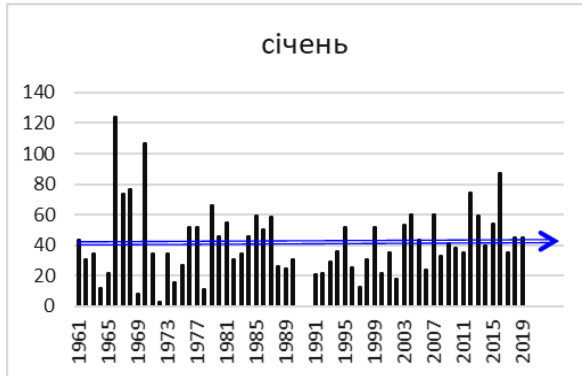


Рис. А.2. Багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої річної температури повітря (°C) в басейні р. Псел (на графіках – середні значення за даними 8 метеостанцій)

Суми опадів (мм)

Початок рис. А. 3.



Закінчення рис. А. 3.

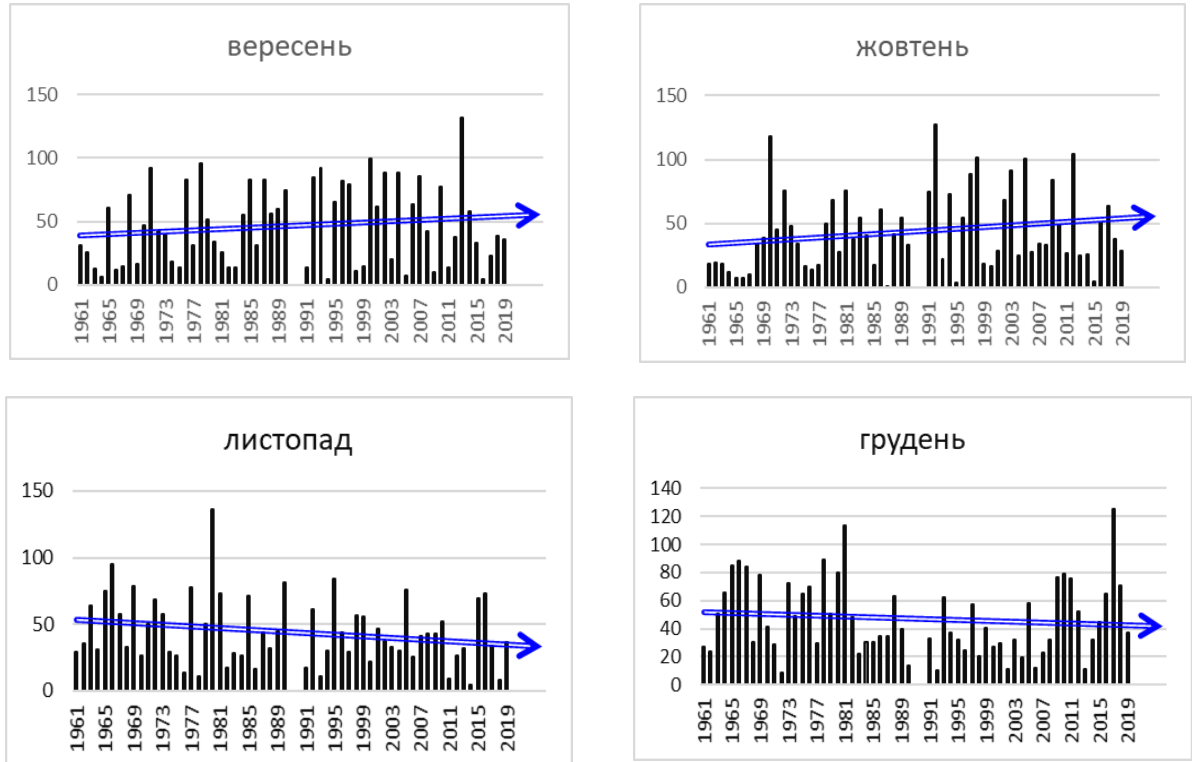


Рис. А.3. Багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої місячної суми опадів (мм) в басейні р. Псел (на графіках – середні значення за даними 8 метеостанцій)

