

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

Навчально-науковий  
Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра гідрології суші

**Кваліфікаційна робота бакалавра**

на тему: ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВНУТРІШНЬОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ  
СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Виконала студентка групи ГО-19  
спеціальності 103 Науки про Землю  
Сусанна ВОЛКОВА

---

Керівник канд. геогр. наук,  
старший викладач  
Ангеліна ДОКУС

---

Консультант \_\_\_\_\_

---


Рецензент д-р екон. наук, проф.  
Микола СЕРБОВ

---

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

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

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Т.в.о. завідувач кафедри гідрології суші  
д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А. 

« 01 » травня 2023 року

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

студенту(ці) Сусанні ВОЛКОВІЙ  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг

керівник роботи Ангеліна ДОКУС, канд. геогр. наук  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від «29» квітня 2023 року № 53 «С»

2. Строк подання студентом роботи 05.06.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи середньорічні та середньомісячні гідрометеорологічні дані (опади, температура повітря, вологість повітря, витрати (рівні) води), морфометричні та басейнові характеристики опорних водозборів в басейні р. Південний Буг.

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

1) вивчення природних умов формування річного стоку в басейні р. Південний Буг, кліматична характеристика басейну, гідрометеорологічна вивченість басейну;

2) гідрологічний режим р. Південний Буг;

3) визначення складових водного балансу в басейні р. Південний Буг (з 1980 по 2020 рр.);

4) вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг в басейні.

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

Фізико-географічна картосхема басейну р. Південний Буг, карта ґрунтів і рослинності, гідрографічна мережа р. Південний Буг, гідрометеорологічна вивченість території, хронологічні графіки ходу рівнів і витрат води за багаторічний період (станом на 2020 р.).

## Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 01 травня 2023 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Природні умови формування річного стоку в басейні р. Південний Буг.	01.05-07.05	90	відмінно
2	Основні гідрометеорологічні чинники формування характеристик річного стоку в басейні р. Південний Буг.	08.05-10.05	90	відмінно
3	Методи розрахунку випаровування з поверхні водозбору.	11.05-13.05	90	відмінно
4	<b>Рубіжна атестація</b>			
5	Розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг	14.05-22.05	95	відмінно
6	Вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг	23.05-31.05	85	добре
7	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	01.06-4.06		
8	Перевірка роботи на плагіат	05.06-07.06		
9	Підготовка доповіді, презентації	07.06-14.06		
10	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		90	відмінно

Студент



(підпис)

Сусанна ВОЛКОВА

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи



(підпис)

Ангеліна ДОКУС

(прізвище та ініціали)

## ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	6
1 Фізико-географічна характеристика басейну річки Південний Буг.....	8
1.1 Геологія і рельєф.....	8
1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив.....	10
1.3 Кліматичні умови.....	14
1.4 Гідрометеорологічна вивченість.....	16
1.5 Характеристика водного режиму.....	17
2 Визначення випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг.....	21
2.1 Випаровування, транспірація та сумарне випаровування...	21
2.2 Методи розрахунку випаровування з поверхні водозбору..	26
2.2.1 Метод Пенмана-Монтейта.....	28
2.2.2 Метод А.Р. Костянтинова.....	30
3 Визначення опадів з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг.....	36
3.1 З історії вимірювання атмосферних опадів.....	36
3.2 Вимірювання опадів за рекомендаціями WMO.....	40
3.3 Методи вимірювання опадів.....	42
4 Методи вимірювання рівнів та витрат води на річках.....	47
4.1 Пристрої для вимірювання рівня води.....	47
4.1.1 Пристрої для візуальних вимірювань рівнів води.....	47
4.1.2 Самописці для вимірювань рівнів води.....	48
4.2 Пристрої для вимірювання витрат води.....	50
4.2.1 Вимірювання витрати води за допомогою гідрометричних вертушок.....	50
4.2.2 Розрахунок витрати води арифметичними методами.....	51

4.2.3	Графічні методи розрахунку витрати води.....	52
5	Вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг....	53
5.1	Розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг.....	53
5.1.1	Розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг.....	55
5.1.2	Розрахунок опадів в басейні річки Південний Буг.....	59
5.1.3	Розрахунок шарів стоку в басейні річки Південний Буг..	60
5.2	Зміни клімату в басейні річки Південний Буг.....	61
5.3	Дослідження часових тенденцій гідрометеорологічних характеристик в умовах сучасних кліматичних змін.....	62
5.4	Внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг в умовах змін клімату.....	68
	Висновки.....	72
	Список літератури.....	74
	Додаток.....	78

## ВСТУП

*Актуальність теми.* Зміни клімату, які спостерігаються в останні десятиріччя впливають на всі фази водності річок, тому актуальним завданням є дослідження внутрішньорічного розподілу складових водного балансу в басейні річки Південний Буг з метою оцінки цих змін.

Величина сумарного випаровування з поверхні водозбору є складовою водного балансу та являється однією з найважливіших характеристик у гідрології. Визначення випаровування з поверхні водозбору є досить складною задачею, оскільки, на відміну від опадів та характеристик річкового стоку, систематичні спостереження за випаровуванням на гідрометеорологічній мережі України майже не ведуться. Тому актуальною задачею також є визначення випаровування за допомогою наявних методів.

*Мета роботи.* Визначення складових водного балансу в басейні річки Південний Буг за період з 1980 по 2020 рр. та дослідження впливу змін клімату на внутрішньорічний розподіл цих складових.

*Об'єктом дослідження* є складові водного балансу в басейні річки Південний Буг (з 1980 по 2020 рр.).

*Практичне значення отриманих результатів.* Отримані результати досліджень будуть використані автором у подальших дослідженнях, зокрема, написанні магістерської кваліфікаційної роботи, наукових публікаціях та впровадженні у роботу Гідрометцентру Чорного та Азовського морів.

Тема роботи є складовою частиною наукової тематики кафедри гідрології суші за кафедральною темою «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату» № ДР 0123U101578, 2023-2027 рр.).

*Апробація роботи.* Основні результати були представлені автором на XVIII Всеукраїнській науковій конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології», студентських наукових конференціях Одеського державного екологічного університету (2022, 2023 р.),

підготовлено статтю у матеріалах конференції, на наукових студентських семінарах кафедри гідрології суші у 2021-2023 рр., підготовлено доповіді з презентацією.

Список друкованих праць автора.

1. Докус А.О., Волкова С.Ю., Кочев Б.С. Огляд методів для розрахунку випаровування з поверхні річкових водозборів. Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології», 06 жовтня 2022 року. Житомир: Житомирська політехніка, 2022. С. 73.

2. Докус Ангеліна, Скороход Дмитро, Волкова Сусанна. Випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг та малих річок між Дністром і Південним Бугом. Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти», 15 березня 2023 року, Київ. С.132-135.

3. Волкова Сусанна. Внутрішньорічний розподіл складових водного балансу басейну річки Південний Буг. Матеріали Студентської наукової конференції ОДЕКУ, 10-17 травня 2023 року, Одеса – до друку.

Оригінальність роботи за [Uncheck](#) становить в середньому – 85 %.

## 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Басейн річки Південний Буг відноситься до великих річок басейну Чорного моря. Річка Південний Буг є найбільшою басейн якої повністю розташований у межах території України. Витік річки знаходиться поблизу с. Холодець Хмельницької області і утворюється з боліт Волино-Подільської височини, звідти річка тече на схід і поблизу м. Вінниця змінює напрям на південно-східний. Впадає Південний Буг в Бузький лиман, далі утворює з р. Дніпро Дніпро-Бузький лиман. До основних приток річки відносяться – рр. Рів, Соб, Савранка, Кодима, Сихюха, Інгул. На заході Південний Буг межує з басейном Дністра, на півночі та сході – з басейном Дніпра. Довжина річки становить 806 км. Басейн річки розміщений в межах Хмельницької, Вінницької, Кіровоградської, Черкаської, Миколаївської та Одеської областей. Довжина річки 806 км, площа басейну 63700 км<sup>2</sup> [1]-[5].

### 1.1 Геологія і рельєф

Басейн річки Південний Буг розташований в межах давнього кристалічного фундаменту південно-західної частини Східноєвропейської платформи. Східноєвропейська платформа складається з трьох окремих геологічних структур: Український кристалічний, Волино-Подільська плита, Причорноморська западина.

Рельєф басейну формують глибокі яри, балки та пороги, оскільки Український кристалічний щит, на якому він розташований, є піднятою ділянкою платформи й складається з гірських порід, утворення яких датується докембрійським часом [1]-[5]. Загалом басейн річки Південний Буг розташований на Східноєвропейській рівнині Правобережної частини території України. Басейни річок розташовані в межах Подільської височини, Придніпровської височини та Причорноморської низовини (рис. 1.1). Середня висота водозборів змінюється з північного-заходу на південний схід від 396 до 100 м (рис. 1.2).





## 1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив

*Ґрунтовий покрив* в басейні річки Південний Буг сформувався під впливом взаємодії сукупності факторів – рельєфу, клімату, рослинного покриву, сільськогосподарської діяльності та ін. За характером ґрунтового покриву басейн Південного Бугу належить до лісостепу та степу.

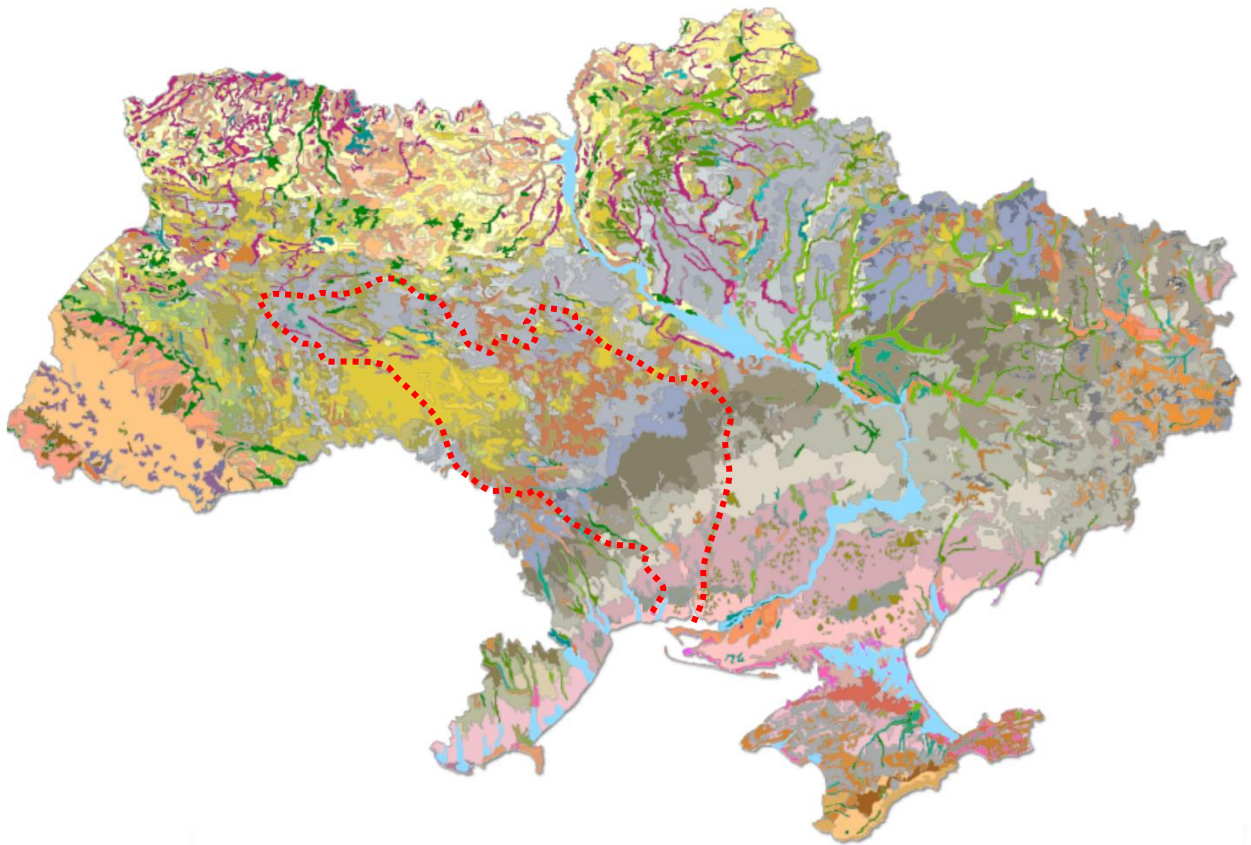
Ґрунти в басейні річки представлені переважно чорноземами серед яких виділяються наступні головні підтипи: чорноземи типові, чорноземи звичайні та чорноземи південні, які послідовно змінюють один одного з півночі на південь. Серед древніх відкладень переважають піски і алювії, переважно суглинисті. У заплавах річки Південний Буг значне поширення мають піщані і супіщані алювіальні відкладення [1]-[5].

У верхів'ї басейну річки Південний Буг ґрунти представлені переважно світло-сірими суглинками, в середній частині басейну – переважно малогумусними чорноземами. На підвищених місцях рельєфу залягають опідзолені чорноземи. Світло-сірі ґрунти найбільш опідзолені та найменш гумусовані серед лісостепових опідзолених ґрунтів. Гумусо-елювіальний горизонт чорноземів опідзолених ґрунтів сягає лише 35 см.

Пануючими ґрунтами на півдні території басейну є чорноземи південні. Карбонатність ґрунтоутворюючих порід в умовах непромивного водного режиму зумовили високу насиченість чорноземів кальцієм.

На крайньому півдні простягнулися темно-каштанові ґрунти. Дана місцевість характеризується рівнинно-плоским слабкодренуючим рельєфом. В пониззі басейну ґрунти переходять в чорноземи слабкосолонцюваті та каштанові.

За механічним складом в басейні річки Південний Буг переважають суглинисті ґрунти різного гранулометричного складу. У нижній частині басейну поширені глинисті, піщані та глинисто-піщані ґрунти [1]-[5]. Картосхема ґрунтового покриву басейну річки Південний Буг представлена на рис. 1.3.



- Дерново-підзолисті ґрунти
  - Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесови
  - Дерново-прихованоїдзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти (борові ліси)
  - Дерново-слабо-середньоїдзолисті піщані та глинисто-піщані ґрунти
  - Дерново-середньо-слабоїдзолисті суліщані і суліщанкові ґрунти
  - Дерново-підзолисті оглеєні ґрунти на давньоалювіальних та воднольодовикових відкладах, морені та лесови
  - Дерново-слабоїдзолисті глейові піщані та глинисто-піщані ґрунти
  - Дерново-середньо- і сильноїдзолисті глейові суліщані та суліщанкові ґрунти
  - Дерново-середньо- і сильноїдзолисті поверхнево-оглеєні переважно суліщанкові ґрунти
- Опідзолені ґрунти
  - Опідзолені ґрунти переважно на лесових породах
  - Ясно-сірі опідзолені ґрунти
  - Сірі опідзолені ґрунти
  - Темно-сірі опідзолені ґрунти
  - Чорноземи опідзолені
  - Опідзолені оглеєні ґрунти переважно на лесових породах
  - Ясно-сірі і сірі опідзолені оглеєні ґрунти
  - Темно-сірі опідзолені оглеєні ґрунти
  - Чорноземи опідзолені оглеєні
- Солонці і солончаки
  - Солонці
  - Солончаки і солончаковий мул
- Оглеєні солонцюваті та осолоділі ґрунти подів і западин
  - Лучно-чорноземні глейові карбонатні ґрунти
  - Лучно-чорноземні оглеєні солонцювато-осолоділі ґрунти
  - Дернові глейові солонцювато-осолоділі ґрунти та солоди
- Чорноземи
  - Чорноземи неглибокі лісостепові на лесових породах
  - Чорноземи неглибокі слабогумусовані та малогумусні
  - Чорноземи глибокі на лесових породах
  - Чорноземи глибокі слабогумусовані
  - Чорноземи глибокі малогумусні
  - Чорноземи глибокі малогумусні карбонатні
  - Чорноземи глибокі малогумусні вилуговані
  - Чорноземи глибокі середньогумусні
  - Чорноземи південні на лесових породах
  - Чорноземи південні слабогумусовані
  - Чорноземи південні слабогумусовані міцелярно-карбонатні
  - Чорноземи на щільних глинах
  - Чорноземи на щільних глинах
  - Чорноземи солонцюваті на щільних глинах
  - Чорноземи переважно щабеноваті на елювії твердих некарбонатних порід
  - Чорноземи переважно щабеноваті на елювії твердих некарбонатних порід
  - Чорноземи переважно щабеноваті на елювії щільних карбонатних порід
  - Чорноземи карбонатні на елювії щільних карбонатних порід
  - Чорноземи глибокі середньогумусні карбонатні
  - Чорноземи глибокі середньогумусні вилуговані
  - Чорноземи звичайні на лесових породах
  - Чорноземи звичайні середньогумусні глибокі
  - Чорноземи звичайні середньогумусні
  - Чорноземи звичайні малогумусні
  - Чорноземи звичайні малогумусні неглибокі
  - Чорноземи звичайні міцелярно-карбонатні на лесових породах
  - Чорноземи звичайні малогумусні глибокі міцелярно-карбонатні
  - Чорноземи звичайні малогумусні міцелярно-карбонатні
  - Чорноземи звичайні малогумусні неглибокі міцелярно-карбонатні
  - Чорноземні глинисто-піщані та суліщанні ґрунти
  - Чорноземні глинисто-піщані та суліщанні ґрунти
  - Чорноземи залишково-солонцюваті на лесових породах
  - Чорноземи звичайні залишково-солонцюваті
  - Чорноземи південні залишково-солонцюваті
  - Чорноземи солонцюваті на нелесових породах
  - Чорноземи солонцюваті на елювії дочетвертинних щільних порід
- Каштанові ґрунти переважно на лесових породах
  - Каштанові солонцюваті ґрунти
  - Лучно-каштанові ґрунти
  - Лучно-каштанові солонцюваті ґрунти
  - Лучні ґрунти на делювіальних та алювіальних відкладах
  - Лучні та чорноземно-лучні ґрунти
  - Лучні та чорноземно-лучні поверхнево-солонцюваті ґрунти
  - Лучні та чорноземно-лучні глибоко-солонцюваті ґрунти
  - Лучно-болотні, болотні ґрунти. Торфовища
    - Лучно-болотні ґрунти на делювіальних та алювіальних відкладах
    - Лучно-болотні ґрунти
    - Лучно-болотні солонцюваті ґрунти
  - Болотні та торфувато-болотні ґрунти на різних породах
  - Болотні та торфувато-болотні ґрунти
  - Болотні солонцюваті ґрунти
  - Торфовища
  - Торфовища низинні та торфопо-болотні ґрунти
- Дернові ґрунти
  - Дернові піщані та глинисто-піщані ґрунти
  - Дернові оглеєні ґрунти
  - Дернові суліщанні та суліщанкові ґрунти
  - Піщані слабоздерновані, слабогумусовані і негумусовані
  - Дернові ґрунти на елювії некарбонатних порід
  - Дернові карбонатні ґрунти переважно на елювії щільних карбонатних порід
  - Дернові опідзолені ґрунти та оглеєні їх види
- Реградовані ґрунти на лесових породах
  - Темно-сірі та сірі реградовані ґрунти
  - Чорноземи реградовані
- Лучно-чорноземні ґрунти переважно на лесовидних породах
  - Лучно-чорноземні ґрунти
  - Лучно-чорноземні поверхнево-солонцюваті ґрунти
  - Лучно-чорноземні глибоко-солонцюваті ґрунти
  - Лучно-чорноземні глибоко-вилуговані (осолоділі) ґрунти западин (в мікроклятих)
- Каштанові ґрунти
  - Темно-каштанові ґрунти переважно на лесових породах
  - Темно-каштанові залишково-солонцюваті ґрунти
  - Темно-каштанові солонцюваті ґрунти

Рисунок 1.3 – Картосхема ґрунтового покриття басейну річки Південний Буг [2]

*Рослинний покрив.* Басейн річки Південний Буг розташований у межах трьох природних фізико-географічних зон: широколистяних лісів, лісостепової та степової зони, які в свою чергу діляться на підзони [1]-[5].

За геоботанічним районуванням [2] територія басейну відноситься до Південнопольсько-Західноподільської підпровінції широколистяних лісів (букових, грабово-дубових і дубових лісів), справжніх та остепнених луків, лучних степів та евтрофних боліт. Частина басейну річки розташована в зоні мішаних лісів та у лісостеповій недостатньо зволоженій теплій зоні в межах Східноєвропейської лісостепової провінції дубових лісів, остепнених луків та лучних степів.

Рослинність представлена переважно грабово-дубовими та дубовими лісами, суходільними та остепненими луками, а також лучними степами. Південна частина території знаходяться в межах степової зони, яка поділена на три підзони: Північностепову, Середньостепову та Південну сухостепову. Степова рослинність представлена засухоустійкими бобово-злаковими різнотравними асоціаціями. Значна частина басейну річки Південний Буг зайнята орними землями, на яких вирощують культурні види рослин [5].

Залісеність в басейні річки Південний Буг не перевищує 19 %. В південно-західній частині басейну залісеність водозборів коливається в межах 1-13 %, в центральній частині басейну – залісеність становить 1-19 % і найменша залісеність спостерігається на півдні досліджуваної території – 1-5 % [1].

Заболоченість території незначна і лише у верхів'ї басейну її значення досягають 11 % (р. Згар – смт Літин). У центральній та південній частині басейну заболоченість майже відсутня, значення в середньому не перевищують 1 % і лише на р. Савранка – с. Осички та на р. Кодима – с. Обжила становлять 2 %.

Озерність на досліджуваному басейні майже відсутня. Середньозважена озерність в басейні річки не перевищує 1 % і лише на деяких малих річках (р. Соб – с. Зозів та р. Згар – смт Літин) досягає 2-3 % відповідно [1].





Показати всі шари

Адміністративні межі

Лісова рослинність Ліси височин і рівнин

Хвойні та широколистяно-хвойні ліси

- Сонової із сосни звичайної (*Pinus silvestris*) місцями в поєднанні з дубово-соновими лісами, болотами і луками
- Сільськогосподарські землі на місці сонових лісів, (ноді) в поєднанні з луками
- Дубово-сонової, рідше грабово-дубово-сонової із сосни звичайної (*Pinus silvestris*), дуба звичайного (*Quercus robur*) (*Saprinus betulus*), місцями в поєднанні з соновими лісами
- Сільськогосподарські землі на місці дубово-сонових лісів, місцями в поєднанні з луками
- Дубово-сонової борових терас річок
- Сільськогосподарські землі на місці дубово-сонових лісів борових терас річок
- Ліптово-дубово-сонової ліси
- Сільськогосподарські землі на місці ліптово-дубово-сонових лісів

Лучні степи

- Західні ковилово-типчаково-різнотравні (*Stipa joannis*, *S. stephanophylla*, *Festuca sulcata*, *Витис прелаті*) і лучно-степове різнотрав'я
- Сільськогосподарські землі на місці лучних степів і остепнених луків
- Сільськогосподарські землі на місці кам'янистих передгірсько-лучних степів
- Криміські прясні різнотравно-злакові лучні степи і остепнені луки (якби)

Справні різнотравно-типчаково-ковилові степи

- Західні різнотравно-типчаково-ковилові
- Сільськогосподарські землі на місці різнотравно-типчаково-ковилових степів
- Сільськогосподарські землі на місці кам'янистих різнотравно- (*Achillea leptophylla*) - типчаково-ковилових степів Донського крику, на сх. поєднанні з цілими степами
- Сільськогосподарські землі на місці різнотравно-типчаково-ковилових степів (*S. portica*, *S. tessingiana*) у поєднанні з кам'янистими степами
- Сільськогосподарські землі в поєднанні з кам'янистими різнотравно-типчаково-ковиловими степами
- Сільськогосподарські землі на місці різнотравно-типчаково-ковилових (*F. Beckleri*, *S. bouzghanica*) псаммофітних степів, терас річок

Типчаково-ковилові степи

- Західні типчаково-ковилові (*S. ucrainica*, *S. lessingiana*)
- Сільськогосподарські землі на місці типчаково-ковилових степів
- Сільськогосподарські землі на місці псаммофітних типчаково-ковилових степів

Пустельні степи

- Полімено-типчаково-ковилові (*Artemisia boschtakiana*, *S. capillata*, *S. lessingiana*) в комплексі з солончакми (здебільше розорані)
- Полімено-злакові (*Artemisia taurica*, *F. sulcata*, *S. lessingiana*, *Agropyron rectifloriforme*), місцями в комплексі з солончакми (здебільше розорані)

Листяні ліси

- Березові з берези бородавчастою (*Betula verrucosa*)
- Вільшові з вільхи клейкої (*Alnus glutinosa*)

Широколистяні ліси

- Букові, дубово-букові та грабово-букові
- Сільськогосподарські землі на місці букових, дубово-букових і грабово-букових лісів
- Дубові з дуба звичайного (*Quercus robur*)
- Грабово-дубові з дуба звичайного (*Quercus robur*) та граба звичайного (*Saprinus betulus*), часто в поєднанні з похідними грабовими лісами
- Клемаво-липтово-дубові з дуба звичайного (*Quercus robur*), липи серцелистої (*Tilia cordata*) і клема гоцтролистої (*Acer platyacoides*)
- Дубові з дуба скельного (*Quercus pubiflora*), місцями в поєднанні з буково-дубовими і буково-грабовими
- Сільськогосподарські землі на місці дубових, грабово-дубових та інших широколистяно-дубових лісів

Болотна рослинність

- Високотравні болота (*Phragmites communis*, *Typha angustifolia*) тривало заповнені луки і деревно-чагарникова рослинність низин Дніпра, Дунаю та інших річок (південь)
- Низинні траїні і траїно-мохові, місцями в поєднанні з лісовими болотами і луками
- Передгірні та верхові сфагнові, лісові сфагнові
- Сільськогосподарські землі і сіяні луки на місці осушення болот

Галофітна і лучно-галофітна

- Рослинність солончаків (*Halostemum strobilaceum*, *Salicornia herbacea*, *Suaeda prostrata* та інші), місцями в комплексі з солонцевою (*Artemisia boschtakiana*, *Sarcophotoma tonsurelascum*, *Limonium albaeum* та інші)
- Лугово-солончакова в поєднанні з рослинністю піску морської узбережжя, перевитими, кос, островами

Псаммофітна рослинність

- Рослинність пісків, місцями в комплексі з піщаними степами, дубовими (*Quercus robur*), березовими (*Betula bouzghanica*), вільховими таїками і посадками сосни

Лучна рослинність

- Карпатські високотрави (*Nardus stricta*, *F. sicula*, *Saxex sempervirens*, *Juncus trifidus*) у поєднанні з чагарниками (*Vaccinium myrtillus*, *Rhododendron kotschy*) і місцями зі стаміником (*Alnus viridis*, *Juncus sibiricus*, *Pinus mugo*)
- Заплавні, місцями в поєднанні з лісами, чагарниками, болотами і сільськогосподарськими землями
- Заплавні солончково-солончаківі в поєднанні з сільськогосподарськими землями
- Сільськогосподарські землі в поєднанні з дубовими лісами і заплавними луками Закарпатської низовини
- Різнотравно-злакові (*Fragaria vesicobovensis*) поде і сільськогосподарські землі на їх місці
- Сільськогосподарські землі на місці кримських різнотравно-злакових луків
- Сільськогосподарські землі в поєднанні з лучно-солончаківі і солончковою рослинністю терас річок

Рисунок 1.4 – Картосхема рослинності басейну річки Південний Буг [2]

### 1.3 Кліматичні умови

Основні риси клімату описуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих факторів. Повітряні маси, які надходять з Атлантики, Арктичного басейну або з великих континентальних територій Євразії визначають часту мінливість погоди, характерну для території України, у тому числі в басейні річки Південний Буг. При надходженні континентального повітря погода відрізняється сухістю, високими температурами у теплу пору року, низькими – у холодну.

Середньорічна температура повітря в басейні річки Південний Буг коливається від 7-8 °С до 9-10 °С з північного заходу на південь (рис. 1.5)

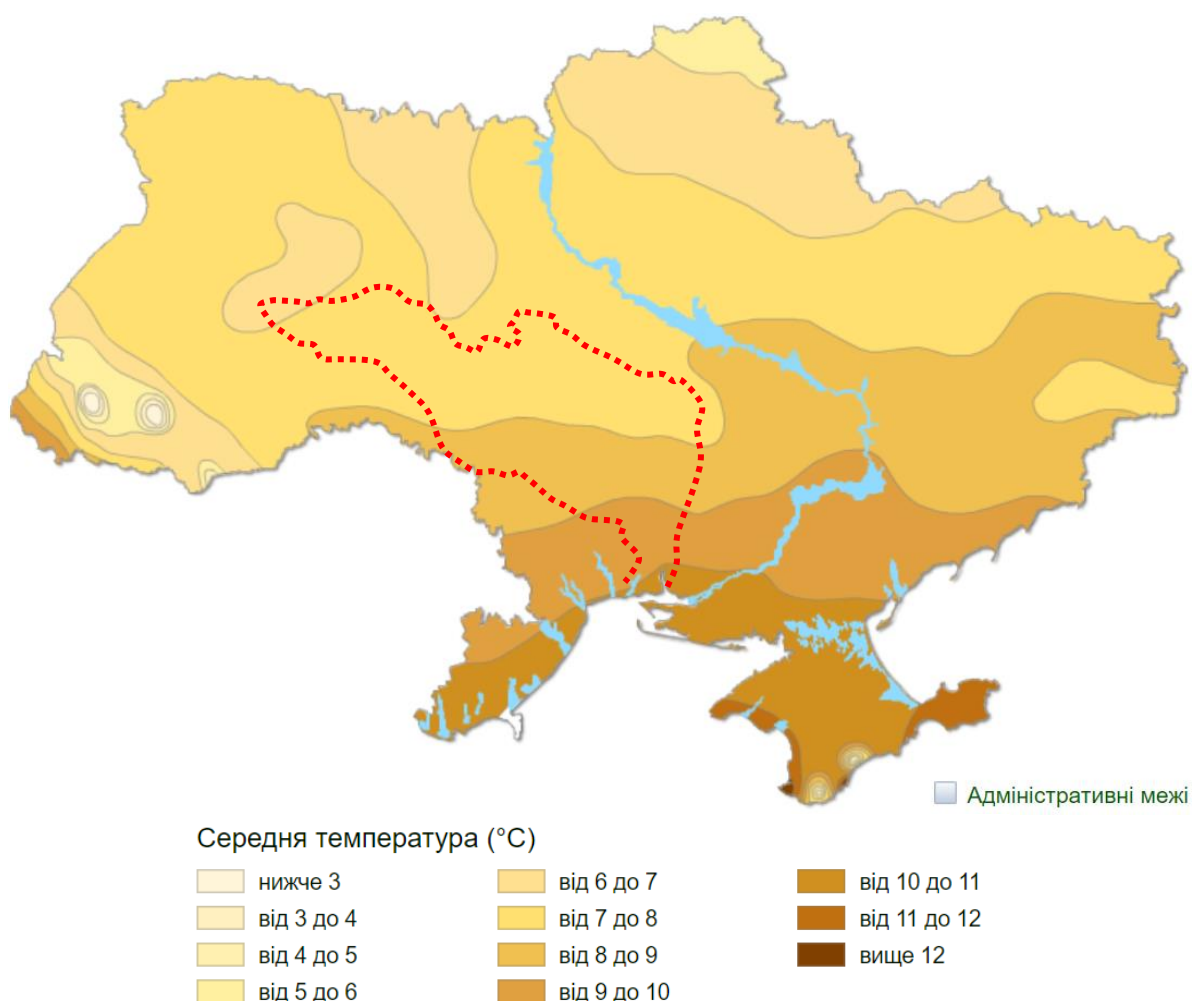


Рисунок 1.5 – Середньорічна температура повітря [2]

Атлантичне повітря зазвичай насичене вологою: взимку воно приносить потепління, влітку – дощі і прохолоду. Найчастіше атлантичні повітряні маси спостерігаються на північному заході території, рідше – на південному сході. Маси арктичного повітря надходять з півночі і північного сходу та приносять похолодання.

Середньорічні атмосферні опади в басейні річки Південний Буг в середньому коливаються від 650-700 мм до 400-450 мм з північного заходу території на південь (рис. 1.6).

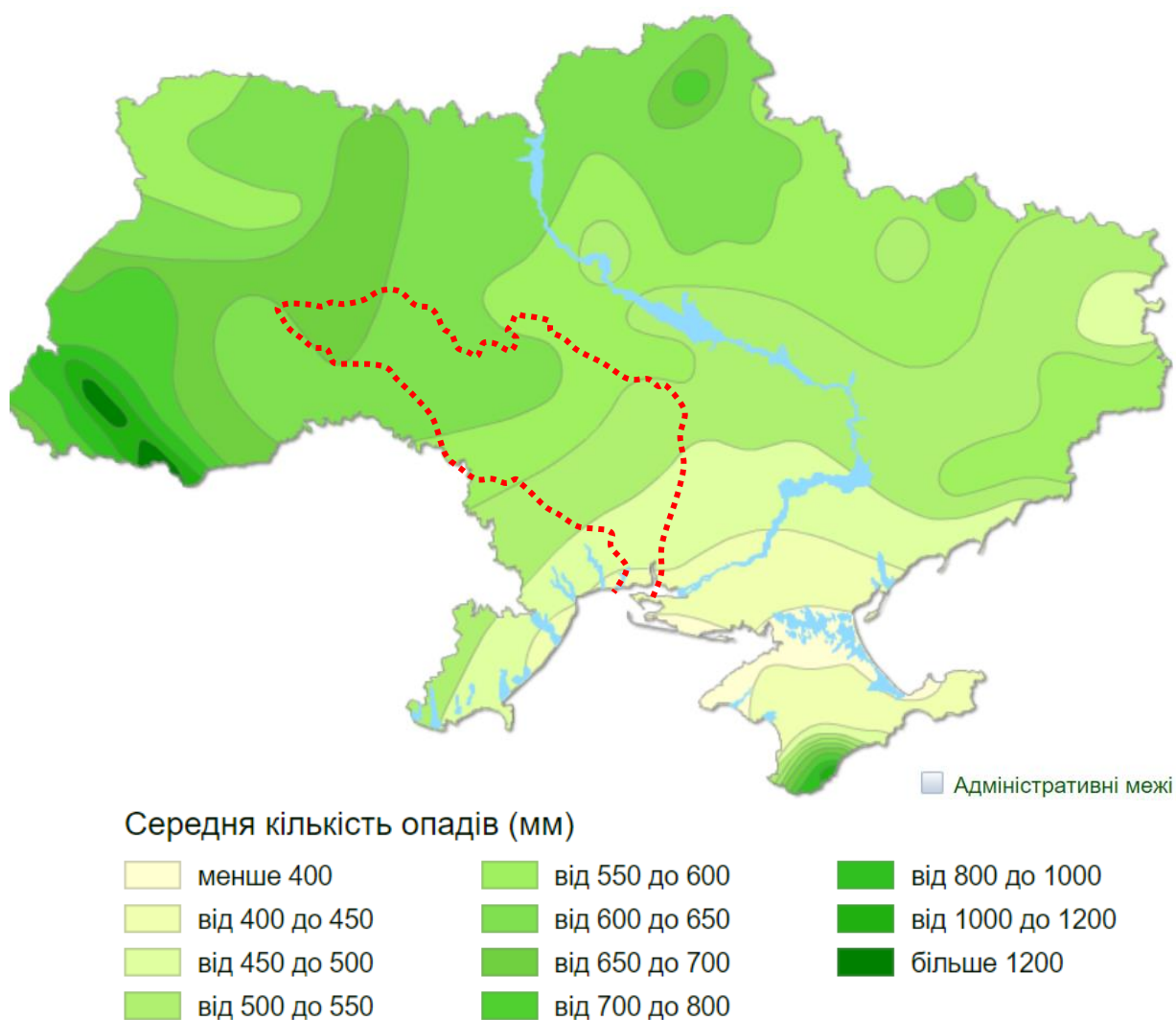


Рисунок 1.6 – Середньорічні атмосферні опади [2]

Іноді сухе холодне повітря, прусуваючись на південь, швидко прогрівається і сприяє розвитку суховіїв [1], [5]. Кліматичні зміни в басейні річки

Південний Буг визначаються, насамперед, коливаннями температури повітря, від якої також безпосередньо залежить і величина сумарного випаровування.

Середня багаторічна норма випаровування з поверхні малих водойм у безльодоставний період в басейні річки Південний Буг коливається від 550-600 мм до 900-950 мм з північного заходу території на південь (рис. 1.7).

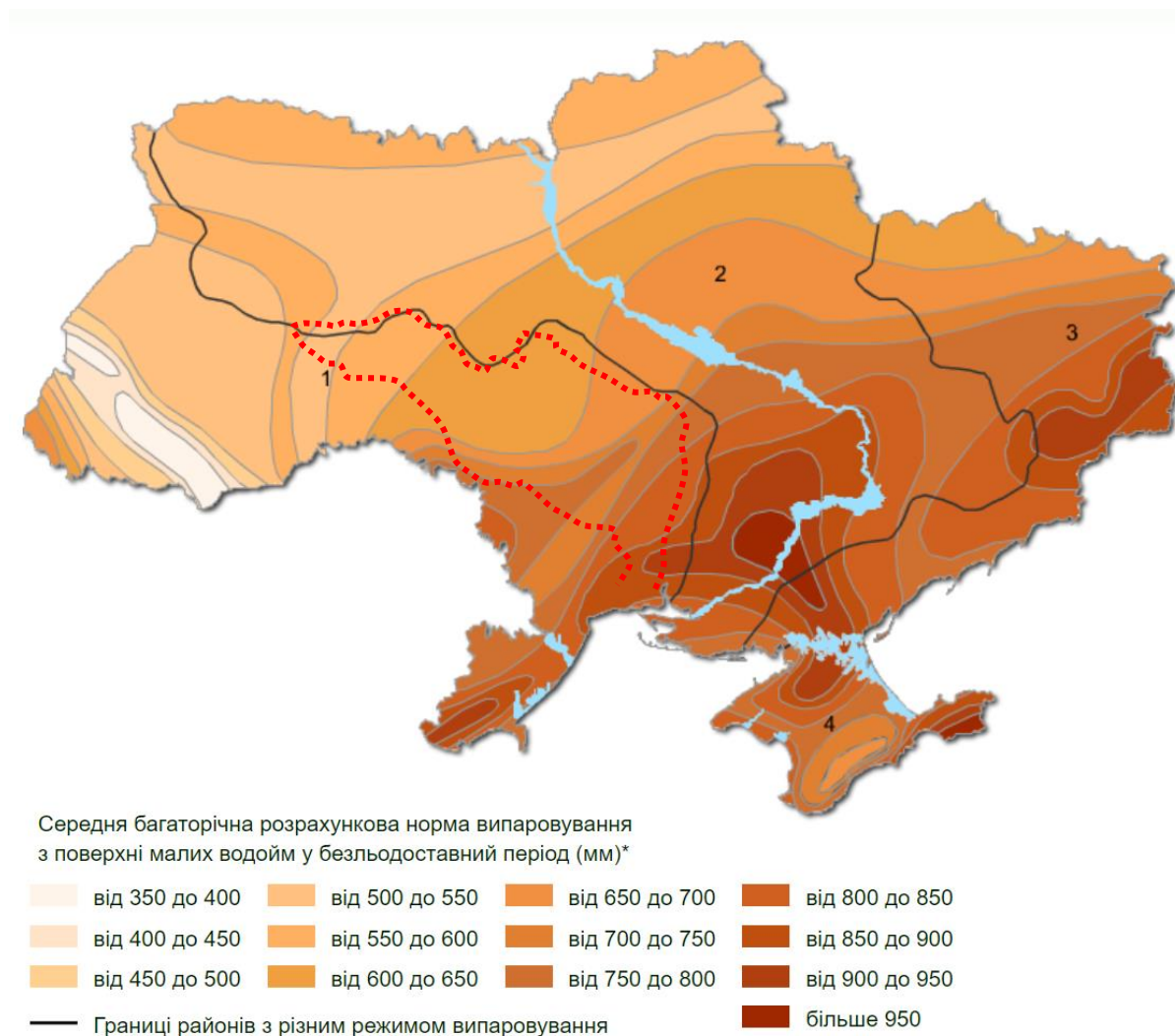


Рисунок 1.7 – Випаровування з поверхні водойм у безльодоставний період [2]

#### 1.4 Гідрометеорологічна вивченість

В басейні річки Південний Буг налічується 1 велика річка Південний Буг, 11 середніх річок загальною довжиною понад 1,6 тис. км та 6582 малі річки [5].



Діапазон водозбірних площ в басейні річки Південний Буг охоплює басейни за розміром від 36,5 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – с. Чорнява) до 46200 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – смт Олександрівка).

Станом на 2023 рік в басейні річки Південний Буг діючими є 24 гідрологічних поста, які мають тривалі часові ряди стокових спостережень. Спостереження за метеорологічними характеристиками весняного водопілля здійснюють 25 метеорологічних станцій рівномірно розташованих по території басейну (рис. 1.10).



▼ – гідрологічний пост; ● – метеорологічна станція

Рисунок 1.10 – Гідрометеорологічна мережа спостережень в басейні річки Південний Буг

### 1.5 Характеристика водного режиму

Річний стік відноситься до категорії основних гідрологічних характеристик та в цілому є інтегральною характеристикою річкового стоку. Річний стік дозволяє оцінювати водні ресурси річкових басейнів, міру їх зволоженості та

водний баланс окремих територій. Дослідження коливань річного стоку у часі і просторі дозволяють робити висновок про можливість і доцільність використання водних ресурсів у сільському господарстві.

Річний стік є базовою характеристикою при розробці нових методів гідрологічних розрахунків. На прикладі річного стоку розробляють більшість гідрологічних моделей, досліджують питання циклічності стоку річок. В основі дослідження зв'язку річкового стоку з кліматичними факторами також лежать дані про річний стік.

Водний режим річки Південний Буг визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території [1], [5]. Досліджуваний басейн знаходиться в різних кліматичних і орографічних умовах, тому процеси формування стоку по території мають певні відмінності. Літня і зимова межінь в басейні річки Південний Буг переважно характеризується стійкістю, маловодістю і значною тривалістю; осінні підйоми рівнів води спостерігаються після зливових дощів; часто межінь порушується невеликими дощовими паводками; весною на річках, за наявності снігового покриву взимку, спостерігається виражене весняне водопілля (рис. 1.11).

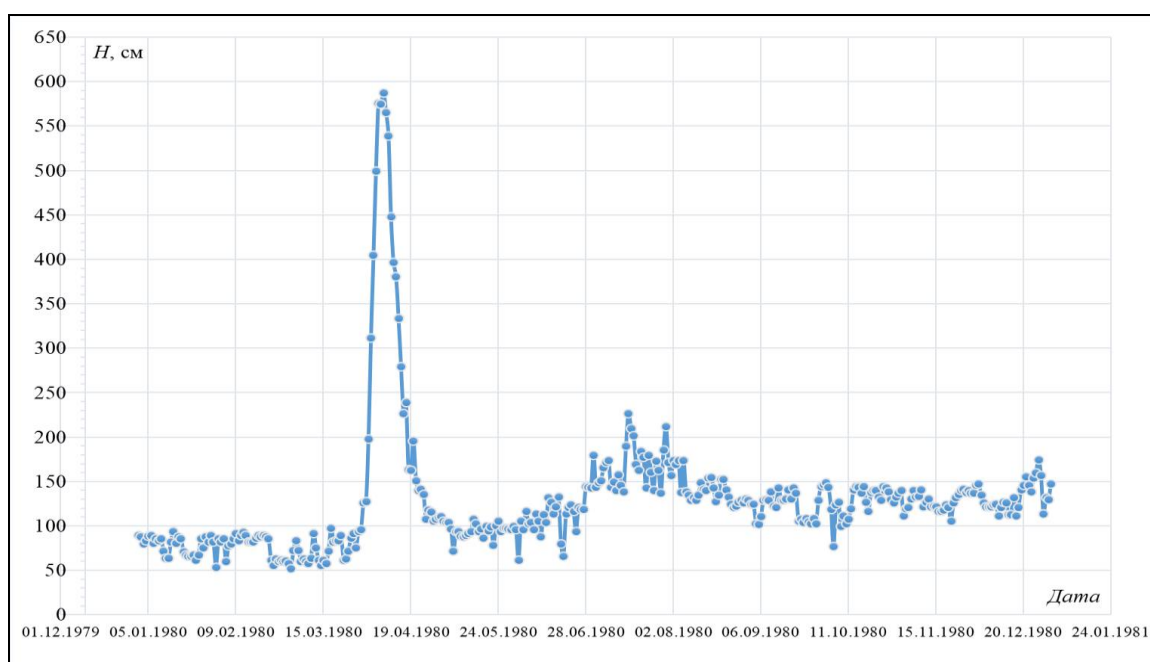


Рисунок 1.11 – Хід рівнів води в басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик

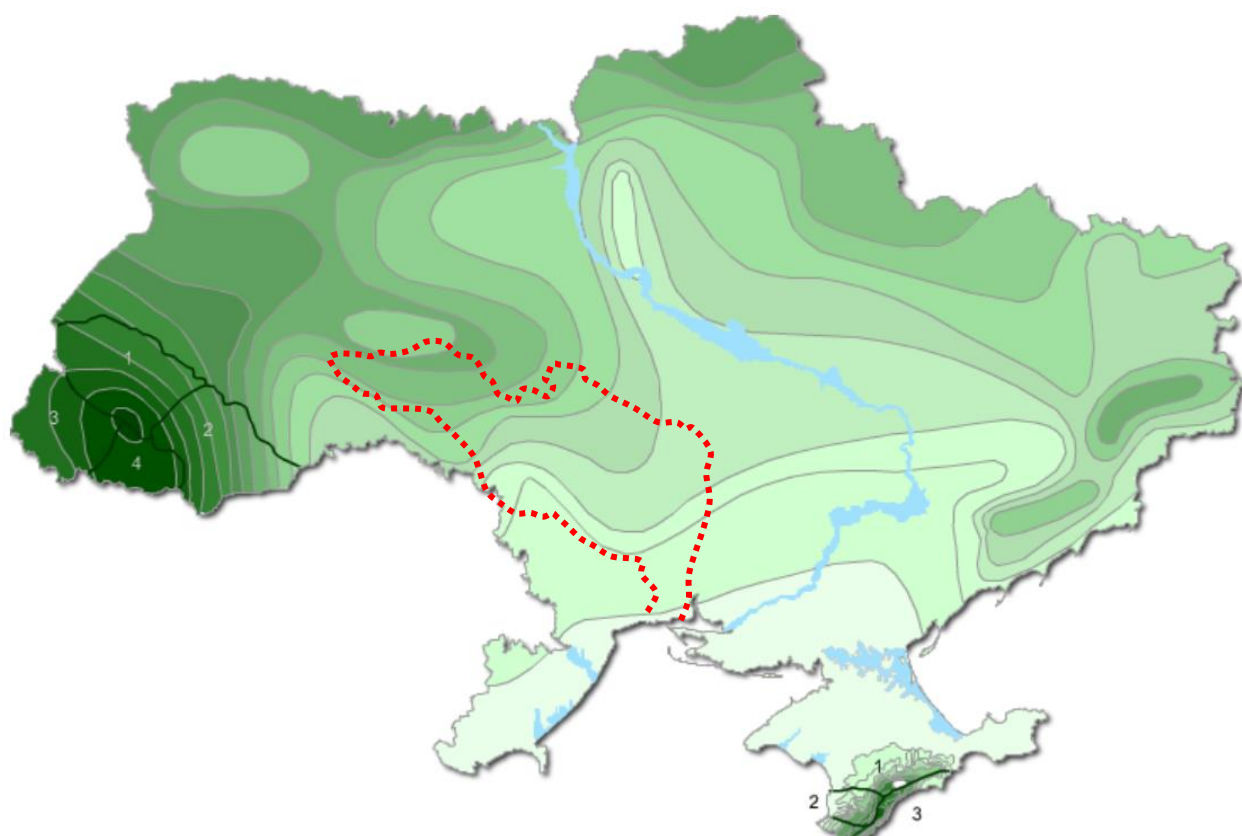
у 1980 р. Річний хід рівнів води на річках у різних гідрологічних районах дещо відрізняється. Гідрографи річного стоку та хід рівнів води у верхів'ї басейну в багаторічному розрізі характеризуються вираженим весняним водопіллям, зимовою та літньо-осінньою меженню та осінніми паводками. В середній частині басейну та на півдні території часто спостерігається не виражене весняне водопілля.