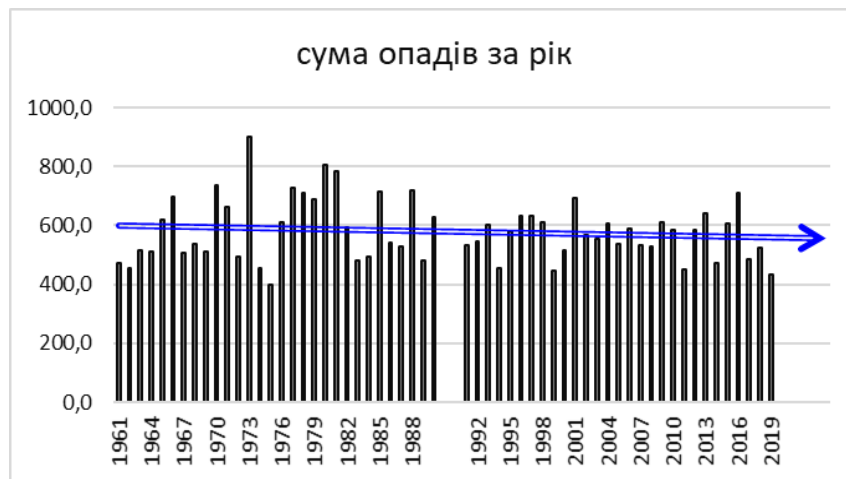


Рис. А.4. Багаторічні зміни за період 1961-2019 р. середньої річної суми опадів (мм) в басейні р. Псел (на графіках – середні значення за даними 8 метеостанцій)

ДОДАТОК Б

**Середні місячні шари стоку води (мм) за періоди кліматичної
норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.
на гідрологічних постах р. Псел**

Таблиця Б.1.

**Розрахунок середніх місячних шарів стоку води (мм) за періоди кліматичної норми
1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр. на гідрологічних постах р. Псел (за
даними спостережень гідрологічних постів м. Суми, м. Гадяч, с. Запсілля)**

Періоди (роки)	місяці											
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)												
Витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$												
1961-1990	14,8	18,3	43,9	93,9	22,9	14,9	14,1	14,8	15,2	15,5	17,1	18,5
1991-2019	16,5	16,7	27,6	43,3	19,5	17,4	16,9	16,3	17,1	18,7	18,9	16,9
Шари стоку води, мм												
1961-1990	5,1	5,7	15,1	31,3	7,9	5,0	4,9	5,1	5,1	5,3	5,7	6,4
1991-2019	5,7	5,2	9,5	14,4	6,7	5,8	5,8	5,6	5,7	6,4	6,3	5,8
р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)												
Витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$												
1961-1990	23,3	27,7	59,9	132,8	34,4	17,5	18,3	16,2	18,2	21,3	23,6	25,6
1991-2019	21,6	24,7	55,0	76,3	31,7	19,6	15,9	14,6	16,4	22,1	24,0	20,9
Шари стоку води, мм												
1961-1990	5,5	6,0	14,2	30,5	8,2	4,0	4,3	3,8	4,2	5,0	5,4	6,1
1991-2019	5,1	5,3	13,0	17,5	7,5	4,5	3,8	3,5	3,8	5,2	5,5	5,0
р. Псел – с. Запсілля ($F=21800 \text{ км}^2$)												
Витрати води, $\text{м}^3/\text{с}$												
1961-1990	37,1	43,1	87,2	189,1	77,7	34,7	29,1	26,3	25,1	30,1	35,8	38,4
1991-2019	33,2	38,4	76,9	130,0	87,1	31,3	21,4	18,1	18,8	28,4	33,5	31,1
Шари стоку води, мм												
1961-1990	4,6	4,8	10,7	22,5	9,6	4,1	3,6	3,2	3,0	3,7	4,3	4,7
1991-2019	4,0	4,2	9,2	15,0	10,4	3,6	2,6	2,2	2,2	3,4	3,9	3,7