За районуванням річкових водозборів України за типами внутрішньорічного розподілу стоку води [6] басейн річки Південний Буг відноситься до трьох районів: IV – Дністерсько-Бузького району, V – Бузько-Донецького району та VIII – Причорноморського району (рис. 1.12).



Рисунок 1.12 – Районування річкових водозборів України за типами внутрішньорічного розподілу стоку води [6]

Значення середнього річного стоку в басейні річки Південний Буг коливаються від 5-6 літр/сек з км<sup>2</sup> до менше 0,5 літр/сек з км<sup>2</sup> з північного заходу території на південь (рис. 1.13).



Середній річний стік річок (літр/сек з км<sup>2</sup>)

менше 0,5	від 5,0 до 6,0
від 0,5 до 1,5	від 6,0 до 8,0
від 1,5 до 2,0	від 8,0 до 10,0
від 2,0 до 2,5	від 10,0 до 15,0
від 2,5 до 3,0	від 15,0 до 20,0
від 3,0 до 3,5	від 20,0 до 30,0
від 3,5 до 4,0	більше 30,0
від 4,0 до 5,0	

Рисунок 1.13 – Середній річний стік річок України [2]

## 2 ВИЗНАЧЕННЯ ВИПАРОВУВАННЯ З ПОВЕРХНІ ВОДОЗБОРУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Для розв'язання практичних питань, що виникають при проектуванні гідротехнічних та агролісомеліоративних заходів необхідні відомості про випаровування з великих територій. При цьому оперують зазвичай із середніми багаторічними величинами випаровування (нормами), які можна визначити лише при використанні різних гідрометеорологічних характеристик, виміряних за минулі роки [7], [8].

Звичайно, що в таких випадках методи випарників та турбулентної дифузії не можуть бути використані. Для цих цілей вдаються до методів, заснованих на використанні рівнянь водного або теплового балансів, до методу, що базується на спільному розгляді складових водного та теплового балансів, а також до різних емпіричних формул та графіків [7].

Для розрахунку величин випаровування для порівняно великої території (область, район, територія окремого господарства) необхідно мати просту і водночас досить надійну методику визначення. Отримання характеристик розподілу випаровування за даними безпосередніх вимірів цього елемента для великих територій виявляється неможливим через недостатню густоту мережі станцій (або взагалі її відсутність) та відсутності необхідної тривалості періоду спостережень. Різні емпіричні методи розрахунку випаровування, як правило, не мають потрібної точності.

### 2.1 Випаровування, транспірація та сумарне випаровування

Однією з найважливіших характеристик в гідрології є величина сумарного випаровування з поверхні річкового водозбору. Для багатьох водогосподарських потреб вкрай важливо знати величини річного сумарного випаровування та його сезонного ходу, особливо з поверхні сільськогосподарських угідь та річкових водозборів [7], [8].



Сумарне випаровування впливає на водний баланс річкових водозборів, планування водних ресурсів та технології режимів зрошення, а через них і на врожайність сільськогосподарських культур. Його величина разом з опадами є вхідною інформацією для більшості гідрологічних та водно-балансових моделей. Сумарне випаровування  $E$  витрачається на транспірацію рослинами  $E_T$  та випаровування ґрунтом  $E_n$ . Визначити складові транспірації  $E_T$  та випаровування з ґрунту  $E_n$  доволі складно, тому їх зазвичай визначають як єдине ціле ( $E = E_T + E_n$ ).

Випаровування та транспірація – це одні з основних елементів гідрологічного циклу (рис 2.1). Під час повені чи паводку ці втрати дуже незначні, і ними можна знехтувати. В основному випаровування та транспірація мають місце в період між багатоводними фазами (явищами) стоку, які зазвичай є тривалими [8].

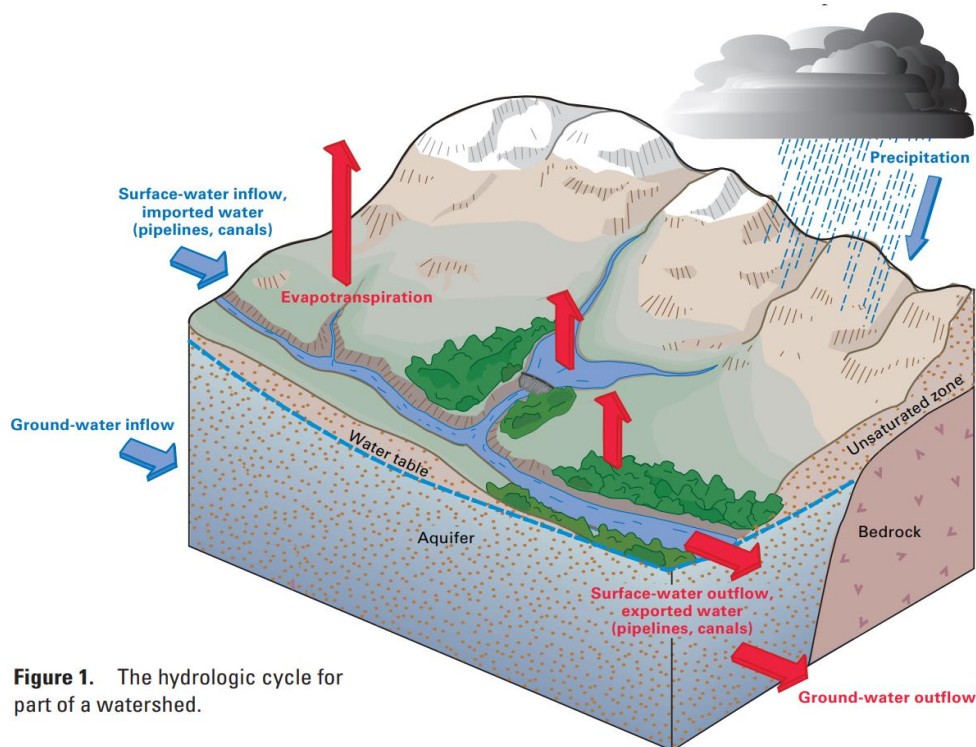


Рисунок 2.1 – Гідрологічний цикл на водозборі [7]

*Випаровування* – це процес переходу води з рідкого або твердого стану в газоподібний за допомогою перетворення теплової енергії. Випаровування є настільки важливим процесом гідрологічного циклу, що на материках приблизно 70-75 % загальної річної кількості опадів повертається в атмосферу через випаровування і транспірацію [8].

У зонах зі спекотним кліматом втрати води через випаровування з поверхні річок, каналів та відкритих сховищ води життєвоважливі, оскільки на випаровування витрачається значна частина всіх наявних водних ресурсів. Навіть у вологих районах втрати на випаровування значні, хоча сумарна кількість опадів перебиває їх, тому зазвичай ними нехтують, крім періодів без опадів.

Велика кількість вологи випаровується з водосховищ, які являють собою великі поверхні. Зазвичай на водосховищах саме випаровування є головним джерелом втрати, хоча подекуди вони можуть і зменшувати природне випаровування, обмежуючи повені в глибоких водосховищах замість розливу в заплавах.

Фактори, що впливають на випаровування з поверхні водозбору відомі вже довгий час, але оцінювати їх досить складно через їхні взаємозалежні ефекти. На випаровування впливають: температура та вологість повітря, вітер, атмосферний тиск, тип ґрунту та вид ландшафту, а також форма поверхні водозбору.

*Транспірація* – це природний процес, пов'язаний з фізіологією рослин, при якому вода поглинається корінням із запасів ґрунтової вологи, проходить через структуру рослини і випаровується з клітин листа, які називають продихами. Кількість води, що зберігається в рослині, становить менше одного відсотка від кількості, яка вона втрачає протягом періоду вегетації. З точки зору гідрології, рослини подібні до насосів, які викачують вологу з ґрунту і піднімають її до атмосфери. На транспірацію впливають фізіологічні та природні фактори [8].

Термін «сумарне випаровування або евапотранспірація» – це загальна кількість води, що повернулася з земної поверхні в атмосферу, включаючи випаровування з ґрунту і транспірацію з рослинного покриву.

Сумарне випаровування і сумарне споживання включають і транспірацію води рослинами, і випаровування з вільних поверхонь, ґрунту, снігу, льоду і рослин. Важливо пояснити різницю між сумарним випаровуванням та сумарним споживанням. *Сумарне споживання* відрізняється від евапотранспірації тільки тим, що воно включає воду, що використовується для створення рослинної

тканини [9]. При розрахунках *евапотранспірації* враховується і випаровування з ґрунту, і транспірація.

Фактичне сумарне випаровування може бути визначене шляхом аналізу даних, що збігаються, про кількість опадів і стоку з водозбору.

Потенційне сумарне випаровування визначається як сумарне випаровування, яке може виникнути за умови постійної наявності необхідної кількості води, достатньої для суцільного рослинного покриву.

*Перехоплення опадів* – це та кількість опадів, яку може зібрати рослинний покрив під час їх випадання на земну поверхню і яка може випаруватися надалі. Обсяг втраченої внаслідок цього води називається втратою на перехоплення. При вивченні великих штормових явищ та повеней втратою на перехоплення зазвичай нехтують. Однак, вона може бути дуже важливим фактором у вивченні водного балансу.

Зазвичай 10-20 % опадів, що випадають протягом періоду вегетації, перехоплюються і через випаровування повертаються у гідрологічний цикл.

Випаровування та евапотранспірацію можна досить точно виміряти з випарника та невеликого розміру водойм і ґрунту, але в даний час неможливо здійснити прямі вимірювання випаровування та евапотранспірації з великих площ води та суші. Розрахунки випаровування з існуючих водосховищ, невеликих площ та басейнів можуть бути зроблені за допомогою методів водного та енергетичного балансів та аеродинамічного методу.

Серед різних типів випарників є три, що заслуговують на особливу згадку, – це випарник класу А, прийнятий в США (рис. 2.2), випарник ГДІ-3000 і випарний басейн площею 20 м<sup>2</sup> [8]. Американський випарник класу А був рекомендований ВМО та Міжнародною асоціацією гідрологічних наук (МАГН) як еталонний прилад, оскільки робота цього випарника вивчалася в різноманітних кліматичних умовах, у широкому діапазоні географічних широт та висотних зон.

При встановленні випарника важливо бути впевненим у тому, що обраний майданчик є досить рівним і вільним від різного роду загороджень. У районах, де за ґрунтовими та кліматичними умовами не може розвинутися ґрунтовий покрив,



поверхню ґрунту на майданчику слід підтримувати в такому вигляді, щоб вона була якомога схожа з природною поверхнею ґрунту в даному районі.



Рисунок 2.2 – Випарник класу А (США) [8]

Такі загородження, як дерева, будівлі, чагарники та приладові будки, повинні знаходитися від випарної установки на відстані, не меншій за їх чотириразову висоту. За жодних обставин не можна встановлювати випарник чи будку для приладів на бетонній плиті чи бетонній основі, на асфальті чи підсипці із щебеню. Прилади необхідно розташовувати на майданчику так, щоб вони не відкидали тінь на випарну посудину. Мінімальний розмір майданчика повинен бути 15 x 20 м. Майданчик слід оточити огорожею для захисту приладів від пошкоджень та для того, щоб завадити тваринам пити воду з випарника. Конструкція огорожі не повинна спотворювати структуру вітру над випарником. Якщо майданчик розташований у ненаселеній місцевості, особливо в аридних та тропічних районах, часто буває необхідно захищати випарники від птахів та невеликих тварин за допомогою хімічних репелентів або сітки дроту стандартного

зразка, натягнутої над випарником. Для того щоб оцінити похибку, що виникає в результаті впливу дротяної сітки на полі вітру та термічні характеристики випарної судини, необхідно порівняти показання стандартного випарника з показаннями випарника, покритого сіткою, встановлених у рівних умовах.

Величина випаровування за добу обчислюється як різниця між рівнями води у випарнику за послідовну добу з введенням поправок на опади, що випали за цей період. Величина випаровування між двома вимірами визначається за формулою [8]

$$E = P \pm \Delta d \quad (2.1)$$

де  $P$  – шар опадів, що випали за період між вимірами;

$\Delta d$  – шар води долитої (+) або відлитої (-) з випарної судини.

Для спостережень за випаровуванням застосовують також декілька типів автоматичних випарників [8].

Для виміру випаровування з поверхні снігового покриву або конденсації вологи в ньому у багатьох країнах застосовуються випарники, виготовлені з поліетилену або прозорої пластмаси. Поверхня снігових випарників повинна мати площу не менше 200 см<sup>2</sup> та глибину 10 см. *Виміри, які проведені під час снігопаду або хуртовини є недійсними.*

Хоча і існує низка випарників, але, як було зазначено попередньо, в гідрологічній практиці випаровування зазвичай визначається непрямими методами, такими як методи водного та енергетичного балансу, аеродинамічний метод або поєднанням цих методів. Тож, у наступному пункті розглянемо методи розрахунку сумарного випаровування з поверхні водозбору.

## 2.2 Методи розрахунку сумарного випаровування з поверхні водозбору

Випаровування з водної поверхні можна визначити різними методами, наприклад такими, як: метод водного балансу; метод енергетичного балансу; методи перенесення маси; комбіновані методи; емпіричні формули [8].

В результаті аналізу досліджень розрахункових методів визначення сумарного випаровування, які проводилися в різних регіонах світу, встановлено, що розробка таких моделей широко поширена в більшості розвинених країн.

Сумарне випаровування та методи його визначення за кордоном досліджували такі вчені, як: у Болгарії – Д. Велєв, Г. Марков, І. Делібалтов, Х. Христов, І. Цоньов; У Польщі – К. Матуль; в Англії – Penman, Monteith, Shuttleworth та Wallace; у Франції – L. Turc; в США – Blaney, Criddle, Hargreaves та Allen; в Австралії – J.A. Prescott та інші [10].

Найбільш поширений на сьогодні метод, який використовують за кордоном – метод Penman-Monteith (1998). Оцінка випаровування за Penman-Monteith рекомендована експертами Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO UN, <https://www.fao.org/>), а метод визначений як стандартний [11].

Практично всі розрахункові методи мають в основі кліматичні показники. Основними з яких є радіаційний баланс за період вегетації фітоценозу, суми середніх добових дефіцитів вологості і температури повітря за спільний період спостережень та швидкість вітру. Такі розрахункові методи визначення випаровування в поверхні річкового водозбору можна поділити на окремі групи, в залежності від того, які метеорологічні показники використовуються для розрахунку [10]:

– методи розрахунку випаровування А.І. Будаговського (1964) та Пенмана-Монтейна (1985) в основі яких покладено рівняння для розрахунку випаровування з водної відкритої поверхні, запропоноване Пенманом (1948). Проте, для розрахунку випаровування за цими методами необхідно мати достатньо великий набір метеорологічних показників, таких як радіаційний баланс, температура повітря, вологість повітря, швидкість вітру;

– методи розрахунку випаровування за температурою та вологістю повітря, такі як, методи Н.Н. Іванова (1954), А.Р. Констянтинова (1968) та В.С. Мезенцева (1962);

– методи, де для розрахунку випаровування використовують характеристики вологості повітря, такі як, методи М.І. Будико (1956) і

Е.М. Ольдекопа (1911), а також сюди відноситься метод розрахунку величини випаровування В.С. Мезенцева (1962);

– методи розрахунку випаровування, що використовують дані по температурі повітря. До них відносять методи К. Тортвейта (Thornthwaite, 1931), Л. Тюрка (1958) та Л. Холдриджа (Holdridge, 1959).

Оскільки найбільш поширений на сьогодні метод, який використовують за кордоном є метод Penman-Monteith, а метод визначений як стандартний, автором роботи розглянуто даний метод більш детально.

### 2.3 Метод Пенмана-Монтейта

У методі Пенмана-Монтейта [12] використовується аеродинамічний та поверхневий опори. При цьому, аеродинамічний опір характеризує вплив шорсткості поверхні суші на перенесення тепла та маси, а поверхневий опір характеризує опір потоку водяної пари між поверхнею, що випаровується, і повітрям. Поверхневий опір для водних поверхонь дорівнює нулю. За наявності рослинності поверхневий опір є біологічним контролем транспірації і значною мірою регулюється продиховим опором. Для сухих ґрунтів поверхневий опір залежить від наявності ґрунтової вологи. Цей метод може бути використаний для годинних чи добових інтервалів часу. Однак його використання обмежене, оскільки він потребує наявності підмоделі для оцінки поверхневого опору.

Модель Пенмана-Монтейта виражається рівнянням [8]

$$\lambda E = (\Delta \Delta + C_p \rho D / r_{aa}) / (\Delta + \gamma + \gamma (r_{cs} / r_{aa})), \quad (2.2)$$

де,  $r_{aa}$  – аеродинамічний опір над рослинним покривом та  $r_{cs}$  – продиховий опір рослинного покриву. Для моделі Шаттлворт-Уоллес (Shuttleworth and Wallace, 1985),  $\lambda E$  поділено на випаровування з ґрунту ( $\lambda E_s$ ) та транспірацію з рослинного покриву ( $\lambda E_c$ ), які виведені з рівнянь Пенмана-Монтейта [8]:

$$\lambda E_s = (\Delta \Delta_s + \rho c_p D_0 / r_{sa}) / (\Delta + \gamma (l + r_{ss} / r_{sa})); \quad (2.3)$$

$$\lambda E_c = (\Delta \Delta (-A_s + \rho c_p D_0 / r_{ca}) / (\Delta + \gamma (l + r_{cs} / r_{ca})), \quad (2.4)$$

де,  $A_s$  – доступна енергія ґрунту;  $D_0$  – дефіцит тиску водяної пари в рослинному покриві;  $r_{sa}$  – аеродинамічний опір між підстилаючою поверхнею та висотою крон;  $r_{ca}$  – опір рослинності приповерхового шару;  $r_{ss}$  – опір ґрунту.

Аеродинамічний опір над рослинним покривом ( $r_{aa}$ ) та аеродинамічний опір між підстилаючою поверхнею та висотою крон ( $r_{sa}$ ) є функціями індексу листової поверхні, постійного часу згасання турбулентної температуропровідності, параметра протяжності шорсткості рослинного покриву (що є функцією висоти рослинності), переміщення нульової площини (функції висоти рослинності), реперної висоти над покривом, на якому проводяться метеорологічні вимірювання швидкості вітру, постійної Кармана та параметру протяжності шорсткості підстилаючої поверхні.  $D_0$  – це електричний аналог для різниці температур та тисків водяної пари між покривом та реперною висотою над покривом, де вимірюються потоки, що йдуть від рослинності, отриманий із закону Ома.  $D_0$  є функцією вимірюваного дефіциту тиску водяної пари на реперній висоті  $D$  [8]

$$D_0 = D + (\Delta \Delta - r_{aa} \lambda E_c (\Delta + \gamma)) / \rho c_p \quad (2.5)$$

і, отже, у наведеній комбінації рівняння  $D$  можна замінити на  $D_0$ .

Загальне випаровування з посівної площі,  $\lambda E$ , для моделі Шаттлворт-Уоллеса – це сума комбінацій рівнянь Пенмана-Монтейна, де  $D$  замінено на  $D_0$

$$\lambda E = C_c PM_c + C_s PM_s, \quad (2.6)$$

де  $PM_c$  – описує випаровування із закритого покриву, а  $PM_s$  – з відкритого покриву. Отримані нові рівняння Пенмана-Монтейта мають вигляд [8]:

$$PM_c = \frac{(\Delta\Delta + \rho_p D - \Delta r_{ca} A_s) / (r_{aa} + r_{ca})}{(\Delta + \gamma (1 + r_{cc} / (r_{aa} + r_{ca})))}; \quad (2.7)$$

$$PM_c = \frac{(\Delta\Delta + \rho_p D - \Delta r_{sa} A_s) / (r_{aa} + r_{sa})}{(\Delta + \gamma (1 + r_{cc} / (r_{aa} + r_{sa})))}. \quad (2.8)$$

Коефіцієнти  $C_c$  та  $C_s$  являють собою поєднання рівнянь, що виражають опір [8]:

$$C_c = l / (l + R_c R_a / (R_s (R_c + R_a))); \quad (2.9)$$

$$C_s = l / (l + R_s R_a / (R_p (R_s + R_a))), \quad (2.10)$$

де:

$$R_a = (\Delta + \gamma) r_{aa}; \quad (2.11)$$

$$R_s = (\Delta + \gamma) r_{sa} + \gamma r_{ss}; \quad (2.12)$$

$$R_c = (\Delta + \gamma) r_{ca} + \gamma r_{cs}. \quad (2.13)$$

Розглянувши низку методів для розрахунку випаровування (п.п. 2.2), зокрема стандартний метод Пенмана-Монтейта та виходячи з доступності вихідних даних, на думку автора у подальших дослідженнях доцільним є застосування методу А.Р. Костянтинова [13]. У наступному підпункті даний метод розглянуто більш детально.

#### 2.4 Метод А.Р. Костянтинова

Метод А.Р. Костянтинова [13] заснований на теорії турбулентної дифузії та дозволяє достатньо просто і швидко розрахувати сумарне випаровування з поверхні річкового водозбору при наявності стандартних метеорологічних спостережень – температури та абсолютної вологості повітря.

Для використання даного методу при визначенні місячних величин випаровування необхідно до спостережених значень температури та абсолютної

вологості повітря вводити сезонні поправки, зумовлені інерційністю турбулентного тепло- та вологообміну поверхні ґрунту з атмосферою [13].

За різні місяці поправки можуть бути визначені за графіками [13], де по осі абсцис відкладена фактична середньомісячна температура, а по осі ординат вологість повітря в мегабайтах. Поправки, що знімаються з графіку, відносяться до середини місяця (тобто до 15-го числа кожного місяця). Для проміжних дат поправки визначаються шляхом лінійної інтерполяції. В практичному застосуванні зручно користуватися табличною формою поправок для кожного окремого місяця [13].

При розрахунку річних сум випаровування за середньорічними значеннями температури та вологості повітря до значень температури та вологості повітря ніяких поправок вводити не треба.

При звичайних розрахунках значення температури та вологості повітря можна округлювати до цілих градусів та мілібарів. Величини *внутрішньодобових поправок* до температури та вологості повітря без стандартних кліматичних термінів (1, 7, 13, 19 год) наведено у [13], де вздовж координатних осей відкладені виправлені на сезонний перебіг значення температури та вологості повітря. Це означає, що до термінових значень температури та вологості додається сезонна поправка, визначена для середньодобового значення температури та вологості повітря.

При визначенні сумарної поправки для *окремих термінів* (при розрахунку внутрішньодобового перебігу окремих складових теплового та водного балансів) слід до сезонної поправки додати (з урахуванням знаку) внутрішньодобову поправку за даний термін. При цьому ще раз слід наголосити, що сезонна поправка визначається не за терміновим значенням температури та вологості повітря, а за середньодобовим її значенням. Проте, у багатьох випадках різниця у величинах сезонних поправок, визначених за терміновими та середньодобовими значеннями температури та вологості повітря, лежить у межах точності розрахункової методики. Потреба визначення добового перебігу випаровування зазвичай обмежена деякими науково-дослідними завданнями та приватними питаннями сільськогосподарської меліорації.

Величина добового випаровування визначається за характеристиками інтенсивності випаровування за окремі терміни за допомогою тих самих інтерполяційних формул, що і при розрахунку випаровування за даним градієнтних вимірів. Основне призначення розрахункової методики полягає у використанні її для визначення випаровування за *значні проміжки часу* (більше однієї доби), у тому числі *сезонного ходу* випаровування [8].

Є ще одне важливе міркування щодо оптимального розрахункового інтервалу застосування методики А.Р. Констянтинова. В методиці використовуються співвідношення між температурою та вологістю повітря, вимірними на висоті 2,0 м з вертикальними градієнтами цих елементів, які справедливі лише для середніх умов, тобто таких, коли температура та вологість повітря формуються під впливом даної поверхні, що підстилає. У природних умовах, однак, такий стан буває далеко не завжди. Зазвичай мають місце послідовні вторгнення холодних та відносно теплих повітряних мас, і лише за значні проміжки часу середня температура таких мас, що вторглися, буде відповідати характеристикам даної підстильної поверхні. Середня тривалість природно-синоптичного періоду (тобто тривалості окремих вторгнень) становить, як відомо, 5-7 днів. Розрахункові інтервали менші по тривалості ризикують цілком потрапити в межі одного синоптичного періоду; розрахунки за такий проміжок часу можуть призвести до суттєвих похибок. Тому мінімальна тривалість розрахункового інтервалу часу має принаймні в 1,5-2 рази перевищувати тривалість природно-синоптичного періоду, тобто складати не менше ніж 10 днів. Що ж до тих природно-синоптичних періодів, тривалість яких затягується до півтора-двох тижнів і більше, то в цьому випадку вже стан поверхні, що підстилає (головним чином її теплові і водні властивості), як правило, приходить у відповідність з трансформованими властивостями даної повітряної маси, у тому числі і з її характерними значеннями. Чим триваліший період вторгнення, тим має місце більша відповідність. Тому розрахунки за великі проміжки часу не приводять зазвичай до систематичних похибок [13].



За допомогою запропонованої розрахункової методики найточніше можна отримати величини випаровування за такі проміжки часу, які задовольняють наступним двом вимогам [13]:

- проміжок не повинен бути таким великим, щоб усередині нього сильно позначався сезонний перебіг метеорологічних елементів;
- з іншого боку, його не слід вибирати надто малим – він повинен включати таку кількість діб, яка забезпечувала б близькість середнього добового ходу метеорологічних елементів та випаровування до стійкого середнього добового ходу, покладеного в основу розрахункової методики.

Тому тривалість розрахункового періоду, як правило, не повинна перевищувати двох-трьох місяців і не повинна бути меншою за декаду. Найбільш зручним та підходящим для розрахунку випаровування періодом є *місяць*.

При розрахунку випаровування за менші проміжки часу (наприклад, за одну добу) можуть бути також отримані задовільні результати, якщо хід випаровування за цю добу мало відрізняється від середнього добового ходу випаровування в природних умовах, що увійшов складовою до розрахункового графіку.

При визначенні випаровування за проміжки часу, що *перевищують два-три місяці*, починає впливати нелінійність поправок до температури і вологості повітря. Помилка, що виникає при розрахунку випаровування за середніми значеннями за три-шість літніх місяців становить 10-30 % переважно убік завищення. Для виробництва орієнтовних розрахунків за сезон таку помилку в багатьох випадках можна знехтувати [13].

Пропонована розрахункова методика дає можливість визначати випаровування з території метеорологічної станції в радіусі кілька квадратних кілометрів, тобто з тієї площі, під впливом якої в цілому формуються температура та вологість повітря, що вимірюються в психрометричних будках. Якщо відсутній різко виражений переважний напрямок вітру, то у формуванні режиму випаровування, що розраховується за даними метеорологічних станцій, беруть участь усі типи підстильної поверхні, що входять до згаданої території. У цьому

випадку за даними розрахунків можна характеризувати випаровування з поверхні території з такою ж повнотою, з якою характеризуємо, наприклад, температуру та вологість повітря над нею. Внаслідок цих закономірностей є набагато більша схожість в сезонним ходом складових теплового та водного балансів (у тому числі випаровуванням) з різних сільськогосподарських угідь за один і той же рік (за однакових погодних умов і приблизно однакових запасів вологи у ґрунті), ніж у сезонному ході цих складових для однієї і тієї ж культури за різні роки (тобто за різних погодних умов та запасів вологи у ґрунті).

Переважає більшість метеорологічних станцій розташована на луках і тому в першу чергу може характеризувати режим випаровування для цих видів поверхні. Однак внаслідок малої залежності режиму випаровування від виду культури ці дані у першому наближенні можуть характеризувати також режим випаровування різних сільськогосподарських угідь.

Коли йдеться про репрезентативність величин випаровування, розрахованих за даними метеорологічних станцій, то мається на увазі порівняно задовільна згода у сезонному ході випаровування з поверхні, розташованої в безпосередній близькості від метеорологічної станції, із середнім ходом випаровування з великої території, що включає різні сільськогосподарські угіддя. Помилка, що допускається при цьому, пов'язана з відмінністю сезонного перебігу випаровування з будь-якої конкретної культури від середнього перебігу випаровування, буде, як правило, незначною, оскільки дана культура зазвичай займає лише частину території, що розглядається. Але це зовсім не означає, що за даними вимірів на метеорологічній станції можна безпосередньо розрахувати величини випаровування з будь-якого конкретного сільськогосподарського поля, розташованого на значній відстані від метеорологічної станції.

Незважаючи на велику одноманітність у сезонному ході випаровування з різних сільськогосподарських угідь, сумарне випаровування з деяких з них має дуже своєрідний характер (з парових полів, полів з озимими культурами, кукурудзою і т. п.) і для його розрахунку потрібне залучення додаткових експериментальних даних.

Істотне порушення репрезентативності метеорологічних станцій спостерігається в період весняного сніготанення при наявності на території, що оточує метеорологічну станцію, будівель, дерев та інших перешкод повітряному потоку. Нагріючись від прямих сонячних променів, ці перешкоди безпосередньо підвищують температуру повітря. При цьому порушується зв'язок між вертикальними профілями температури та вологості повітря та відповідними характеристиками шарів повітря, що приликає до поверхні снігу.

Використання розрахункової методики А.Р. Констянтинова в такому разі призводить до завищення розрахункових величин випаровування. Досвід показує, що величини випаровування, розраховані за даним метеорологічних станцій, розташованих на галявині, оточеної лісовими масивами, досить добре узгоджуються з величинами випаровування, визначеними з території навколишнього лісу шляхом водного балансу. Отримані висновки [13] цілком узгоджуються з тими загальними уявленнями про процес випаровування в умовах пересіченої місцевості, згідно з якими повітряний потік, по черзі проходячи над кожним з видів поверхні, трансформується і тому містить у собі в певній мірі характеристики кожної з них.

Так само для одних і тих же значень температури та вологості повітря інтенсивність випаровування з ґрунту та снігу різна, при розрахунках, якщо немає вказівок про наявність або відсутність снігового покриву, слід приймати за випаровування з ґрунту величини випаровування за період, коли не виправлена температура повітря вище чи дорівнює нулю ( $T \geq 0^\circ$ ). Випадки з  $T < 0^\circ$  слід приймати за випаровування зі снігу.

У наступному пунктах представлено розрахунок сумарного випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг за методом А.Р. Костянтинова. Слід зазначити, що даний метод апробований для низки річок України [14]-[21], зокрема, р. Велика Вись, яка відноситься до басейну р. Південний Буг [22].

### 3. ВИЗНАЧЕННЯ ОПАДІВ З ПОВЕРХНІ ВОДОЗБОРУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

Загальна кількість опадів, що досягають ґрунту за певний період часу, виражається висотою шару, яким вони покрили б горизонтальну проєкцію земної поверхні за умови, що та частина опадів, яка випала у вигляді снігу або льоду, розтанула. Кількість снігу, що випав, вимірюється також висотою шару снігу, що покриває рівну горизонтальну поверхню. Головна мета будь-якого методу вимірювання опадів полягає в отриманні вимірювань, репрезентативних для тієї території, до якої відносяться вимірювання. Гідрологія висуває суворі вимоги до точного виміру опадів. Тому важливими факторами є вибір місця для встановлення опадомірного посту, його тип і розташування, а також запобігання втрат, викликаних випаровуванням, впливом вітру і розбризкуванням. Для застосування більш складних методів, наприклад з використанням метеорологічних радарів та супутників, необхідно добре знати властивості помилок.

#### 3.1 З історії вимірювання атмосферних опадів

Науці відомі факти про вимір атмосферних опадів у минулому. Дані про опади збиралися, наприклад, в Індії ще IV в. до н.р., опадомір для вимірювання опадів застосовувалися в Кореї в 1442 р., а опадоміри сучасної конструкції застосовуються в Європі з кінця XV ст.

Хоча прилади опадомірів для вимірювання опадів, що випадають з атмосфери, є найпростішими за своєю конструкцією та експлуатацією з усіх існуючих метеорологічних приладів і дотепер у багатьох країнах світу існує густа мережа опадомірних пунктів спостережень, все ж таки слід відзначити, що вимірювання кількості опадів, що випадають, проводяться з недостатньо високою точністю.

Факти, що стосуються відмінності значень опадів, виміряних різними опадомірами через вплив на їх показники місцевих умов відомі давно. Е.М. Ольдекоп зазначав, що у 1766-1767 рр. вчений Хебердон отримав великі відмінності у виміряних сумах опадів у Лондоні: у саду Вестмінстерського абатства сума опадів склала 574 мм, а на даху цієї будівлі всього 307 мм.

Уловлювання опадів дощоміром залежить від швидкості вітру, висоти установки приладу, розміру його приймальної поверхні та інших причин. Випадання опадів майже завжди супроводжується вітром. Будь-який дощомірний прилад, поміщений у повітряний потік обтікається ним з підвищеною швидкістю. Над його приймальною поверхнею утворюється повітряний простір, що ускладнює попадання опадів. Виникаючі при цьому, навколо приладу і всередині, його вихори сприяють проносу повз прилад і видування з нього спійманих опадів. Положення погіршується тим, що в зимовий час можливе додаткове намітання снігу в прилад під час хуртовин. Крім того, на показники приладів впливає метод вимірювання опадів. Якщо опади вимірюються відразу ж після закінчення випадіння, то можна більш точно визначити їх кількість, оскільки за наявності перерви між терміном закінчення випадіння і терміном виміру, частина їх випаровується. Деяка кількість опадів при вимірі витрачається на змочування стін приладу.

В даний час у всіх країнах світу, в тому числі і в Україні, існує велика кількість дощомірів різних конструкцій. На мережі опадомірних станцій Гідрометеорологічної служби України приймальна поверхня у тому числі й вимірювального приладу розташована на висоті 2 м над поверхнею землі. Ця висота була вибрана, щоб уникнути впливу хуртовин на показання опадоміра. На цій висоті під час випадання опадів швидкість вітру суттєво більша, ніж у поверхні землі, що, як зазначалося вище, впливає на уловлювання приладом опадів.

Для виключення впливу вітру на показання опадоміра було запропоновано декілька шляхів:

- встановлення спеціальних захистів навколо приймального отвору приладу,
- зменшення площі приймальної поверхні приладу,
- зниження висоти установки приймальної поверхні опадоміру та ін.

Ф. Ніфер одним із перших досліджував пристрої спеціальних захистів, що призводять до послаблення впливу вітрового потоку на показання дощомірного приладу. У 1878 р. він запропонував конусоподібний захист, який згодом отримав його ім'я.

На території колишнього СРСР систематичні спостереження за опадами почали вестися приблизно з 1835 р. приладами без захисних пристроїв. З 1891 р. основним приладом для вимірювання опадів на мережі станцій був прийнятий опадомір із захистом Ніфера. Прилад встановлювався на висоті 2 м над земною поверхнею. Приймальна площа відра опадоміра становила 500 см<sup>2</sup>. Як показали перші роки експлуатації приладу, він не виключив впливу вітрового фактора на кількість опадів, що уловлюються. Його свідчення значною мірою пов'язані з умовами його встановлення на місцевості. Тому в нашій країні і після впровадження приладу із захистом Ніфера тривали дослідження, пов'язані з розробкою досконаліших приладів для вимірювання атмосферних опадів. Детальний огляд цих досліджень наведено в роботах Г.І. Орлова.

У 1941 р. В.Д. Третьяковим був сконструйований опадомір з планковим захистом, приймальною поверхнею 200 см<sup>2</sup>. Глибина приймального відра залишилася такою ж, що й у дощоміру, тому зменшення приймальної поверхні сприяло деякому зниженню видування снігових опадів із прибору.

Опадомір Третьякова має кращі аеродинамічні умови обтікання вітровим потоком, а конструкція його безперечно була кроком уперед порівняно з дощоміром Ніфера. Протягом 1948-1956 рр. на мережі метеостанцій і постів території колишнього СРСР дощоміри Ніфера були замінені опадомірами Третьякова.

Виникаючи при цьому труднощі (різноманіття факторів, що впливають на формування та випадіння опадів, складність обліку різних видів і типів опадів

тощо) ускладнювали розробку науково обґрунтованих рекомендацій щодо створення еталонних вимірювальних приладів та коригування виміряних у минулому опадів. Підвищений інтерес до цього питання з боку метеорологів та гідрологів останнім часом пов'язаний з вивченням водних балансів річкових басейнів за короткі інтервали часу реальних років (місяці, сезони).

Головною геофізичною обсерваторною імені А.І. Воєйкова, Державним гідрологічним інститутом та гідрометцентрами були виконані великі експериментальні, лабораторні та натурні дослідження, що дозволили значною мірою усунути неоднорідність матеріалів спостережень за опадами, що проводилися в минулому і в наші роки за допомогою різних приладів, а також врахувати недовловлювання опадів існуючими опадомірами.

Використання на мережі метеостанцій та постів дощоміра Третьякова призвело до необхідності приведення даних спостережень за минулі роки за дощоміром Ніфера до показань нового приладу. Порівняльні випробування цих двох приладів проводили такі вчені, як В.Г. Волог, А.Г. Левін, В.Д. М'ячиков, Н.К. Клюкін, В.С. Дигало, Ц.А. Швер та ін. За результатами цих досліджень видано методичні вказівки щодо усунення неоднорідності між рядами дощомірних опадомірних спостережень. Відповідно до цих вказівок у Гідрометцентрах для всіх метеостанцій були встановлені перехідні коефіцієнти  $k$ , необхідні для приведення дощомірних даних до показань опадоміра. Значення перехідних коефіцієнтів  $k$  та річних опадів, наведених до опадомірної «норми», опубліковані у відповідних випусках Довідника з клімату СРСР, ч. IV.

Як показав досвід, значення атмосферних опадів, виміряні опадоміром Третьякова, як правило, менші за діючу кількість опадів, що випали. Результати зіставлення значень опадів, виміряних опадомірами Третьякова у відкритих та захищених від вітру місцях на стічних станціях та в експедиціях, показали, що на відкритих місцях рідкі опади применшені на 5-20 %, а снігові – на 30-50 % та більше. Ці результати були отримані для Прибалтики А.П. Бочковим і З.П. Богомазової, для центральних чорноземних областей С.Н. Боголюбовим, для Казахстану В. А. Семеновим та ін.

У зв'язку з цим були організовані та проведені широкі експериментальні дослідження з метою розробки методів коригування опадів, виміряних опадоміром Третьякова, для наближення їх до «істинних» опадів.

### 3.2 Вимірювання опадів за рекомендаціями WMO

Нереєструючі опадоміри, які застосовують більшість державних гідрологічних і метеорологічних служб для звичайних вимірювань, найчастіше являють собою відкриті приймальні судини з вертикальними стінками, зазвичай мають форму правильного циліндра. У різних країнах використовуються прилади різної висоти та з приймальними отворами різних розмірів, тому результати вимірювань, отриманих за їх допомогою, не зовсім порівняні. Висота шару опадів в опадомірі вимірюється за допомогою градуйованої лінійки або мірної склянки. Якщо в опадоміра стінки неvertикальні, то опади вимірюються або шляхом зважування, або шляхом визначення їх обсягу, або шляхом визначення їх шару за допомогою вимірювальної лінійки зі спеціальною шкалою.

**Стандартні опадоміри.** Опадомір, що використовується для щоденного вимірювання опадів, найчастіше складається з колектора, який поміщається над лійкою, з'єднаною з контейнером (рис. 3.1).



Рисунок 3.1. Опадомір, що використовується для щоденного виміру опадів



Розміри отвору колектора не мають істотного значення. У деяких країнах застосовуються опадоміри з приймальним отвором площею 1 000 см<sup>2</sup>, але, можливо, найбільш підходящою буде площа 200–500 см<sup>2</sup>. Площа прийомної судини може дорівнювати 0,1 площі приймального отвору. Який би розмір колектора не був обраний, градування вимірювального пристрою має обов'язково йому відповідати. Найважливіші вимоги, що пред'являються до облога камери, наступні:

- обідок колектора повинен мати гострий край і бути строго вертикальним усередині та пологим сну рушниці;
- конструкція снігомірів повинна бути такою, щоб помилки через скупчення мокрого снігу навколо обідка були незначними;
- площа приймального отвору повинна бути відома з точністю до 0,5 %, а конструкція осаду міра повинна бути такою, щоб ця площа залишалася постійною;
- колектор повинен бути сконструйований так, щоб не відбувалося розбризування дощу з нього та попадання бризок до нього; цього можна досягти за умови, якщо вертикальна стінка досить висока і нахил вирви досить пологий (принаймні 45 °);
- контейнер повинен мати вузький вхідний отвір і бути достатньо захищеним від впливу сонячних променів, щоб звести втрати за рахунок випаровування до мінімуму;
- в умовах, коли частина опадів надходить у вигляді снігу, колектор повинен бути досить глибоким, щоб накопичувати опади, що надходять протягом доби;
- глибина колектора також важлива для запобігання видуванню уловленого снігу.

Опадоміри, призначені для установки в місцях, де відліки по них можливо проводити тільки один раз на тиждень або місяць, повинні бути подібні до пристрою з добовими опадомірами, але мати більш місткий приймальний посуд і міцнішу конструкцію.

**Сумарні опадоміри.** Сумарні опадоміри використовуються для вимірювання загальної кількості сезонних опадів у віддалених, малодоступні райони. Вони складаються з колектора, поміщеного над лійкою, з'єднаною з контейнером, обсяг якого достатній для того, щоб вмістити сезонний збір.

У районах, де спостерігаються рясні снігопади, контейнер слід поміщати на висоті, що перевищує очікувану максимальну висоту снігового покриву. Для цієї мети можна змонтувати весь опадомір повністю на високій опорі, або тільки контейнер встановити на опорній сталевій трубі діаметром 30 см і такої довжини, щоб контейнер височів над поверхнею снігового покриву при його максимальній висоті. У контейнер може бути поміщений розчин антифризу для перетворення снігу, що потрапляє в опадомір, у рідину.

Для зменшення випаровування в контейнер слід налити невелику кількість олії. Товщина шару олії має бути близько 8 мм. Рекомендуються неочищені моторні олії низької в'язкості. Трансформаторні та силіконові масла визнані неприйнятними. Сезонний збір опадів визначається шляхом зважування або вимірювання об'єму вмісту контейнерів. При тому та іншому способі необхідно враховувати кількість антифризу, поміщеного в контейнер початку сезону.

### 3.3 Методи вимірювання опадів

Для вимірювання кількості опадів, зібраних у звичайних опадомірах, як правило, використовуються *два простих пристосування*: градуйована мірна склянка і градуйована рейка.

**Мірний стакан** повинен виготовлятися з прозорого скла з низьким коефіцієнтом термічного розширення і мати чітку мітку, що вказує розмір або тип опадоміра, з яким він має використовуватися. Його діаметр має становити не більше однієї третини діаметра приймального отвору приладу. Ділення слід наносити чітко. Рекомендується наносити поділки з інтервалом 0,2 мм і чітко відмічати лінії кожного міліметра. Крім цього, бажано, щоб була відмічена лінія, що відповідає 0,1 мм. Якщо немає потреби вимірювати опадів з такою точністю,

то поділки в 0,2 мм наносять принаймні до поділки 1,0 мм, а далі йдуть поділки, які відповідають цілим міліметрам, до того ж кожен десяток міліметрів позначають особливо чіткою лінією. Для досягнення необхідної точності максимальна похибка поділок не повинна перевищувати  $\pm 0,05$  мм близько/або вище позначки 2 мм і  $\pm 0,02$  мм нижче цієї позначки. Для того щоб виміряти невелику кількість опадів з адекватною точністю, внутрішній діаметр мірної склянки має бути звужений біля основи. При всіх вимірах рівень води визначається за нижнім краєм його меніска. Під час зняття показань мірну склянку слід тримати вертикально, щоб уникнути помилок паралакса. Нанесення основних ліній поділки на зворотний бік склянки також допомагає зменшити кількість таких помилок.

**Мірні рейки** слід виготовляти з кедря або іншого підходящого матеріалу, який мало поглинає воду і має незначний ефект капілярності. Дерев'яні мірні рейки непридатні в тому разі, якщо в колектор для зменшення випаровування додано олію; у цьому разі рекомендується використовувати рейки з металу або інших матеріалів, з яких легко видаляється олія. Щоб уникнути швидкого зносу вони повинні мати латунну основу. Їх градування проводиться відповідно до відношення площ поперечного перерізу приймального отвору опадоміра і колектора з урахуванням поправки на витіснення води самою мірною рейкою. Ділення повинні наноситися через кожні 10 мм. Максимальна помилка в градуванні мірної рейки не повинна перевищувати  $\pm 0,5$  мм у будь-якій точці. Вимірювання, проведені за допомогою мірної рейки, рекомендується, де це можливо, перевіряти за мірною склянкою. Також можна вимірювати зібрану кількість опадів точним зважуванням. Цей метод має деякі переваги. Визначається загальна вага мірної посудини та її вмісту, потім віднімається вага посудини, яка відома заздалегідь. У цьому разі немає небезпеки розлити воду, і будь-яка кількість рідини, що залишилася в мірній посудині, включається в цю вагу. Але методи, що зазвичай використовуються, є, однак, більш простими і дешевими.

Також використовують самописні опадоміри. Існує 5 типів плевіографів: ваговий, поплавковий, з посудиною, що перекидається, дисдрометр і акустичний. Із цих плевіографів для вимірювання всіх видів опадів підходять тільки ваговий плевіограф або плевіограф, заснований на інерційному/оптичному принципі виявлення. Інші в основному використовують для вимірювання рідких опадів.

**Ваговий плевіограф.** У приладах цього типу ведеться постійний запис ваги контейнера разом із зібраними в ньому опадами за допомогою пружинних або важільних ваг. Таким чином, записується вага всієї кількості опадів з моменту початку їх випадання. Зазвичай цей тип приладу не має пристосування для видалення з нього зібраних опадів, але за допомогою системи важелів можна змусити перо перетинати стрічку будь-яку кількість разів. Такі прилади слід конструювати так, щоб запобігти надмірним втратам на випаровування, які згодом можуть бути додатково знижені шляхом додавання до контейнера достатньої кількості олії або іншого ретарданту для створення плівки на поверхні води. Коливання ваг під час сильних вітрів можна зменшити, використовуючи масляний демпфер. Прилади такого типу особливо корисні для запису опадів у вигляді снігу, граду та суміші снігу з дощем, тому що для запису кількості таких твердих опадів їх не потрібно розтоплювати.