ДОДАТОК В

Розрахунки складових водного балансу для річкових басейнів р. Псел

Атмосферні опади – P , мм

Таблиця В.1

Середні багаторічні кількості атмосферних опадів P за два періоди – кліматичної
норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

басейн р. Псел – м. Суми

	1961 - 1990		опади										
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	рік
Суми	42,2	33,1	36,8	38,1	54,1	67,7	76,6	61,4	44,7	37,3	51,1	51,7	594,8
Ромни	33,8	36,1	32,9	44,1	49,9	64,2	69,9	59,8	42,1	31,8	37,6	36,8	539,0
Лебедин	38,5	32,8	35,3	40,0	48,6	69,4	77,8	59,4	44,0	35,9	46,0	46,7	574,5
серед.	38,2	34,0	35,0	40,7	50,9	67,1	74,8	60,2	43,6	35,0	44,9	45,1	569,4
	1991 - 2019		опади										
Суми	38,3	32,7	40,0	35,6	60,3	57,8	72,8	43,0	49,1	49,3	38,4	40,7	558,0
Ромни	44,8	42,3	45,8	33,5	60,6	66,2	67,6	52,0	42,7	44,5	40,9	38,5	579,4
Лебедин	38,5	30,5	37,8	34,9	55,6	55,3	71,8	37,5	46,9	44,7	35,1	38,3	526,9
серед.	40,5	35,2	41,2	34,7	58,8	59,8	70,7	44,2	46,2	46,2	38,1	39,2	554,8

Таблиця В.2

Середні багаторічні кількості атмосферних опадів P за два періоди – кліматичної
норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

басейн р. Псел – м. Гадяч

	1961 - 1990		опади										
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	рік
Суми	42,2	33,1	36,8	38,1	54,1	67,7	76,6	61,4	44,7	37,3	51,1	51,7	594,8
Ромни	33,8	36,1	32,9	44,1	49,9	64,2	69,9	59,8	42,1	31,8	37,6	36,8	539,0
Гадяч	48,1	40,5	42,1	40,3	54,3	73,2	84,5	61,4	40,5	36,5	50,8	56,4	628,5
Лебеди	38,5	32,8	35,3	40,0	48,6	69,4	77,8	59,4	44,0	35,9	46,0	46,7	574,5
Чернеч	45,5	35,5	34,3	41,6	49,4	59	62,2	59	48	43,2	46,3	45,8	569,8
Миргород	37,8	39,7	39,9	34,8	51,2	60,2	63,4	44,3	38,8	30,6	42,2	30,3	513,2
серед.	41,0	36,3	36,9	39,8	51,3	65,6	72,4	57,5	43,0	35,9	45,7	44,6	570,0
	1991 - 2019		опади										
Суми	38,3	32,7	40,0	35,6	60,3	57,8	72,8	43,0	49,1	49,3	38,4	40,7	558,0
Ромни	44,8	42,3	45,8	33,5	60,6	66,2	67,6	52,0	42,7	44,5	40,9	38,5	579,4
Гадяч	45,6	37,6	46,5	35,2	55,1	67,3	68,9	37,0	45,5	51,2	43,4	48,6	581,7
Лебеди	38,5	30,5	37,8	34,9	55,6	55,3	71,8	37,5	46,9	44,7	35,1	38,3	526,9
Чернеч	45,1	39,5	43	36,6	54,4	55,3	60,7	53,4	47,8	40,4	43,9	38,9	559
Миргород	42,1	41,2	38,7	40,4	52,6	57,3	57	49,5	42,2	52,3	44,1	47	564,4
серед.	42,4	37,3	42,0	36,0	56,4	59,9	66,5	45,4	45,7	47,1	41,0	42,0	561,6

Таблиця В.3

**Середні багаторічні кількості атмосферних опадів P за два періоди – кліматичної
норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.**

басейн р. Псел – с. Запсілля

	1961 - 1990		опад										
	січень	лютий	березень	квітень	травень	червень	липень	серпень	вересень	жовтень	листопад	грудень	рік
Суми	42,2	33,1	36,8	38,1	54,1	67,7	76,6	61,4	44,7	37,3	51,1	51,7	594,8
Ромни	33,8	36,1	32,9	44,1	49,9	64,2	69,9	59,8	42,1	31,8	37,6	36,8	539,0
Гадяч	48,1	40,5	42,1	40,3	54,3	73,2	84,5	61,4	40,5	36,5	50,8	56,4	628,5
Лебедин	38,5	32,8	35,3	40,0	48,6	69,4	77,8	59,4	44,0	35,9	46,0	46,7	574,5
Чернеччи	45,5	35,5	34,3	41,6	49,4	59	62,2	59	48	43,2	46,3	45,8	569,8
Миргород	37,8	39,7	39,9	34,8	51,2	60,2	63,4	44,3	38,8	30,6	42,2	30,3	513,2
Запсілля	40,7	35,5	32	36,5	43,4	51,8	60,8	57,9	46,6	37,3	40,9	37,6	521,0
Кобеляки	37,6	37,5	34,3	35,4	55,8	49,4	57,9	47,8	36,6	35,1	32,9	38,3	498,6
серед.	40,5	36,3	36,0	38,8	50,8	61,9	69,1	56,4	42,7	35,9	43,5	42,9	554,9
	1991 - 2019		опад										
Суми	38,3	32,7	40,0	35,6	60,3	57,8	72,8	43,0	49,1	49,3	38,4	40,7	558,0
Ромни	44,8	42,3	45,8	33,5	60,6	66,2	67,6	52,0	42,7	44,5	40,9	38,5	579,4
Гадяч	45,6	37,6	46,5	35,2	55,1	67,3	68,9	37,0	45,5	51,2	43,4	48,6	581,7
Лебедин	38,5	30,5	37,8	34,9	55,6	55,3	71,8	37,5	46,9	44,7	35,1	38,3	526,9
Чернеччи	45,1	39,5	43	36,6	54,4	55,3	60,7	53,4	47,8	40,4	43,9	38,9	559,0
Миргород	42,1	41,2	38,7	40,4	52,6	57,3	57	49,5	42,2	52,3	44,1	47	564,4
Запсілля	41,5	38,8	36,8	37,8	48,8	57,1	61,4	51,9	42,2	33,9	32,3	33,5	516,0
Кобеляки	38,7	39,4	29,5	32,2	52,9	46,6	37,6	32,7	35,7	50	38,6	29,6	463,5
серед.	41,8	37,7	39,8	35,8	55,0	57,9	62,2	44,6	44,0	45,8	39,6	39,4	543,6

Шари стоку води, мм

Таблиця В.4

**Середні річні шари стоку води R в басейнах р. Псел за два періоди – кліматичної
норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.**

періоди	Шари стоку води за рік, мм		
	басейн р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	басейн р. Псел – м. Гадяч ($F = 11300 \text{ км}^2$)	басейн р. Псел – с. Запсілля ($F = 21800 \text{ км}^2$)
1961 - 1990	102,7	97,2	79,7
1991 – 2019	84,3	83,0	67,1

Сумарне випаровування, мм

Таблиця В.5

Середні річні величини сумарного випаровування E в басейнах р. Псел за два періоди – кліматичної норми 1961-1990 рр. та сучасний період 1991-2019 рр.

періоди	Сумарне випаровування за рік, мм		
	басейн р. Псел – м. Суми ($F = 7770 \text{ км}^2$)	басейн р. Псел – м. Гадяч ($F=11300 \text{ км}^2$)	басейн р. Псел – с. Запсілля ($F =21800 \text{ км}^2$)
1961 - 1990	[569-103=] 467	[570-97=] 473	[555-80=] 475
1991 – 2019	[555-83=] 472	[562-80=] 482	[544-64=] 479