**Поплавковий плевіограф.** У цьому приладі рідкі опади потрапляють у поплавцеву камеру, в якій міститься легкий поплавок. Коли рівень води в камері підвищується, вертикальне переміщення поплавка перетворюється за допомогою спеціального механізму в рух пера по розграфленій паперовій стрічці. Необхідний масштаб запису можна встановити шляхом налаштування розмірів приймального отвору колектора, поплавця і поплавцевої камери.

Для того, щоб зробити запис за який-небудь обраний період часу (зазвичай не менше, ніж за 24 години), необхідно мати або дуже велику поплавцеву камеру (у цьому разі отримують стислий масштаб запису на стрічці), або якийсь механізм для автоматичного швидкого зливання рідини з поплавцевої камери, щойно вона наповниться, для того, щоб перо повернулося до нижньої крайки стрічки. Для зливу опадів зазвичай використовується пристосування сифонного типу. Процес

виливання води слід починати в точно встановлений момент так, щоб вода не переливалася через край ні на початку, ні наприкінці процесу, який не повинен займати більше 15 секунд.

У деяких приладах поплавкова камера встановлюється на важелі ваг за допомогою опорних призм для того, щоб наповнена камера переважувала. Підйом води полегшує процес зливу, і коли камера спорожняється, вона повертається в початкове положення.

Деякі плевіографи мають механізм примусового зливу, який допомагає здійснювати процес зливу менш ніж за п'ять секунд. У плевіографа з примусовим зливом є невелика камера, відокремлена від основної, в якій збираються рідкі опади, що випадають у момент зливу. Вода з цієї камери надходить в основну камеру, коли припиняється злив, що гарантує правильність запису загальної кількості рідких опадів. Щоб уникнути замерзання води в поплавковій камері в зимовий період, у плевіографі повинен встановлюватися обігрівальний прилад. Це запобігатиме пошкодженню поплавка і поплавкової камери та дасть можливість реєструвати кількість рідких опадів у зимовий період. Там, де є мережа електроживлення, достатньо невеликого нагрівального елемента або малопотужної електричної лампочки, в іншому разі можна використовувати інші джерела живлення. З цією метою зручно використовувати коротку спіраль, яка намотується на колектор і приєднується до батареї великої потужності. Кількість тепла, що подається, не повинна перевищувати мінімуму, необхідного для запобігання замерзанню, оскільки зайве тепло може знизити точність спостережень, створюючи вертикальне переміщення повітря над приладом спостережень і збільшуючи втрати за рахунок випаровування.

***Плевіограф із перекидною посудиною.*** Принцип його дії дуже простий. Легкий металевий контейнер (човник), розділений на два відділення, перебуває в нестійкій рівновазі щодо горизонтальної осі. У нормальному положенні він спирається на один із двох обмежувачів, що заважає йому остаточно перевернутися. Вода потрапляє з колектора в те відділення, яке в даний момент

знаходиться вище. Після того як певна кількість води опиниться в цьому відділенні, човник втрачає стійкість і нахиляється до іншого обмежувача.

Відділення контейнера (човника) мають таку форму, що вода витікає з того, яке розташоване на даний момент нижче. Тим часом опади збираються в тому відділенні, яке знаходиться вище. Рух човника в той момент, коли він нахиляється, можна використовувати для приведення в дію контактного реле, за допомогою якого отримують запис переривчастих ліній. Відстань між лініями відповідає часу, за який випадає певна невелика кількість опадів. Якщо необхідно отримати докладний запис, ця кількість опадів не повинна перевищувати 0,2 мм. Для низки гідрологічних цілей, особливо в районах зі зливами великої інтенсивності та під час використання даних у системах попередження паводків, достатньою є кількість опадів від 0,5 до 1,0 мм. Основною перевагою приладу такого типу є те, що він дає змогу одержати на "виході" електронний імпульс і тому може бути використаний для одержання спостережень на відстані, а також для одержання одночасних спостережень за опадами та рівнем води, що здійснюються за допомогою відповідного самописця.

Недоліки ж його такі: а) для того щоб човник нахилився, необхідний невеликий, але певний час. Під час першої половини руху човника в те відділення, в якому знаходиться вже обчислена кількість опадів, може потрапити ще якась їхня кількість. Ця похибка може стати значною тільки під час інтенсивного випадання опадів (Parsons, 1941); б) за звичайної конструкції човника відкрита поверхня води у співвідношенні з об'ємом дуже велика, тому можливі значні втрати через випаровування, особливо в регіонах зі спекотним кліматом. Ця помилка буде найбільш значною під час слабкого дощу; с) переривчастий характер запису може не дати задовільних даних під час слабкої мряки та дуже слабкого дощу. Зокрема, неможливо визначити час початку і кінця випадання опадів.

## 4. МЕТОДИ ВИМІРЮВАННЯ РІВНІВ ТА ВИТРАТ ВОДИ НА РІЧКАХ

*Рівнем води* називається висота поверхні води в річці, озері або іншому водному об'єкті по відношенню до деякої постійної площини порівняння (ISO, 1988b). Дані про рівні води річок, озер і водосховищ використовуються безпосередньо для прогнозування стоку, для визначення меж можливого затоплення під час повеней і під час проєктування споруд на водних об'єктах або поблизу від них. Після побудови зв'язку рівнів води з витратою води в річках або об'ємом води в озерах і водосховищах, дані про рівні слугують основою для розрахунків стоку або зміни запасів води у водоймах. Більш повно ці питання розглянуті в Manual on Stream Gauging (Посібник з вимірювання витрати води) (WMO-№. 519).

Під час вибору місця для поста спостережень слід керуватися метою проведення спостережень і доступністю місця. Під час вибору місця на річках важливим фактором є гідравлічні умови, особливо в тих випадках, коли дані про рівень води використовують для підрахунків стоку. Водомірні пости на озерах і водосховищах зазвичай розташовують біля витоків річок, що впливають із них, але вище від тієї зони, у якій збільшення швидкості спричиняє зниження рівня

### 4.1 Пристрої для вимірювання рівня води

#### 4.1.1 Пристрої для візуальних вимірювань рівнів води

У гідрометричній практиці застосовують різні типи нереструвальних пристроїв для вимірювання рівня води. Найпоширенішими з них є такі:

- a) вертикальна водомірна рейка;
- b) скошена або нахилена водомірна рейка;
- c) передавальні водомірні пости, які встановлюють на конструкціях над водою;

d) градуйована штанга, стрічка, трос або голчаста рейка для вимірювання відстані до поверхні води;

e) максимальна рейка для одержання висоти піку паводка завдяки зчепленню гранульованого корка з градуйованою рейкою, яка розташована у фіксованій точці по відношенню до нульового рівня.

#### 4.1.2 Самописці для вимірювань рівнів води

Існує багато різних типів самописців рівня води безперервної дії. Їх можна класифікувати за принципом дії та принципом запису. Широкого застосування набула установка, що складається із заспокійливого колодязя, сполученого з річкою за допомогою труб. У колодязі поміщається поплавок, тросом або стрічкою сполучений з колесом записувального пристрою. У потоках з великими швидкостями, щоб уникнути зниження рівня води в колодязі, може виникнути необхідність встановлення спеціальних нерухомо закріплених насадок на кінцях підвідних трубопроводів. Самописець може бути механічним або електронним. Самописці з колесом, сполученим із ручкою або олівцем, поміщеним на стрічкову карту, що пересувається механічним годинником, довели свою надійність і, як і раніше, широко використовуються. Вибір масштабів часу і запису рівня визначається амплітудою коливань рівня, тісним зв'язком рівня і витрати води та стоковими характеристиками басейну. У головному офісі стрічка самописця може бути оцифрована для введення даних у комп'ютер. Колесо може бути також безпосередньо під'єднане до кодувального пристрою.

Кодувальний пристрій дає змогу отримати аналогові або цифрові значення, які можна зчитати і зберегти в пристрої реєстрації даних. Крім того, застосовуються також різні типи самописців рівня води, що ґрунтуються на передачі тиску. Принцип їхньої дії ґрунтується на тому, що статичний тиск у фіксованій точці потоку прямо пропорційний напору води в цій точці. Цю залежність описано за допомогою такого рівняння:



$$\text{Рівень води} = (P_{\text{статичний}} - P_{\text{атм}}) C, \quad (4.1)$$

де  $P_{\text{статичний}}$  – це тиск у барах у фіксованій точці водяного стовпа (необхідно переконатися в тому, що жоден динамічний тиск від руху води не вимірюється);

$P_{\text{атм}}$  – атмосферний тиск у барах на поверхню водяного стовпа;

$C$  – чинник нетто ваги води ( $C = 10,2$  для прісної води за  $20\text{ }^\circ\text{C}$ ), що залежить від температури та солоності води.

У деяких вимірювачах для передачі тиску використовується система продувки газом. Інші вимірювачі використовують датчики тиску, поміщені прямо в русло річки.

Основною перевагою самописців, заснованих на вимірюванні тиску, є те, що вони не потребують встановлення заспокійливого колодязя, хоча будь-яке невіддале встановлення датчика тиску по відношенню до потоку може стати причиною значної помилки. Крім того, системи продувки газом не чутливі до наносів, якщо їхня концентрація не виходить за межі природної. Слід бути уважним під час поміщення датчика тиску або бульбашкового рівнеміра в русло річки. Важливо переконатися, що він не пересувається і піддається лише статичному тиску. Компенсація за зміни в температурі й тиску на поверхні також має велике значення.

Порівняно недавно стали використовуватися два види реєструвальних рівнемірів – ті, що використовують ультразвуковий і радіолокаційний датчики. Принцип роботи ультразвукового датчика ґрунтується на вимірюванні швидкості передавання імпульсу на ультразвуковій частоті ( $>20$  КГц), який випромінює передавач, розміщений у пристрої над озером або річкою. Коли імпульс вдаряється об поверхню водного тіла, він відбивається назад до датчика. Час  $T$ , що минає між моментом випромінювання сигналу і моментом отримання відлуння, прямо пропорційний дистанції  $d$  між датчиком і поверхнею води і обернено пропорційний швидкості сигналу в повітрі,  $v$ . Воно може бути розраховане як

$$T = 2d/v. \quad (4.2)$$

Оскільки швидкість звуку залежить від температури повітря, для отримання точного значення необхідне введення поправочного коефіцієнта. Принцип роботи радіолокаційного датчика схожий на принцип роботи ультразвукового, але використовує високі частоти (близько 20 ГГц). Його перевага полягає в тому, що на високих частотах швидкість поширення сигналу не залежить від температури повітря.

Графічні (аналогові) самописці можуть застосовуватися для визначення рівня води в річці. Рівень води може так само бути визначений у цифровій формі на фіксованих або ж тригерних інтервалах.

## 4.2 Пристрої для вимірювання витрат води

Витрата води являє собою кількість води в одиницях об'єму, що протікає через поперечний переріз потоку за одиницю часу. Витрата води за даний період часу може бути виміряна різними методами, вибір яких залежить від переважаючих умов на даній ділянці русла. Зазвичай витрата води залежить від відповідного рівня води на гідрометричній станції. Точність вимірювання витрати води залежить від часу, який потрібен для проведення вимірювання, і мінливості рівня або витрати в процесі вимірювання. Слід уникати змін, що відбуваються під час вимірювання нижче за течією, оскільки вони можуть вплинути на результат.

### 4.2.1 Вимірювання витрати води за допомогою гідрометричних вертушок

Вимірювання витрати води методом швидкість-площа пояснене прикладом на рис. 4.1.

Глибину потоку в поперечному перерізі вимірюють по вертикалях градуйованою штангою або лотом. Одночасно з промірами глибин проводяться вимірювання швидкості течії вертушкою в одній або більше точках по вертикалі.

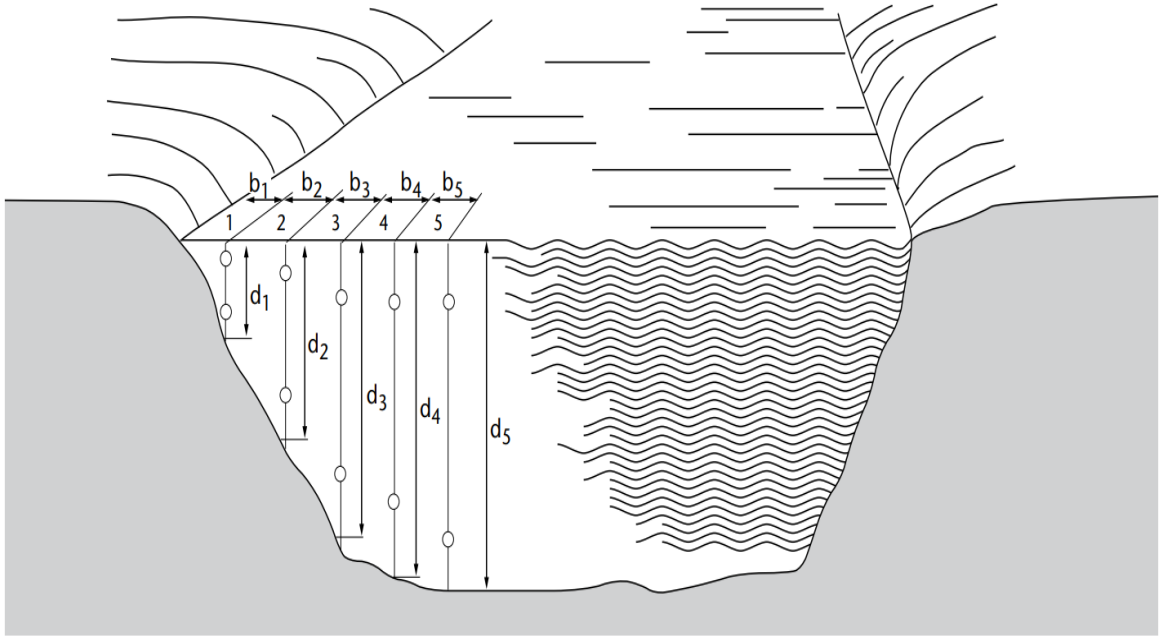


Рисунок 4.1. Розташування точок вимірювань у поперечному перерізі потоку

Вимірювання ширини, глибини і швидкості течії дають змогу визначити витрату води для кожної частини поперечного перерізу, укладеної між вертикалями. Загальна витрата води дорівнює сумі витрати всіх частин поперечного перерізу (ISO, 1979b).

#### 4.2.2 Розрахунок витрати води арифметичними методами

а) Метод елементарних майданчиків: приймається, що поперечний переріз потоку складається з деякого числа елементарних майданчиків, кожна з яких обмежена двома суміжними вертикалями. Якщо позначити середню швидкість течії на першій вертикалі через  $\bar{v}_1$ , середню швидкість на другій вертикалі через  $\bar{v}_2$ , повну глибину на першій і другій вертикалях відповідно через  $d_1$  і  $d_2$ , а горизонтальну відстань між цими вертикалями через  $b$ , то вираз для витрати води  $q$  через елементарну площадку матиме такий вигляд

$$q = \left(\frac{\bar{v}_1 + \bar{v}_2}{2}\right) \left(\frac{d_1 + d_2}{2}\right) b \quad (4.3)$$

Повна витрата отримується шляхом підсумовування витрат, що проходять через усі елементарні площадки;

б) метод серединних площадок: витрата води через кожен площадку розраховується шляхом множення величини  $vd$  на відповідну ширину, виміряну вздовж лінії поверхні води. Величина  $d$  (що виражає ширину), приймається такою, що дорівнює півсумі відстаней до найближчих двох вертикалей. Відповідно до рис. 4.1 повна витрата  $Q$  розраховується так:

$$Q = \bar{v}_1 d_1 \left( \frac{b_2 + b_1}{2} \right) + \bar{v}_2 d_2 \left( \frac{b_1 + b_2}{2} \right) + \dots + \bar{v}_n d_n \left( \frac{b_n + b_{n-1}}{2} \right) \quad (5.4)$$

#### 4.2.3 Графічні методи розрахунку витрати води

Існує низка графічних методів розрахунку витрати води, такі як:

– *метод інтегрування швидкостей і глибин*: першим етапом опрацювання матеріалу цим методом є побудова для кожної вертикалі епюри розподілу швидкості течії за глибиною. Площа епюри являє собою добуток середньої швидкості на повну глибину на вертикалі. Величини цих добуток відкладають угору від лінії, що зображає поверхню води, і по отриманих у такий спосіб точках проводять криву. Площа, укладена між цією кривою і лінією поверхні води, являє собою витрату води в даному поперечному перерізі;

– *метод ізотак*: на підставі епюр швидкостей на вертикалях будують діаграму розподілу швидкостей у поперечному перерізі, що зображує лінії рівних швидкостей (ізотак). За допомогою планіметра вимірюють площі, укладені між ізотаксами і лінією поверхні води, починаючи від ізотакси з найбільшою швидкістю. Далі будується інша діаграма, на якій за віссю ординат відкладаються швидкості, а за віссю абсцис – відповідні площі. Площа, обмежена отриманою лінією зв'язку, являє собою величину витрати води в даному поперечному перерізі (ISO, 1979b).

## 5. ВПЛИВ ЗМІН КЛІМАТУ НА ВНУТРІШНЬОРІЧНИЙ РОЗПОДІЛ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

### 5.1 Розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг

Рівняння водного балансу є одним із проявів загального закону збереження енергії. На його основі розглядається зв'язок між надходженням та витратами й процес акумуляції води на водозборі.

Залежно від досліджуваного природного об'єкта і розрахункового інтервалу часу рівняння водного балансу може включати різні елементи, отже, мати різне написання та може бути представлено у вигляді

$$P = E + Y_{нов} + Y_{нідз} \pm W \pm \mu \quad (5.1)$$

де  $P$  – опади, мм;  $E$  – випаровування з поверхні водозбору, мм;  $Y_{нов}$  – поверхневий стік, мм;  $Y_{нідз}$  – підземний стік, мм;  $\pm \mu$  – нев'язка розрахунку водного балансу;  $\pm W$  – зміна запасів вологи в ґрунтах басейну, а також у русловій мережі, озерах та болотах, що розташовані у межах басейну. Знак «+» вказує на накопичення, а «-» – на витрату запасів води на водозборі.

Якщо суму  $Y_{нов} + Y_{нідз}$  позначити, як сумарний стік  $Y$ , то отримаємо наступне рівняння

$$P = E + Y \pm W. \quad (5.2)$$

Для багаторічного періоду зміна запасів вологи в межах річкового водозбору становить близько нуля ( $\pm W=0$ ), тоді отримаємо рівняння

$$P_0 = E_0 \pm Y_0, \quad (5.3)$$

де  $P_0$  – середня багаторічна величина опадів;

$E_0$  – середня багаторічна величина випаровування з водозбору;

$Y_0$  – середня багаторічна величина стоку.

Складові водного балансу розраховують за гідрологічний рік. *Гідрологічний рік* – являє собою річний інтервал, що містить періоди накопичення та витрачання води в річковому басейні [1]. В межах гідрологічного року режим річки характеризується спільними рисами його формування та стану, зумовленими сезонними змінами клімату.

За початок гідрологічного року приймають той місяць, коли виконується нерівність

$$P > R + E. \quad (5.4)$$

За закінчення гідрологічного року приймають місяць, коли виконується нерівність

$$P < R + E. \quad (5.5)$$

Тож, початок кожного гідрологічного року є індивідуальним для різних річок. Проте, для спрощення розрахунків приймають постійні межі гідрологічного року, які відносяться до початку одного з місяців. Відповідно до рекомендацій [1] за початок гідрологічного року у даному дослідженні прийнято – 1 листопада.

Досить складною задачею при розрахунку водного балансу є визначення випаровування з поверхні водозбору ( $E$ , мм), оскільки, на відміну від опадів та характеристик річкового стоку, систематичні спостереження за випаровуванням на гідрометеорологічній мережі України не ведуться, тому методи випарників та турбулентної дифузії не можуть бути використані [2].

В такому випадку, при визначенні сумарного випаровування з великих територій вдаються до методів, заснованих на використанні рівнянь водного або теплового балансів, а також до різних емпіричних формул та графіків [2].

Практично всі розрахункові методи мають в основі кліматичні показники. Основними з яких є радіаційний баланс за період вегетації фітоценозу, суми

середніх добових дефіцитів вологості і температури повітря за спільний період спостережень та швидкість вітру. Такі розрахункові методи визначення випаровування в поверхні річкового водозбору можна поділити на окремі групи, в залежності від того, які метеорологічні показники використовуються для розрахунку [2].

Розрахунок випаровування з поверхні водозбору на розглядуваній території виконано при застосуванні методу А.Р. Костянтинова, який заснований на теорії турбулентної дифузії та дозволяє достатньо просто і швидко виконати розрахунки при наявності стандартних метеорологічних спостережень – температури та абсолютної вологості повітря [1].

#### 5.1.1 Розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг

Виходячи з доступності вихідних даних розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг виконано при застосуванні методу А.Р. Костянтинова. Рекомендована за методом А.Р. Костянтинова тривалість розрахункового періоду – від декади до двох-трьох місяців. Найбільш зручним періодом для розрахунку сумарного випаровування з поверхні річкових водозборів є місяць. Тому у роботі випаровування з поверхні водозбору виконано для кожного місяця року за багаторічний період.

Середньомісячні значення випаровування в басейні річки Південний Буг визначено за 40-річний період (з 1980 по 2020 рр.) для 7 метеостанцій за методом А.Р. Констянтинова. З цією метою виконано збір температури повітря та абсолютної вологості повітря з листопада 1980 по жовтень 2020 рр. за даними метеорологічних щомісячників ЦГО.

Середньомісячні значення температури та абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг осереднені за період з 1980 по 2020 рр. представлені у дод. 1 та дод. 2 відповідно.

Встановлено, що найнижчі середньомісячні значення температури повітря (осереднені за 40-ний період) в басейні річки Південний Буг на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні і коливаються від  $-3,2$  до  $-4,0$  °С (рис. 5.1). Найвищі середньомісячні значення температури повітря в басейні річки Південний Буг на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у липні і коливаються від  $19,0$  до  $21,4$  °С.

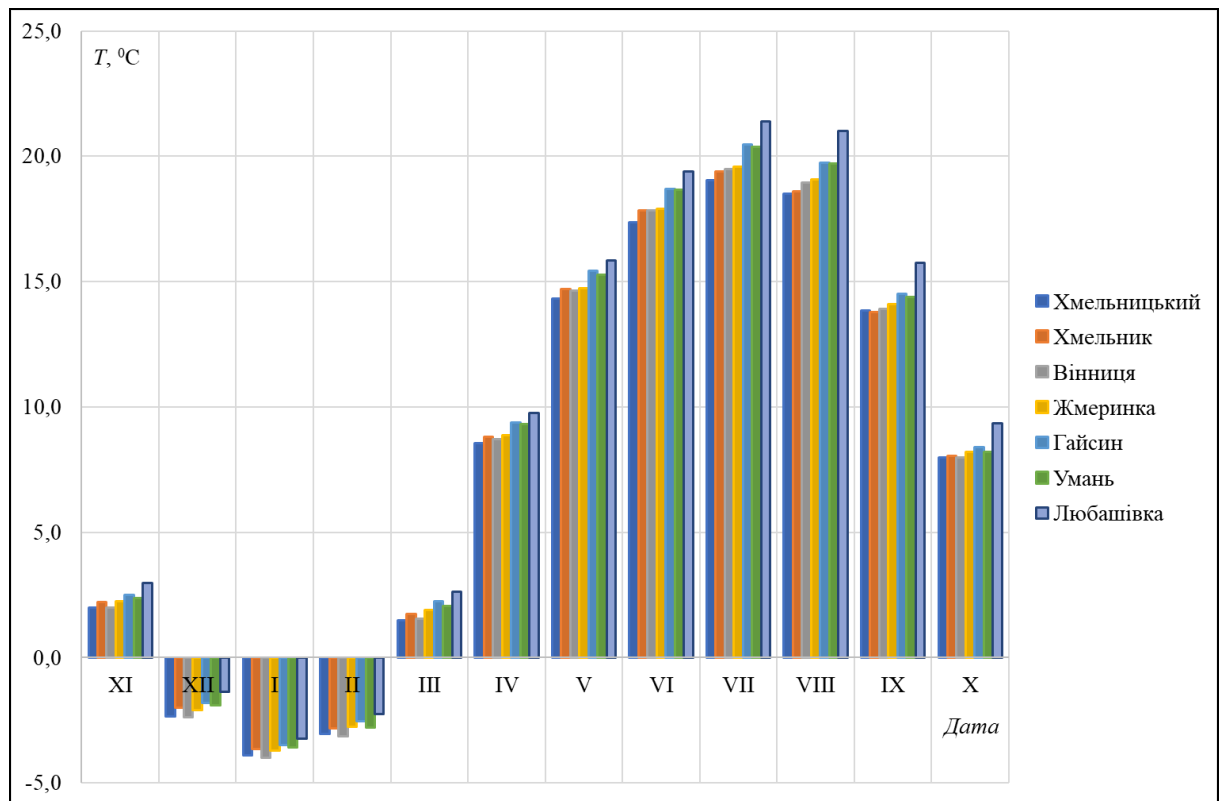


Рисунок 5.1. Середньомісячна температура повітря в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Найнижчі середньомісячні значення абсолютної вологості повітря (осереднені за 40-ний період) в басейні річки Південний Буг на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні і коливаються від  $4,2$  до  $4,4$  мб (рис. 5.2). Найвищі середньомісячні значення абсолютної вологості повітря спостерігаються у липні і коливаються на досліджуваних метеостанціях від  $15,8$  до  $16,7$  мб.

Для розрахунку випаровування за методом А.Р. Констянтинова до середньомісячних значень температури та абсолютної вологості повітря для всіх



місяців, окрім грудня, січня та лютого, були введені поправки на сезонний хід температури повітря та вологості повітря. Поправки визначені методом лінійної інтерполяції з таблиць представлених у [13].

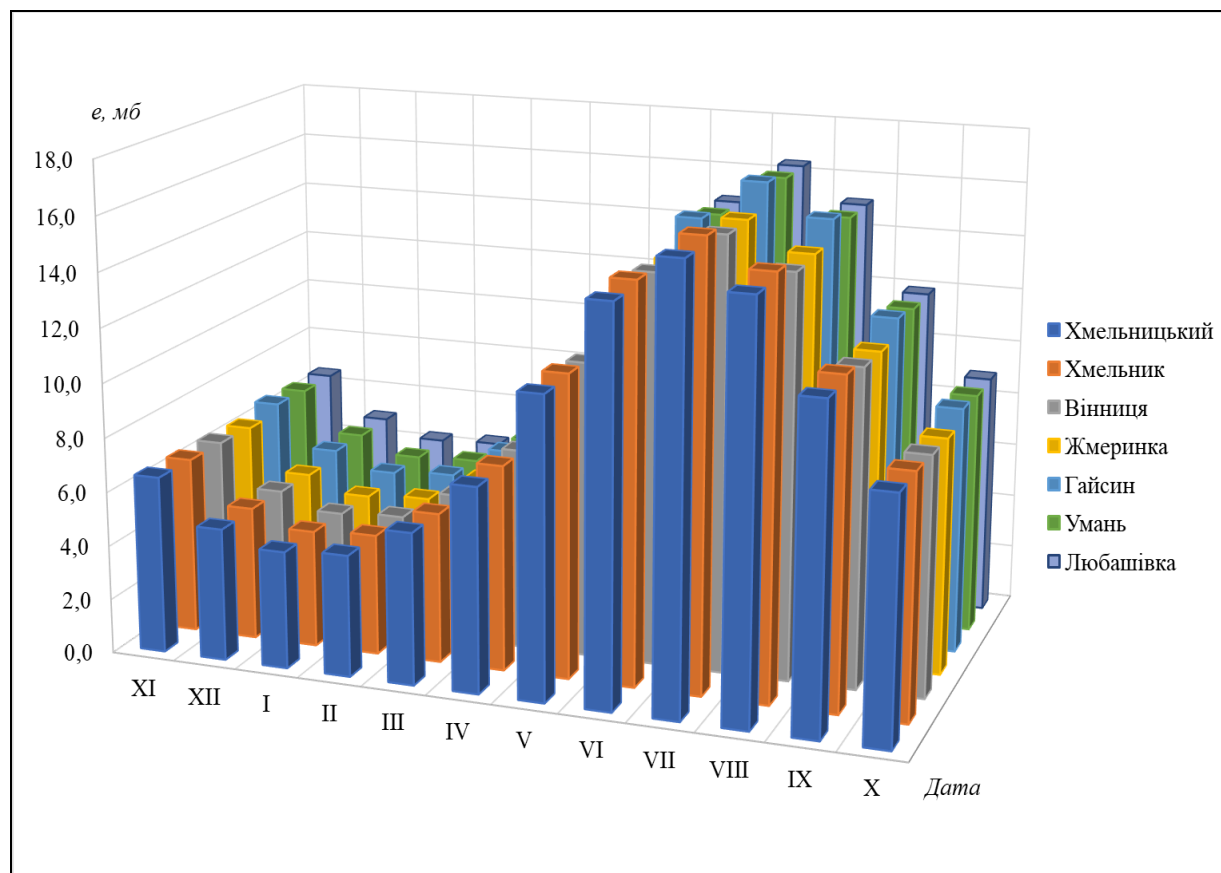


Рисунок 5.2. Середньомісячна абсолютна вологість повітря в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Далі за даними температури та абсолютної вологості повітря (з урахуванням внесених правок) було визначено величини середньомісячних значень випаровування. Величини випаровування для зимового періоду визначено з окремих таблиць без врахування поправкових коефіцієнтів.

Результати обчислення середньомісячних значень випаровування за методом А.Р. Константинова для 7 метеостанцій в басейні річки Південний Буг за 40-річний період (з 1980 по 2020 рр.) представлено на рис. 5.3 та в дод. 3.

Встановлено, що найнижчі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 40-ний період) спостерігаються у січні і коливаються від 4,7 до 5,6, мм (рис. 5.3). Найвищі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 40-ний період) в басейні річки Південний Буг на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у липні і коливаються від 82,5 до 94,4, мм.

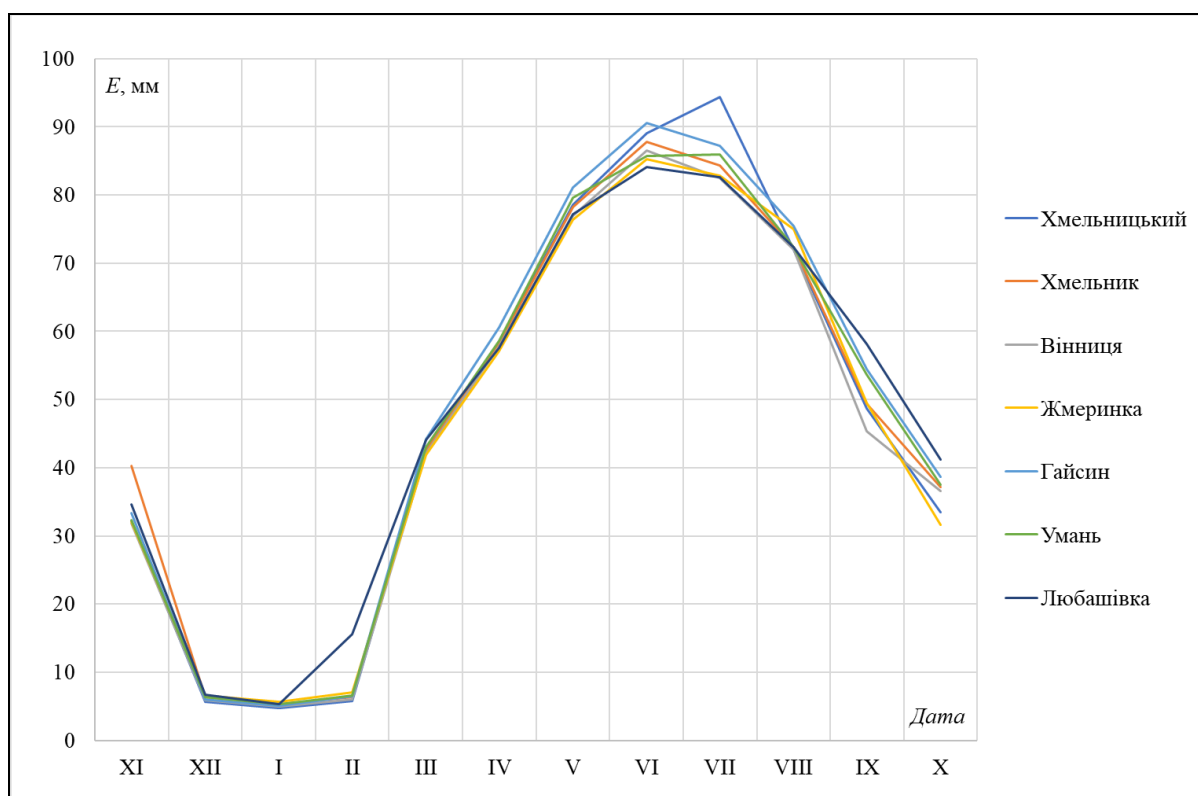


Рисунок 5.3. Розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Аналізуючи отримані результати розрахунку випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг можна побачити, що значення випаровування у різні місяці значно відрізняються та залежать від значень температури та абсолютної вологості повітря (рис. 2.5). При збільшенні значень температури та абсолютної вологості повітря підвищуються і значення випаровування.

### 5.1.2 Розрахунок опадів в басейні річки Південний Буг

Опади є прихідною складовою водного балансу річок і з року в рік вони можуть варіюватися в широких межах. В роботі досліджено середньомісячні значення опадів в басейні річки Південний Буг осереднені за 40-річний період (з 1980 по 2020 рр.) для 7 метеостанцій.

Встановлено, що найнижчі значення опадів (осереднені за 40-ний період) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні та лютому – 32 мм. Найвищі значення опадів на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у червні і становлять 91 мм (рис. 5.4).

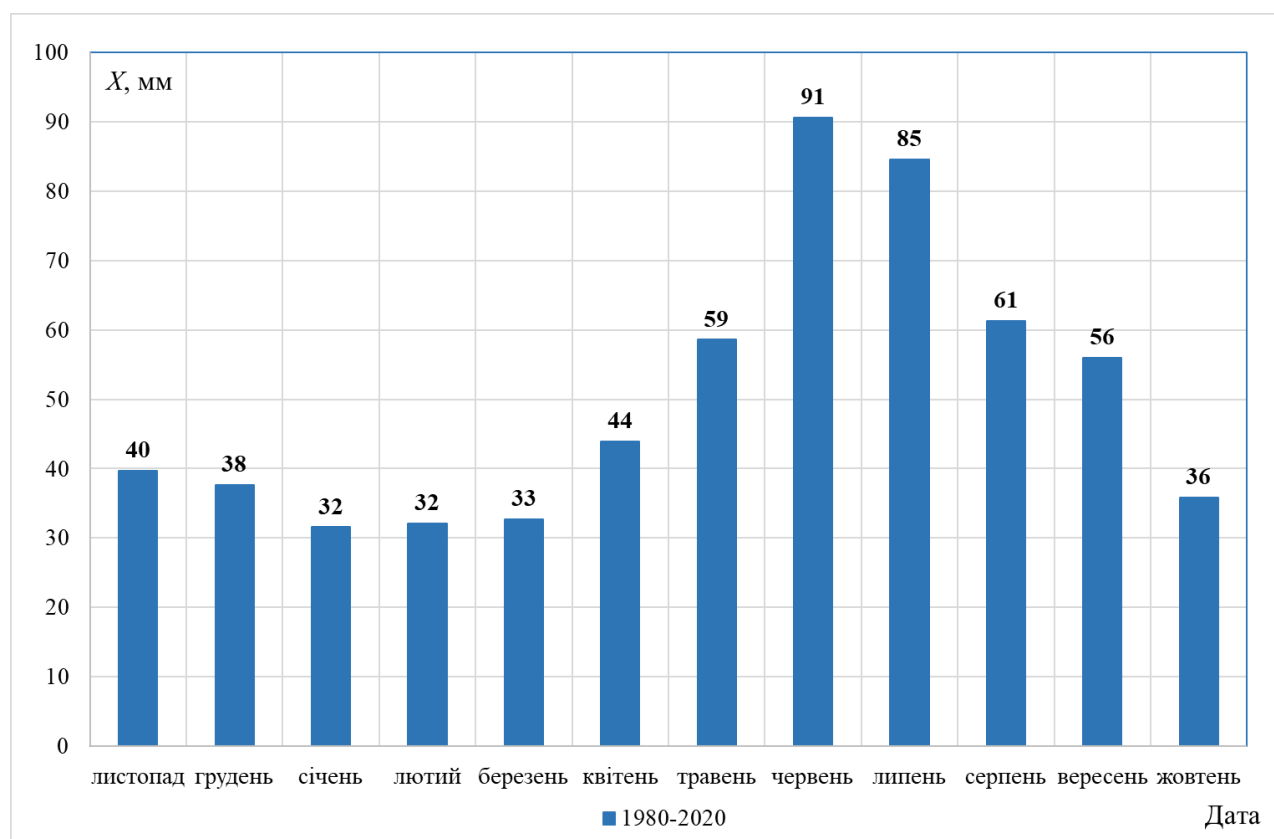


Рисунок 5.4. Розрахунок середніх по водозбору опадів в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

### 5.1.3 Розрахунок шарів стоку в басейні річки Південний Буг

У роботі виконано розрахунок значень середньомісячних витрат води в басейні річки Південний Буг та осереднено їх за 40-ний період. Для використання стокових характеристик при розрахунку водного балансу середньомісячні витрати води було перераховано в шари стоку за допомогою існуючих формул.

Встановлено, що найнижчі значення шарів стоку в басейні річки Південний Буг (осереднені за 40-ний період) спостерігаються у серпні – 4 мм. Найвищі значення шарів стоку на досліджуваній спостерігаються у квітні і становлять 9 мм (рис. 5.5).

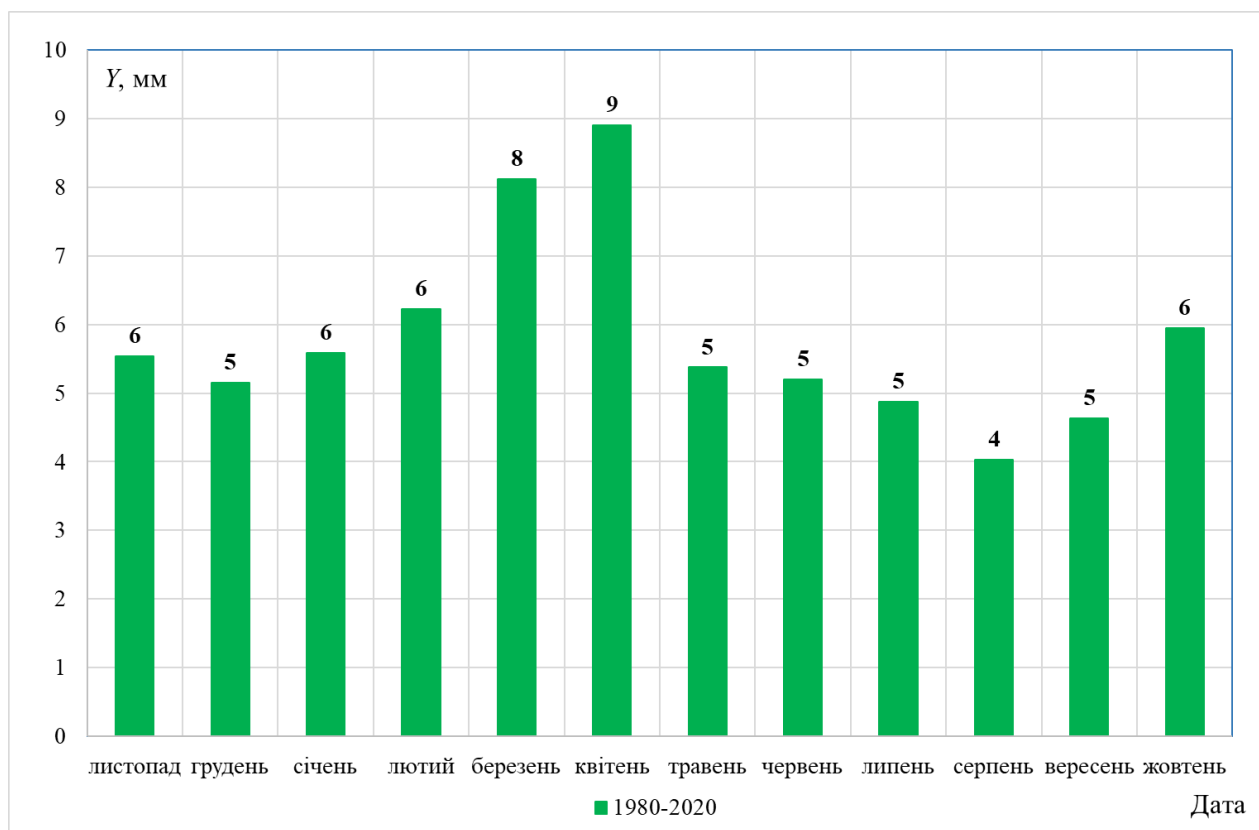


Рисунок 5.5. Розрахунок шарів стоку в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

## 5.2 Зміни клімату в басейні річки Південний Буг

З кожним роком дослідження змін клімату України стають все більш актуальними та затребуваними [1]. Це пов'язано з тривалим трендом температури повітря по всій території країни, який свідчить про підвищення температури повітря [2]. Спостерігається збільшення повторюваності небезпечних метеорологічних явищ у різних областях України [3].

Щороку кліматологи фіксують кліматичні рекорди, які супроводжуються аномально теплими зимами та зміщенням сезонів [4]. Спостерігається перерозподіл опадів у часі та просторі [5].

В останні десятиріччя за рахунок підвищення температури повітря спостерігається тенденція до підвищення абсолютної вологості [6] і, в свою чергу, зниження відносної вологості, що впливає на величину випаровування з поверхні водозборів і водойм.

Спостерігається зміщення меж природно-кліматичних зон країни на 100-150 км на північ [7]. Значний вплив кліматичних змін відображається і у гідрологічному режимі річок України [8]. Підвищення температури повітря [9], особливо у холодний період року, впливає на умови формування та накопичення снігового покриву.

Автором [10] встановлено початок суттєвого впливу змін клімату на водний режим річок України, який припадає на 1989 рік, не виключенням є й басейн річки Південний Буг.

З метою дослідження впливу змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг, виконано ретроспективний (станом на 2020 р.) аналіз часових рядів гідрометеорологічних чинників і характеристик річного стоку річок басейну р. Південний Буг.

### 5.3 Дослідження часових тенденцій гідрометеорологічних характеристик в умовах сучасних кліматичних змін

З метою дослідження часових тенденцій гідрометеорологічних характеристик в умовах сучасних кліматичних змін у даному дослідженні побудовано хронологічні графіки середньорічних температур повітря, опадів та шарів стоку за даними окремих метеорологічних станцій та гідрологічних постах в басейні річки Південний Буг, а також їх різницеви інтегральні криві.

Аналіз часових тенденцій гідрометеорологічних характеристик та виділення циклів водності за хронологічними рядами стоку є непростю задачею. Направленість тренду та значимість тренду визначити не складно, оцінити тенденцію можна навіть візуально. А ось визначення тривалості та меж циклів водності на основі хронологічних графіків коливань річного стоку досить важко, оскільки на загальному фоні маловодних років можуть виділятися окремі роки високої водності і навпаки [].

Щоб зменшити прояв властивостей кожного з окремих років, використовують методи механічного вирівнювання рядів або згладжування. Одним із найпростіших методів згладжування є розрахунок ковзних середніх або рухомих середніх [].

Для виділення фаз і циклів водності в роботі використано різницеви інтегральні криві, ординати яких являють собою послідовне накопичення відхилень величин стоку від середнього значення. Порівняння кривих легше виконувати при їх представленні у вигляді безрозмірних, тобто модульних, коефіцієнтів стоку. Середнє багаторічне значення модульного коефіцієнта завжди дорівнює одиниці. Цикли малої тривалості (декілька років) не враховуються. Виключаються також неповні цикли, які містять у собі тільки багатоводну або тільки маловодну фази [].

В даному дослідженні розраховано трирічні ковзні середньорічних температур та вологості повітря, сумарних річних опадів та шарів стоку в басейні річки Південний Буг осереднені за 40-річний період спостережень (1980-2020 рр.).

Хронологічні графіки температури повітря в басейні річки Південний Буг за даними окремих метеорологічних станцій в басейні річки Південний Буг (рис. 5.6), які вказують на наявність вираженої загальної тенденції до підвищення температур повітря, що безумовно впливає й на величину випаровування на басейні, яка входить до рівняння водного балансу, як показник втрат на річкових водозборах.

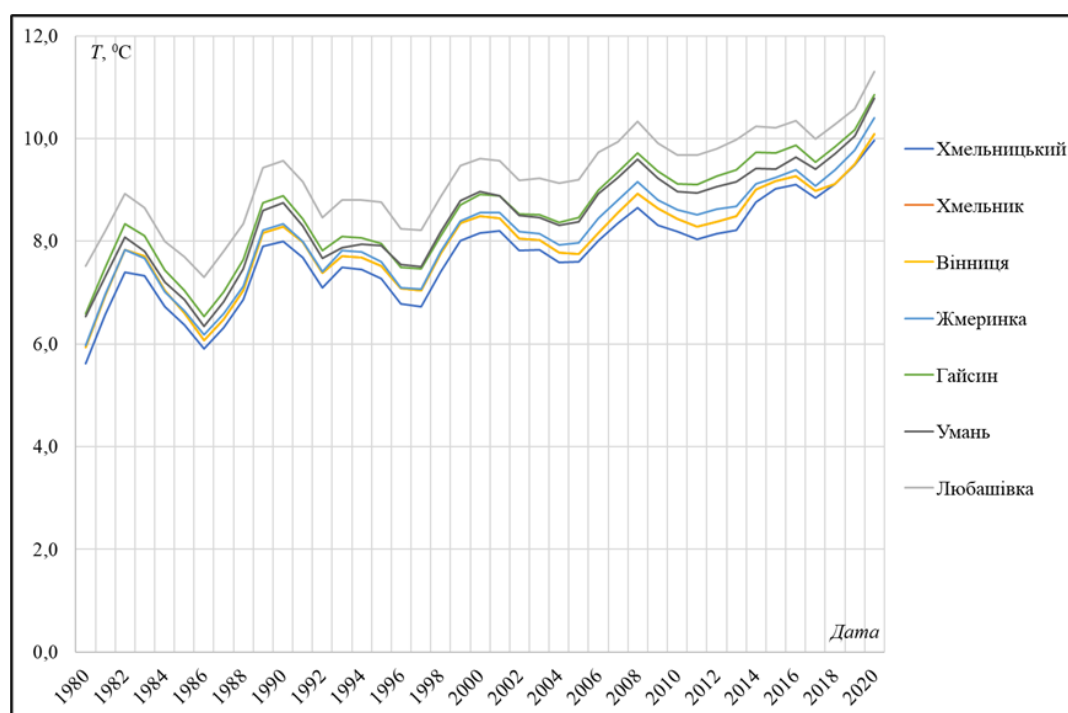


Рисунок 5.6. Хронологічні графіки середньорічних температур повітря (у вигляді трирічних ковзних) в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Різницеві інтегральні криві середніх річних значень температури повітря (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) мають циклічний характер та показують, що на фоні чітко вираженої загальної тенденції до підвищення температур повітря можна виділити декілька періодичностей їх коливань – спадна фаза до 1998 року та додатна фаза з 1999 по 2020 рр. (рис. 5.7).

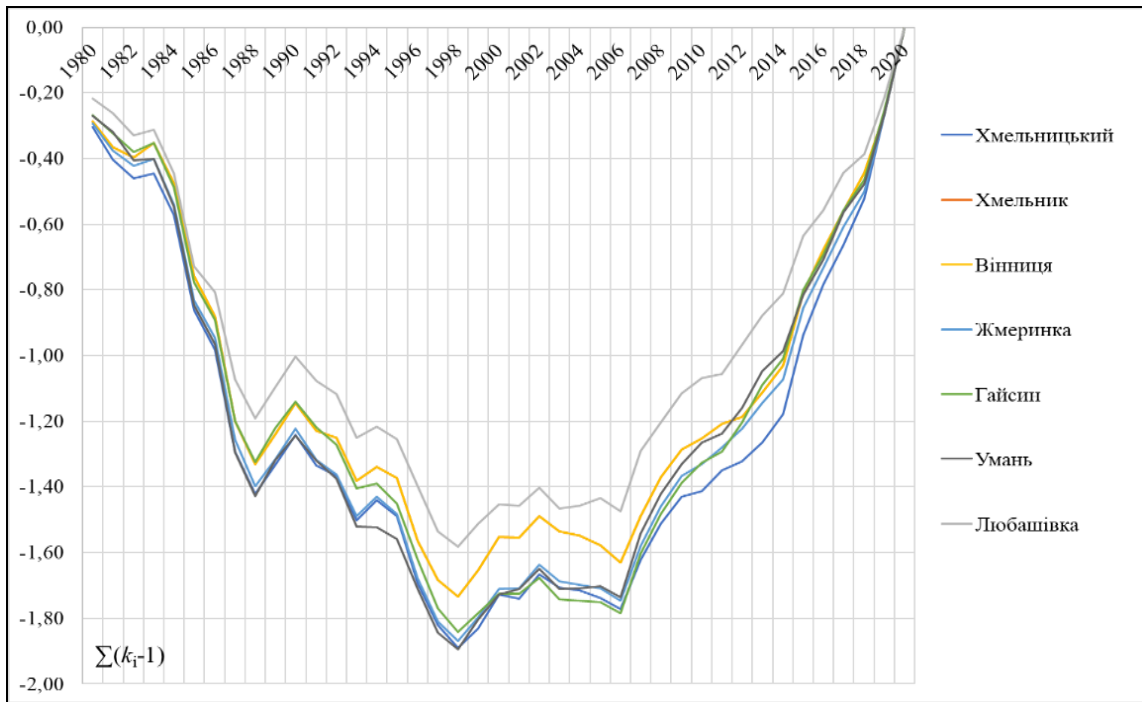


Рисунок 5.7. Різницеві інтегральні криві середніх річних значень температури повітря в басейні річки Південний Буг

Хронологічні графіки абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) за даними окремих метеорологічних станцій в басейні річки Південний Буг (рис. 5.8) вказують на наявність загальної тенденції до підвищення значень у багаторічному періоді.

Різницеві інтегральні криві середніх річних значень абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) мають циклічний характер при тенденції до їх зменшення з початку досліджуваного періоду до 1998 року. Починаючи з 1998 року спостерігається тенденція до зростання значень абсолютної вологості повітря (рис. 5.9).

Сумарні річні опади, які є прибутковою частиною водного балансу річок мають тенденцію до зменшення (рис. 5.10).

Сумарні річні опади мають циклічний характер при тенденції до їх зменшення з 1980 року, зростання з 1995 року та знову зменшення по 2020 р. (рис. 5.11).



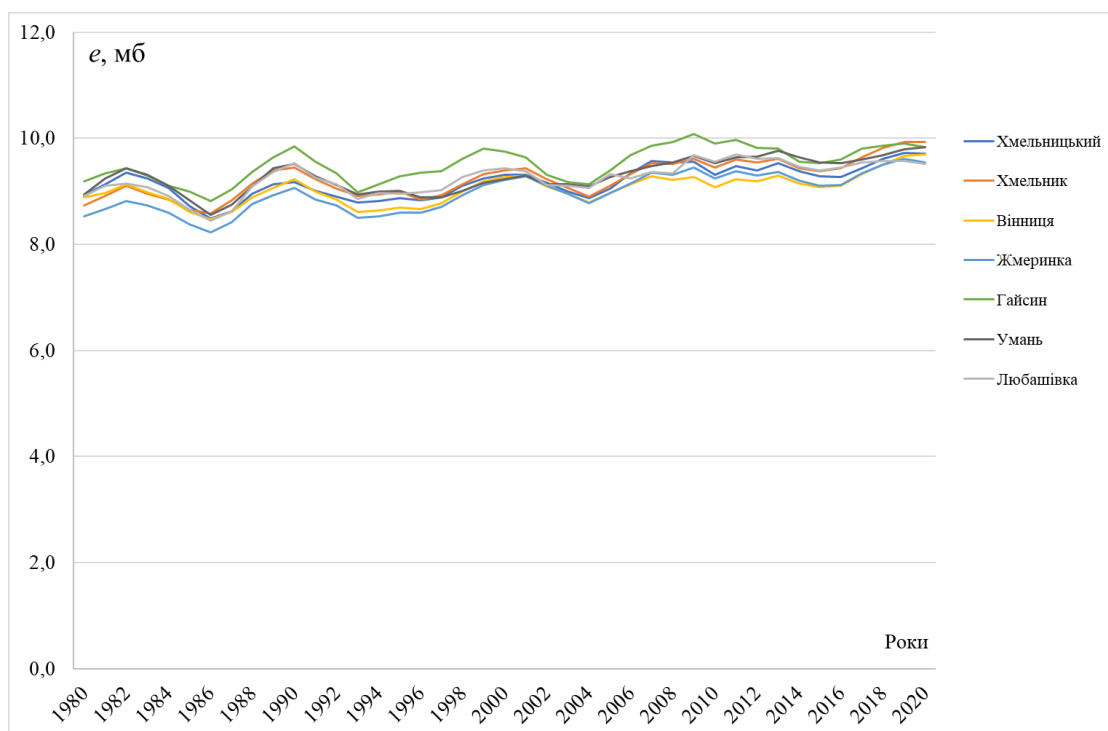


Рисунок 5.8 Хронологічні графіки середньорічних значень абсолютної вологості повітря (у вигляді трирічних ковзних) в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

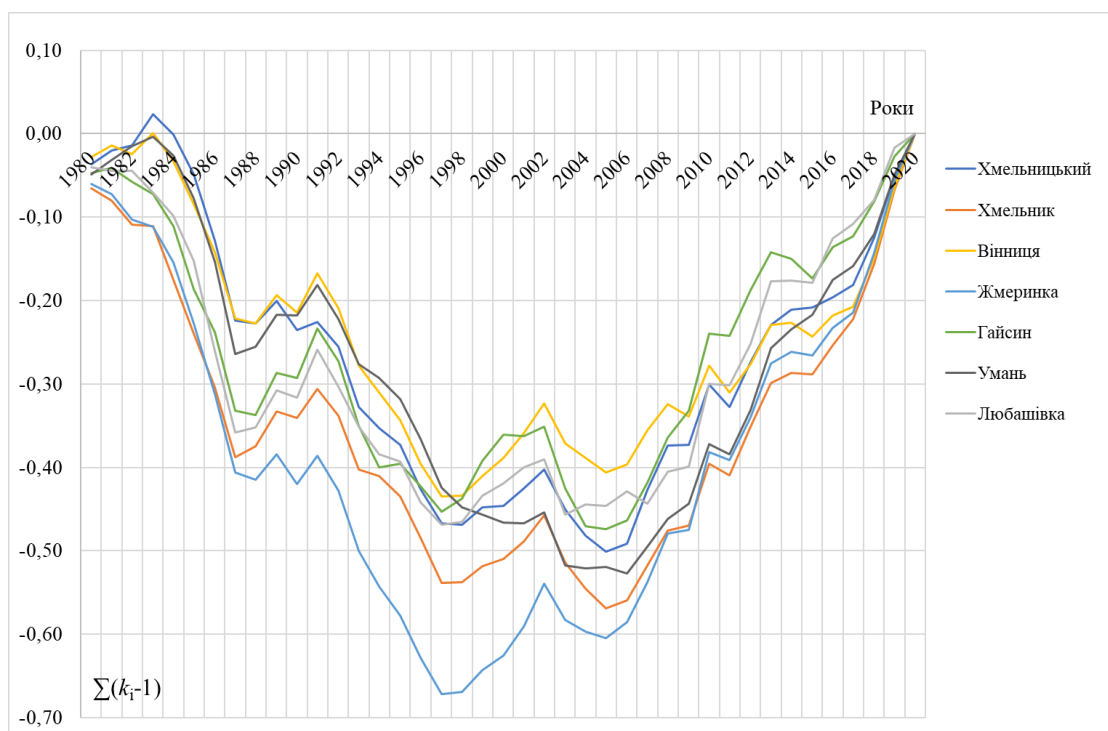


Рисунок 5.9. Різницеві інтегральні криві середніх річних значень абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

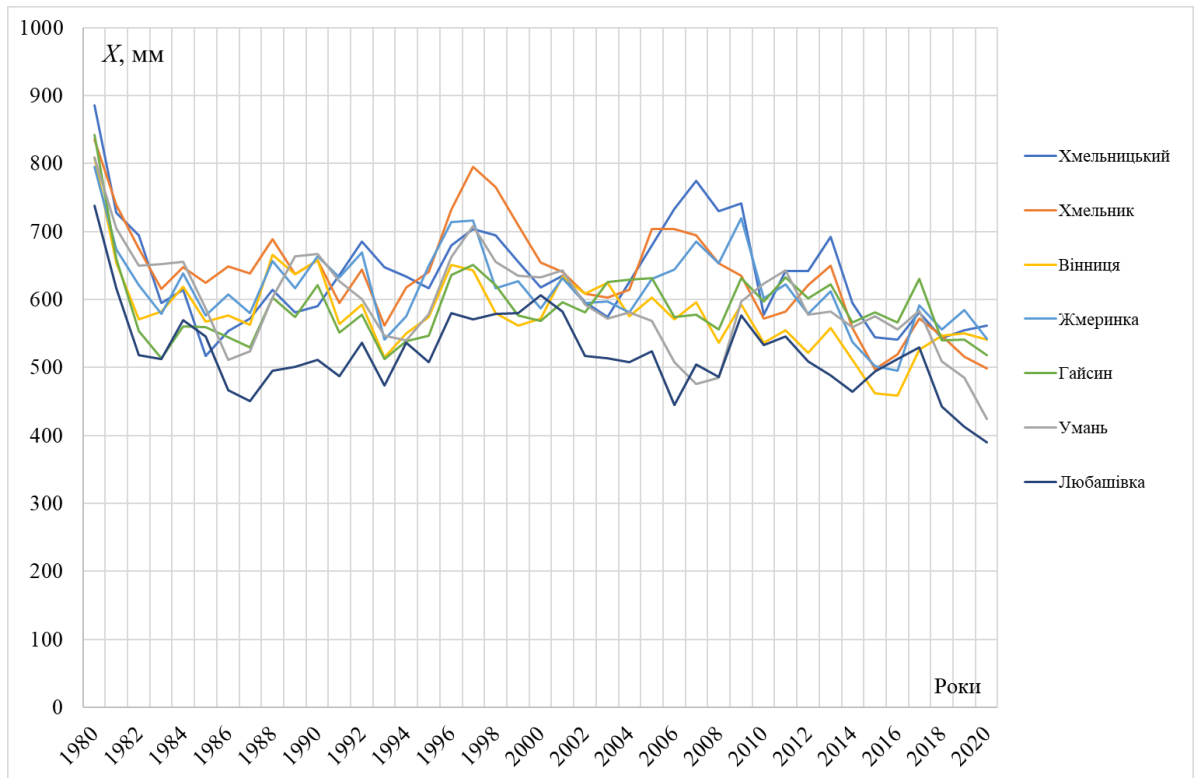


Рисунок 5.10. Хронологічні графіки середньорічних значень опадів (у вигляді трирічних ковзних) в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

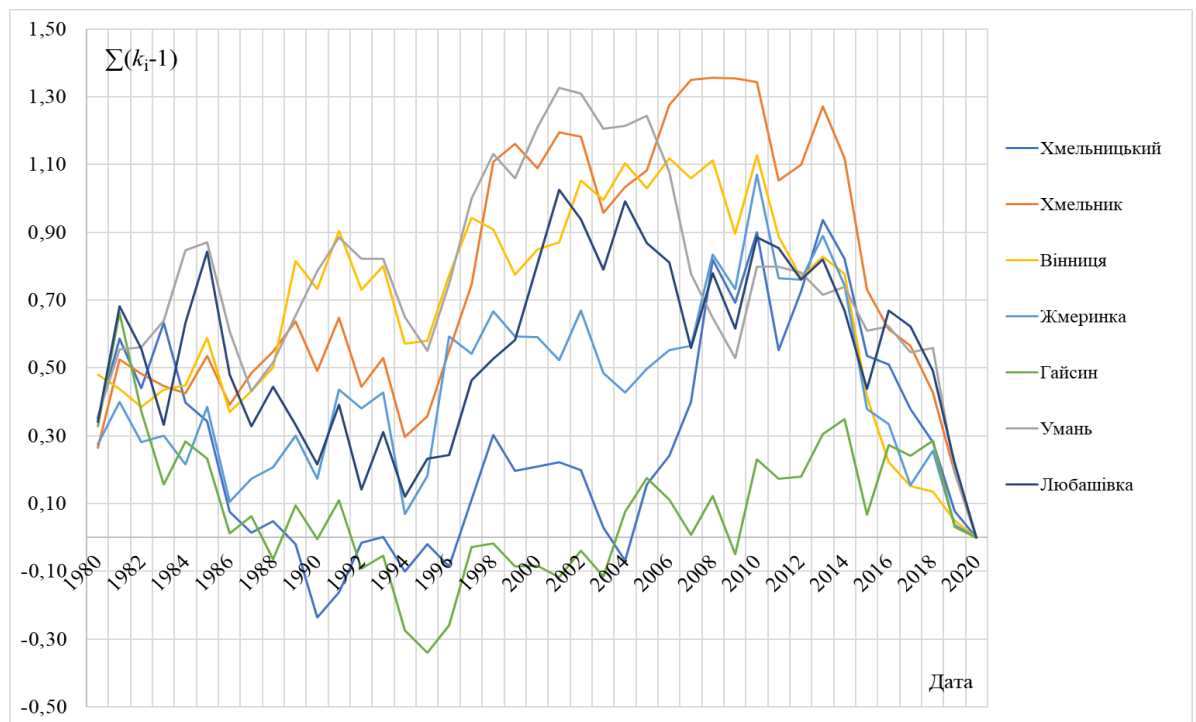


Рисунок 5.11. Різницеві інтегральні криві середніх річних значень опадів в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Хронологічні графіки шарів річного стоку (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) на річках басейну Південного Бугу (рис. 5.12) показують, що спостерігається тенденція до зниження значень у багаторічному періоді, а різницеві інтегральні криві (рис. 5.13) вказують на наявність циклічності в коливаннях річного стоку річок досліджуваної території – підвищення стоку до кінця 90-х років минулого століття, зменшення до 1995 року, потім підвищення до початку 2000-х років і далі знов зменшення (за винятком окремих постів).

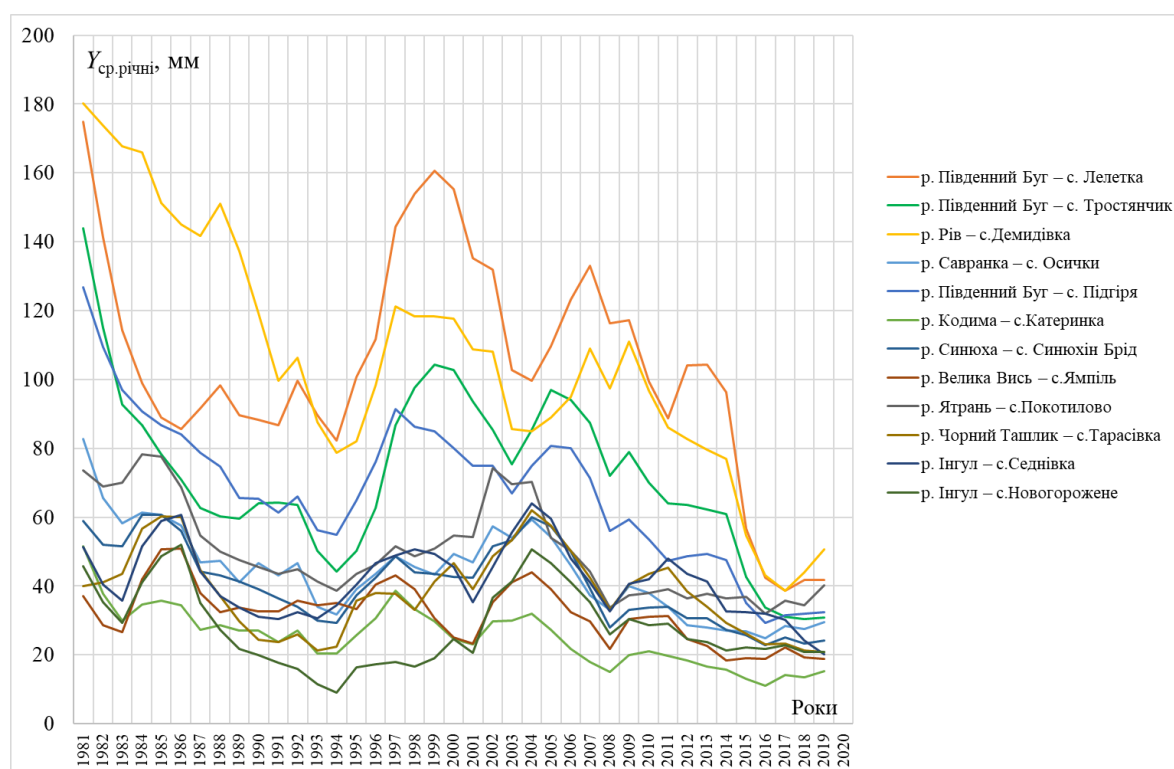


Рисунок 5.12. Хронологічні графіки середньорічних значень шарів стоку (у вигляді трирічних ковзних) в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Хронологічні графіки та різницеві інтегральні криві шарів річного стоку на річках басейну Південного Бугу є переважно синхронними, тобто, спостерігається однаковий хід водності протягом всього інтервалу часу.

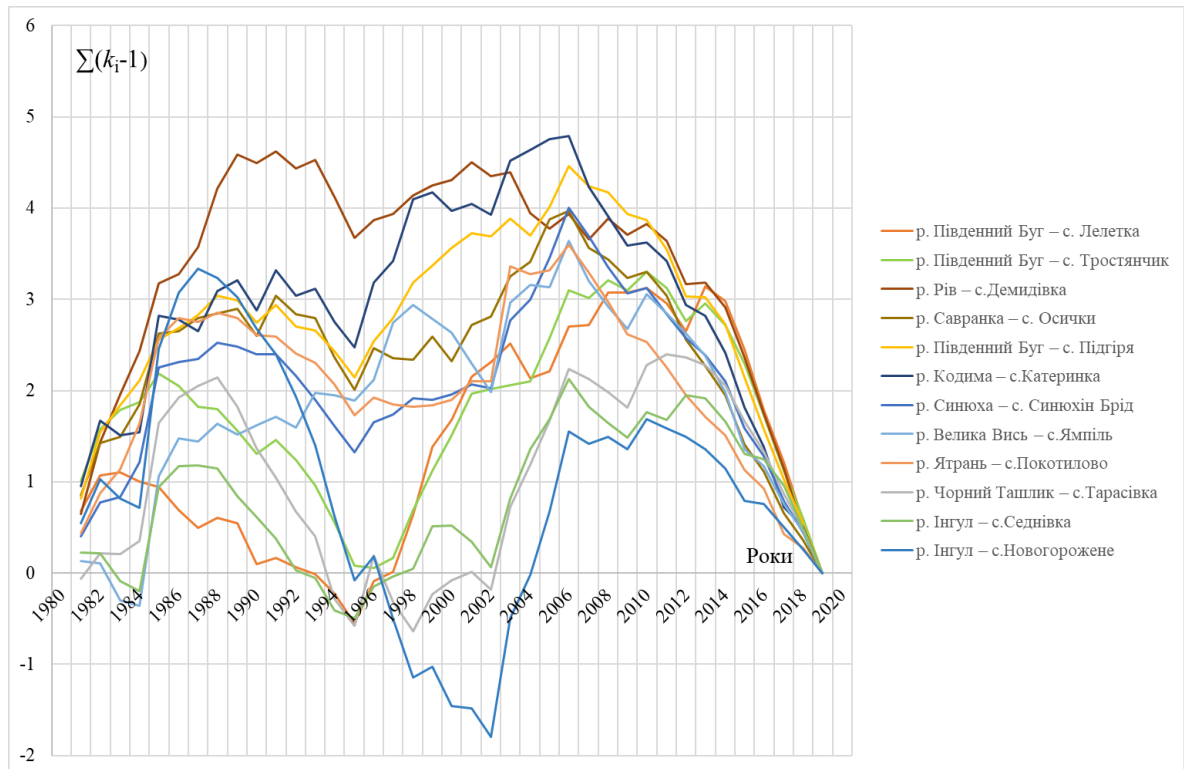


Рисунок 5.13. Різницеви інтегральні криві середніх річних значень шарів стоку в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

Зміни клімату проявляються як через відхилення середніх річних значень, так і досить суттєвими відмінностями в межах окремих сезонів та періодів року. Для того, щоб оцінити такі зміни, у наступному пункті було побудовано графіки внутрішнього розподілу значень кожної зі складових водного балансу, зокрема, атмосферних опадів, випаровування та шарів стоку в басейні річки Південний Буг за два розрахункові періоди (два двадцятиріччя).

#### 5.4 Внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг в умовах змін клімату

Внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг (опадів, випаровування та шарів стоку) за два розрахункові періоди представлено на рис 5.14-5.16.

Середньомісячні опади осереднені за два розрахункові періоди (1980-

2000 рр. та 2001-2020 рр.) представлені на прикладі метеостанції Хмельницький. Аналізуючи опади за два двадцятирічних періоди можна спостерігати, що опади переважно зменшилися у другий розрахунковий період відносно першого, проте у зимовий період (грудень-лютий) та травень, жовтень спостерігається підвищення значень опадів (рис. 5.14).

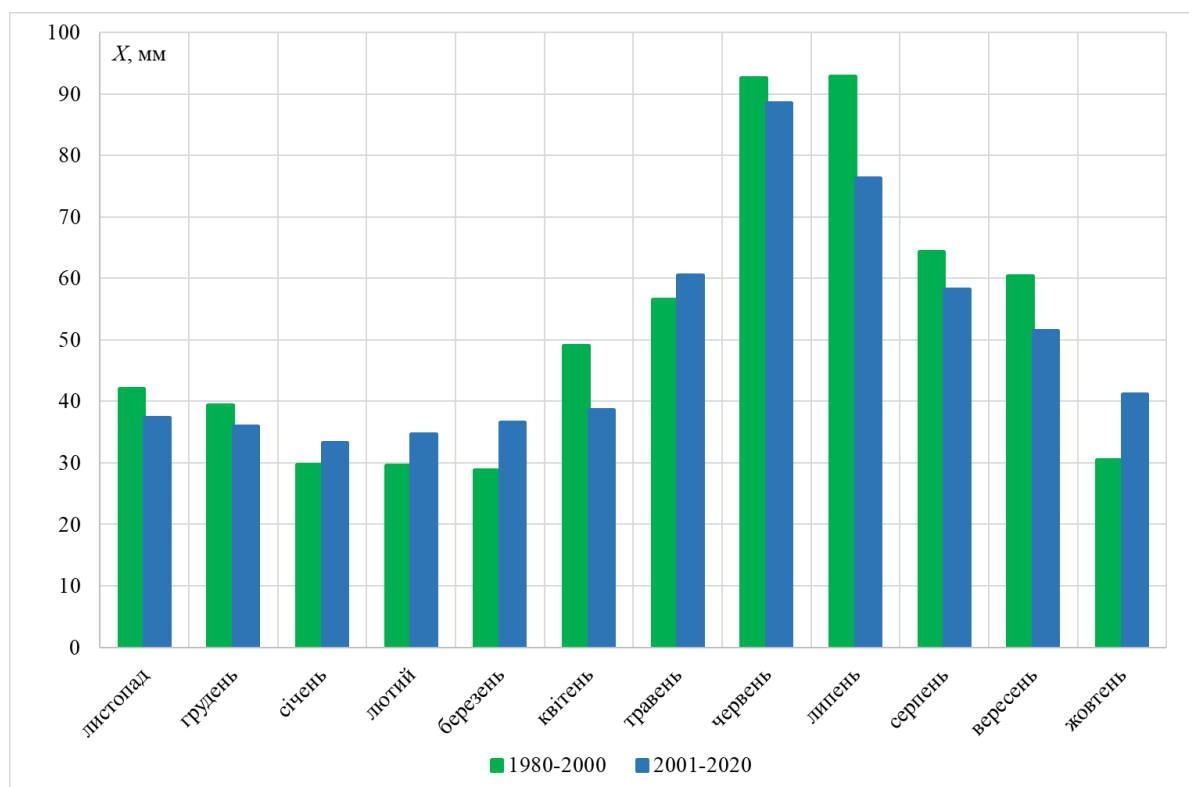


Рисунок 5.14. Середньомісячні опади осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) для метеостанції Хмельницький

Середньомісячні значення випаровування з поверхні водозбору осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) представлені на прикладі метеостанції Хмельницький, вказують на те, що за два двадцятирічних періоди можна спостерігати підвищення значення випаровування у зимовий період (грудень-лютий); навесні з березня по травень випаровування значно зменшилося; у літні місяці спостерігається переважно зменшення випаровування, окрім червня місяця; в осінній період випаровування дещо підвищилося, окрім вересня місяця (рис. 5.15).

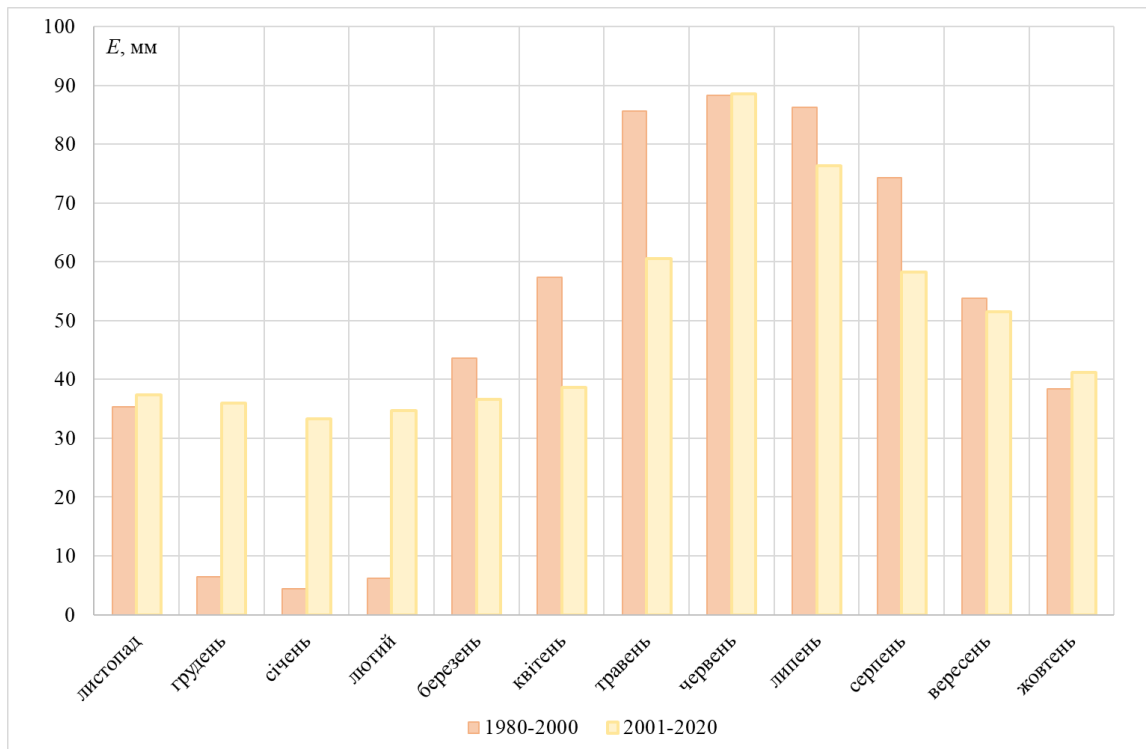


Рисунок 5.15. Середньомісячні значення випаровування з поверхні водозбору осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) для метеостанції Хмельницький

Середньомісячні значення шарів стоку осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) представлені на прикладі басейну р. Південний Буг – с. Тростяничок (рис. 5.16), вказують на те, що за два двадцятирічних періоди можна спостерігати зменшення значень шарів стоку протягом року у всі розрахункові місяці, окрім лютого місяця, де спостерігається незначне підвищення значень.

Аналіз складових водного балансу представлений на прикладі окремої метеостанції (м. Хмельницький) та водозбірного басейну (р. Південний Буг – с. Тростяничок) в басейні річки Південний Буг, проте тенденції до підвищення та зменшення значень характерні для всієї досліджуваної території.

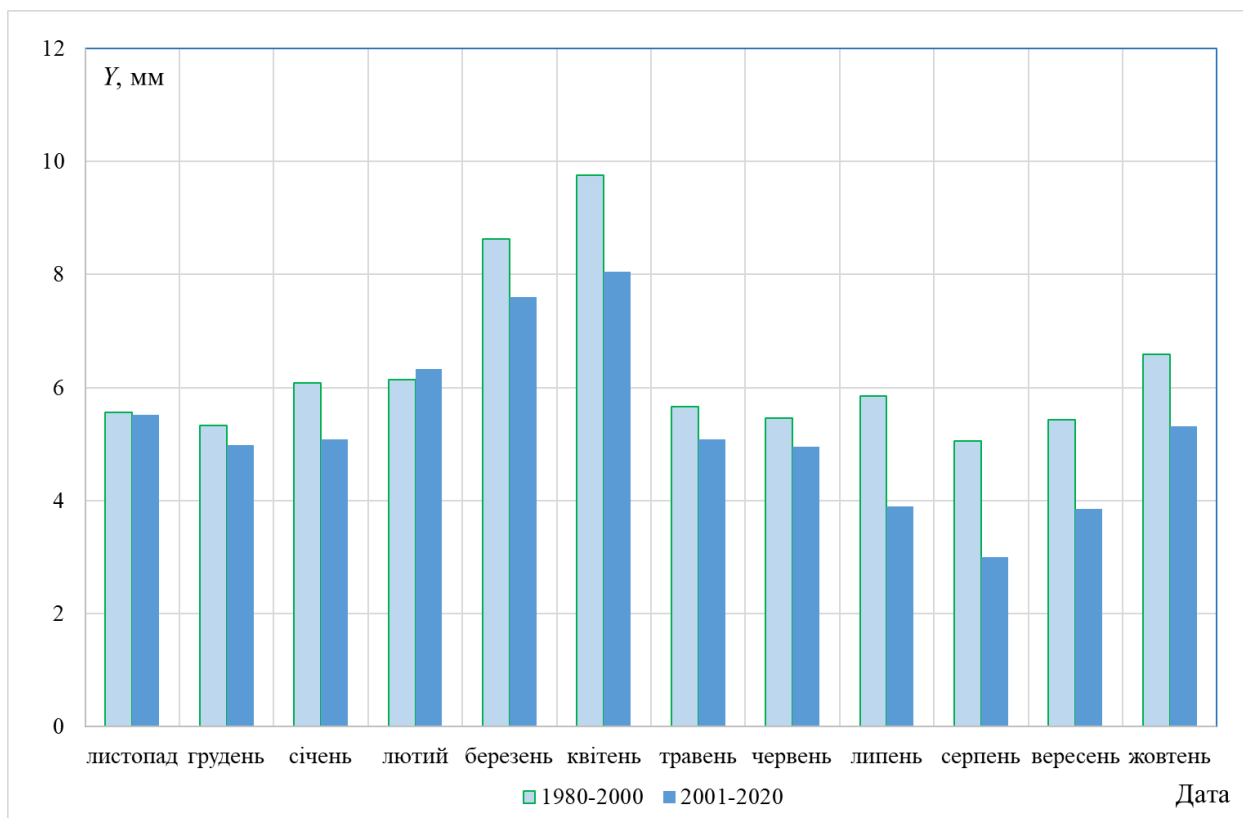


Рисунок 5.16. Середньомісячні значення шарів стоку осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) в басейні р. Південний Буг – с. Тростянчик

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра здійснено розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг за 40-ний період (з 1980 по 2020 рр.) та здійснено аналіз внутрішньорічного розподілу цих складових в басейні річки Південний Буг. При цьому:

1. Виконано аналіз фізико-географічних характеристик та характеристик водного річного режиму басейну річки Південний Буг. Встановлено, що досліджуваний басейн знаходиться в різних кліматичних і орографічних умовах, тому процеси формування стоку по території мають відмінності у водному режимі. Річний хід рівнів води на річках басейну у різних гідрологічних районах дещо відрізняється.

2. В роботі досліджено методи визначення опадів та вимірювання витрат (рівнів) води рекомендовані Всесвітньою метеорологічною організацією (WMO). Також виконано аналіз методів розрахунку випаровування з поверхні водозбору. Випаровування з водної поверхні можна визначити різними методами, наприклад такими, як: метод водного балансу; метод енергетичного балансу; методи перенесення маси; комбіновані методи; емпіричні формули.

Практично всі розрахункові методи мають в основі кліматичні показники. Основними з яких є радіаційний баланс за період вегетації фітоценозу, суми середніх добових дефіцитів вологості і температури повітря за спільний період спостережень та швидкість вітру. Такі розрахункові методи визначення випаровування в поверхні річкового водозбору можна поділити на окремі групи, в залежності від того, які метеорологічні показники використовуються для розрахунку.

Виходячи з доступності вихідних даних у даному дослідженні для розрахунку сумарного випаровування в басейні річки Південний Буг застосовано метод А.Р. Костянтинова, який заснований на теорії турбулентної дифузії та дозволяє достатньо просто і швидко виконати розрахунки при наявності стандартних метеорологічних спостережень – температури та абсолютної вологості повітря.



4. Визначено складові водного балансу в басейні річки Південний Буг.

4.1 В роботі досліджено середньомісячні значення опадів в басейні річки Південний Буг осереднені за 40-річний період (з 1980 по 2020 рр.) для 7 метеостанцій. Встановлено, що найнижчі значення опадів (осереднені за 40-ний період) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні та лютому – 32 мм. Найвищі значення опадів на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у червні і становлять 91 мм.

4.2 У роботі виконано розрахунок значень середньомісячних витрат води в басейні річки Південний Буг та осереднено їх за 40-ний період. Для використання стокових характеристик при розрахунку водного балансу середньомісячні витрати води було перераховано в шари стоку за допомогою існуючих формул. Встановлено, що найнижчі значення шарів стоку в басейні річки Південний Буг (осереднені за 40-ний період) спостерігаються у серпні – 4 мм. Найвищі значення шарів стоку на досліджуваній спостерігаються у квітні і становлять 9 мм.

4.3 Результати обчислення середньомісячних значень сумарного випаровування за методом А.Р. Константинова для 7 метеостанцій в басейні річки Південний Буг за 40-річний період (з 1980 по 2020 рр.) показали, що найнижчі середньомісячні значення випаровування спостерігаються у січні, найвищі – у липні та коливаються в середньому від 5,2 мм до 85, 7 мм відповідно. Аналізуючи отримані результати можна побачити, що значення випаровування у різні місяці значно відрізняються та залежать від значень температури та абсолютної вологості повітря.

5. Дослідження змін клімату України показали, що спостерігається позитивний тренд температури повітря по всій території країни, який свідчить про підвищення температури повітря. Разом з тим, спостерігається збільшення повторюваності небезпечних метеорологічних явищ у різних областях України. Щороку кліматологи фіксують кліматичні рекорди, які супроводжуються аномально теплими зимами та зміщенням сезонів. Спостерігається перерозподіл опадів у часі та просторі. В останні десятиріччя за рахунок підвищення температури повітря спостерігається тенденція до підвищення абсолютної вологості та зниження відносної вологості, що впливає на величину випаровування з поверхні водозборів і водойм. Спостерігається зміщення

меж природно-кліматичних зон країни на 100-150 км на північ. Значний вплив кліматичних змін відображається і у гідрологічному режимі річок України. Гребенем В.В. встановлено початок суттєвого впливу змін клімату на водний режим річок України, який припадає на 1989 рік, не виключенням є й басейн річки Південний Буг.

6. З метою дослідження впливу змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг, виконано ретроспективний (станом на 2020 р.) аналіз часових рядів гідрометеорологічних чинників і характеристик річного стоку річок басейну р. Південний Буг.

6.1 Побудовані хронологічні графіки температури повітря в басейні річки Південний Буг вказують на наявність вираженої загальної тенденції до підвищення температур повітря, що безумовно впливає й на величину випаровування на басейні, яка входить до рівняння водного балансу, як показник втрат на річкових водозборах.

Різницеві інтегральні криві середніх річних значень температури повітря (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) мають циклічний характер та показують, що на фоні чітко вираженої загальної тенденції до підвищення температур повітря можна виділити декілька періодичностей їх коливань – спадна фаза до 1998 року та додатна фаза з 1999 по 2020 рр.

6.2 Хронологічні графіки абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг за даними окремих метеорологічних станцій в басейні річки Південний Буг вказують на наявність загальної тенденції до підвищення значень у багаторічному періоді.

Різницеві інтегральні криві середніх річних значень абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг мають циклічний характер при тенденції до їх зменшення з початку досліджуваного періоду до 1998 року. Починаючи з 1998 року спостерігається тенденція до зростання значень абсолютної вологості повітря.

6.3 Сумарні річні опади, які є прибутковою частиною водного балансу річок мають тенденцію до зменшення. Сумарні річні опади мають циклічний характер при тенденції до їх зменшення з 1980 року, зростання з 1995 року та знову зменшення по 2020 р.

6.4 Хронологічні графіки шарів річного стоку (осереднені за період з 1980 по 2020 рр.) на річках басейну Південного Бугу (рис. 13) показують, що спостерігається тенденція до зниження значень у багаторічному періоді, а різницеві інтегральні криві (рис. 14) вказують на наявність циклічності в коливаннях річного стоку річок досліджуваної території – підвищення стоку до кінця 90-х років минулого століття, зменшення до 1995 року, потім підвищення до початку 2000-х років і далі знов зменшення (за винятком окремих постів).

Хронологічні графіки та різницеві інтегральні криві шарів річного стоку на річках басейну Південного Бугу є переважно синхронними, тобто, спостерігається однаковий хід водності протягом всього інтервалу часу.

7. Досліджено внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг в умовах змін клімату.

7.1 Середньомісячні опади осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.). Аналізуючи опади за два двадцятирічних періоди можна спостерігати, що опади переважно зменшилися у другий розрахунковий період відносно першого, проте у зимовий період (грудень-лютий) та травень, жовтень спостерігається підвищення значень опадів.

7.2 Середньомісячні значення випаровування з поверхні водозбору осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) представлені на прикладі метеостанції Хмельницький, вказують на те, що за два двадцятирічних періоди можна спостерігати підвищення значення випаровування у зимовий період (грудень-лютий); навесні з березня по травень випаровування значно зменшилося; у літні місяці спостерігається переважно зменшення випаровування, окрім червня місяця; в осінній період випаровування дещо підвищилося, окрім вересня місяця.

7.3 Середньомісячні значення шарів стоку осереднені за два розрахункові періоди (1980-2000 рр. та 2001-2020 рр.) представлені на прикладі басейну р. Південний Буг – с. Тростяничик, вказують на те, що за два двадцятирічних періоди можна спостерігати зменшення значень шарів стоку протягом року у всі розрахункові місяці, окрім лютого місяця, де спостерігається незначне підвищення значень.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Ресурси поверхневих вод СРСР. Т.6. Україна і Молдавія. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / [под ред. М.С. Каганера]. Ленинград: Гидрометеиздат, 1969. 884 с.
2. Географічні карти України. URL: <http://geomap.land.kiev.ua>.
3. Атлас України. Інститут географії Національної академії наук України, 1999-2000, [електронний ресурс] <https://atlas.igu.org.ua/>.
4. Атлас: географія України [CD-розробок]. Інститут передових технологій, 2004.
5. План управління річковим басейном Південного Бугу: аналіз стану та першочергові заходи / За ред. С. Афанасьєва, А. Петерс, В. Сташука та О. Ярошевича. Київ: Видавництво ТОВ «НВП «Інтерсервіс», 2014. 188 с.
6. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал*, 2015, № 3. С. 16-23.
7. Water Budgets: Foundations for Effective Water-Resources and Environmental Management By Richard W. Healy, Thomas C. Winter, James W. LaBaugh, and O. Lehn Franke. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia: 2007.
8. Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации ВМО, № 168). Шестое изд. 2011. 314 с.
9. Singh, V.P., 1994: Elementary Hydrology. Prentice Hall of India, New Delhi.
10. Докус А.О., Волкова С.Ю., Кочев Б.С. Огляд методів для розрахунку випаровування з поверхні річкових водозборів. Тези XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференція здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології» 06 жовтня 2022 року. Житомир : Житомирська політехніка, 2022. С. 73.
11. Monteith, J. L. 1985. Evaporation from land surfaces: Progress in analysis and prediction since 1948. In Proc. National Conf. on Advances in Evapotranspiration, 4-12. St. Joseph, Mich.:ASAE.
12. Monteith, J.L., 1965: Evaporation and environment. In: The State and Movement of Water in Living Organisms, Symposium of the Society for Experimental Biology, Volume 19, pp. 205–234

13. Гидрологические и водно–балансовые расчеты / Под ред. Н.Г. Галущенко. Київ: Вища школа, 1987. С. 56-84.
14. H. Bolbot, V. Grebin, O. Obodovskyi, S. Snizhko. Water budget elements of the Siverskyi Donets River Basin in different water runoff periods. *Geoinformatics* 2021 (1). P. 1-6.
15. H.Bolbot, V.Grebin. The structure of the water budget of the Udy River (Ukraine) under the influence of present climate change. *EGU22*. 2022.
16. Д.В. Кожем'якін, Ю.О. Чорноморець. Просторова та часова динаміка складових водного балансу басейну річки Дністер до міста Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 21-30. 2019.
17. Ю.О. Чорноморець, О.І. Лук'янець. Вплив сучасних змін у співвідношенні снігодошового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, № 4 (55), 2019. С. 40-52
18. Д.В. Кожем'якін, Ю.О. Чорноморець. Водний баланс басейнів річок Дністра до міста Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2018. №1 (48). С. 24-36.
19. К.А. Мірошніченко, Ю.О. Чорноморець. Вплив змін клімату на водний баланс та динаміку стоку води річки Ворскла. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, Т.2 (41). С. 58-68.
20. В.В. Олійник, Ю.О. Чорноморець. Вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу р. Західний Буг – м. Кам'янка Бузька. *Фізична географія та геоморфологія*. 2016.
21. Y. Navryliuk, Y. Chornomorets. The influence of climate changes on the water balance in the western bug river basin – Kamianka buzka Aerul si Apa. *Componente ale Mediului*, 211-218.
22. Ю. С. Бесараб, О. І. Лук'янець. Водний баланс басейну р. Велика Вись та сучасні зміни його складових // *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 2. С. 101-105.

## ДОДАТКИ

Додаток 1. Середньомісячні значення температури повітря в басейні річки Південний Буг (осереднені за 40-ний період)

№ з/п	Метеостанція	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Хмельницький	2,0	-2,3	-3,9	-3,0	1,5	8,6	14,3	17,4	19,0	18,5	13,8	8,0
2	Хмельник	2,2	-2,0	-3,6	-2,8	1,7	8,8	14,7	17,8	19,4	18,6	13,8	8,0
3	Вінниця	2,0	-2,4	-4,0	-3,1	1,6	8,7	14,7	17,8	19,5	18,9	13,9	8,0
4	Жмеринка	2,2	-2,1	-3,7	-2,8	1,9	8,9	14,7	17,9	19,6	19,1	14,1	8,2
5	Гайсин	2,5	-1,8	-3,5	-2,5	2,2	9,4	15,4	18,7	20,5	19,7	14,5	8,4
6	Умань	2,4	-1,9	-3,6	-2,8	2,1	9,3	15,3	18,6	20,4	19,7	14,4	8,2
7	Любашівка	3,0	-1,4	-3,2	-2,2	2,6	9,7	15,9	19,4	21,4	21,0	15,7	9,3

Додаток 2. Середньомісячні значення абсолютної вологості повітря в басейні річки Південний Буг (осереднені за 40-ний період)

№ з/п	Метеостанція	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Хмельницький	6,5	4,9	4,3	4,5	5,6	7,5	11,0	14,4	16,0	15,0	11,8	8,9
2	Хмельник	6,5	4,9	4,3	4,4	5,5	7,5	11,1	14,5	16,2	15,2	11,9	8,9
3	Вінниця	6,4	4,8	4,2	4,4	5,4	7,4	10,8	14,3	15,8	14,7	11,6	8,7
4	Жмеринка	6,4	4,8	4,2	4,3	5,3	7,3	10,7	14,2	15,8	14,8	11,5	8,6
5	Гайсин	6,6	5,0	4,4	4,6	5,7	7,9	11,5	15,2	16,7	15,5	12,1	9,0
6	Умань	6,5	5,0	4,3	4,4	5,5	7,6	11,2	14,8	16,4	15,1	11,9	8,9
7	Любашівка	6,5	5,0	4,3	4,4	5,5	7,6	11,2	14,8	16,4	15,1	11,9	8,9

## Додаток 3. Розрахунок випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг (1980-2020 рр.)

№ з/п	Метеостанція	XI	XII	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
1	Хмельницький	32,2	5,7	4,7	5,8	43,0	58,5	78,6	89,1	94,4	72,0	48,7	33,5
2	Хмільник	40,3	6,4	5,4	6,4	42,6	58,3	78,3	87,8	84,3	72,4	49,4	37,2
3	Вінниця	31,9	5,8	5,0	6,0	42,1	57,8	77,0	86,5	82,5	72,0	45,4	36,6
4	Жмеринка	32,1	6,6	5,6	7,1	41,9	57,1	76,4	85,3	82,9	75,0	49,5	31,6
5	Гайсин	33,4	6,0	5,1	6,5	44,2	60,6	81,1	90,6	87,2	75,5	54,5	38,6
6	Умань	32,3	6,3	5,4	6,6	43,0	58,6	79,6	85,7	85,9	72,4	53,6	37,6
7	Любашівка	34,6	6,7	5,3	15,6	44,1	57,6	77,2	84,1	82,6	72,3	58,2	41,2