

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Навчально-науковий  
гідрометеорологічний інститут  
Кафедра гідрології суші

**Кваліфікаційна робота магістра**

на тему: **ВОДНИЙ БАЛАНС БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ  
ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК**

Виконав студент групи МЗГ -22  
спеціальності 103 Науки про Землю  
Антонов Данило Ярославович

Керівник канд. геогр. наук,  
науковий співробітник відділу  
інтеграції науки, освіти та бізнесу  
ДУ «ІРЕЕД НАН України  
Докус Ангеліна Олександрівна

Науковий консультант  
д-р геогр. наук, професор,  
кафедра гідрології суші ОДЕКУ  
Шакірзанова Жаннетта Рашидівна

Рецензент канд. геогр. наук, доцент,  
кафедра агрометеорології  
та агроекології ОДЕКУ  
Кирнасівська Наталя Василівна

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Навчально-науковий гідрометеорологічний інститут

Кафедра Гідрології суші

Рівень вищої освіти магістр

Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма підготовки

«Гідрологія і комплексне використання водних ресурсів»  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Т. в. о. завідувач кафедри гідрології суші

д-р геогр. наук, проф. Овчарук В.А. \_\_\_\_\_

« 23 » жовтня 2023 року

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

студенту(ці) Антонову Данилу Ярославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Водний баланс басейну річки Південний Буг до села Тростянчик  
керівник роботи Докус Ангеліна Олександрівна, канд. геогр. наук,  
науковий консультант Шакірзанова Жаннетта Рашидівна, д-р геогр. наук, проф.  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ОДЕКУ від « 16 » жовтня 2023 року № 215 «С»

2. Строк подання студентом роботи 10.12.2023 р.

3. Вихідні дані до роботи середньомісячні та середньорічні температури  
повітря, абсолютна вологість повітря, атмосферні опади, витрати води,  
морфометричні та басейнові характеристики опорних водозборів в басейні річки  
Південний Буг до села Тростянчик.

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

1) вивчення природних умов формування річного стоку в басейні річки Південний Буг  
до села Тростянчик, аналіз водного режиму річного стоку;

2) викладення методичних основ розрахунку складових водного балансу;

3) розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг до села  
Тростянчик;

4) розрахунок водного балансу в басейні річки Південний Буг до села  
Тростянчик.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Фізико-географічна картосхема басейну р. Південний Буг, карта ґрунтів та рослинності, гідрографічна мережа р. Південний Буг, гідрометеорологічна вивченість території

Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
2,3	Шакірманова Ж.Р. проф. каф. гідрології суші ОДЕКУ		

7. Дата видачі завдання 23 жовтня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вивчення природних умов формування річного стоку в басейні річки Південний Буг до села Тростянички, аналіз водного режиму річного стоку.	23.10.2023 р.- 27.10.2023 р.		
2	Викладення методичних основ розрахунку складових водного балансу.	28.10.2023 р.- 3.11.2023 р.		
3	Розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг до села Тростянички (прихідна частина).	4.11.2023 р.- 7.11.2023 р.		
4	Розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг до села Тростянички (витратна частина).	8.11.2023 р.- 16.11.2023 р.		
	<b>Рубіжна атестація</b>	<b>13 -17.11.2023 р.</b>		
5	Складання рівняння водного балансу в басейні річки Південний Буг до села Тростянички.	17.11.2023р.- 23.11.2023 р.		
6	Розрахунок нев'язки обчислення багаторічного водного балансу в басейні річки Південний Буг.	24.11.2023 р.- 30.11.2023 р.		
7	Оформлення кваліфікаційної роботи магістра.	01.12.2023 р.- 7.12.2023 р.		
8	Перевірка роботи на плагіат	8.12- 10.12.2023 р.		
9	Підготовка доповіді, презентації.	11.12- 15.12.2023 р.		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>			

Студент \_\_\_\_\_ **Антонов Д.Я.**  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ **Докуч А.О.**  
 (підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студента гр. МЗГ-22 Антонова Данила за темою: «Водний баланс басейну річки Південний Буг до села Тростянчик».

**Актуальність теми.** Внутрішньорічний розподіл складових водного балансу та водний баланс річного стоку є важливою інформацією для раціонального управління водними ресурсами, особливо в сучасних умовах змін клімату та антропогенного впливу, а їх розрахунок – актуальною науковою задачею.

**Мета і задачі дослідження.** Розрахунок складових водного балансу за місяцями та складання рівняння водного балансу за два розрахункові періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для басейну річки Південний Буг (до села Тростянчик) та розрахунок нев'язки обчислення багаторічного водного балансу.

**Об'єкт і предмет дослідження** – середньомісячні складові водного балансу (атмосферні опади, випаровування з поверхні водозбору, шари стоку) та середньорічний водний баланс в басейні р. Південний Буг (до села Тростянчик).

**Методи дослідження:** комплексний географічний аналіз формування річного стоку, метод А.Р. Костянтинова, метод водного балансу.

**Результати, їх новизна, теоретичне та практичне значення:** розраховано середньомісячні складові водного балансу (атмосферні опади, випаровування з поверхні водозбору, шари стоку) та середньорічний водний баланс в басейні р. Південний Буг (до села Тростянчик) з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр.

**Рекомендації щодо використання результатів роботи з зазначенням галузі застосування:** Гідрометеорологічний центр Чорного та Азовського морів, напрямок дослідження автора відповідає науково-дослідній тематиці кафедри гідрології суші Одеського державного екологічного університету.

**Структура і обсяг роботи:**

*Кількість сторінок – 83*

*Кількість рисунків – 35*

*Кількість таблиць – 3*

*Кількість літературних джерел – 27*

**Ключові слова:** водний баланс, випаровування, річний стік, Південний Буг.

## SUMMARY

Master's qualification work of the student gr. MZG-22 Antonov Danylo on the topic: «Water balance of the Pivdenny Buh River basin up to the village of Trostyanchyk».

**Relevance of the topic.** The intra-annual distribution of water balance components and the water balance of annual runoff are important information for the rational management of water resources, especially in the current conditions of climate change and anthropogenic impact, and their calculation is an urgent scientific task.

**The purpose and objectives of the study.** To calculate the components of the water balance by months and to draw up the water balance equation for two calculation periods: from 1981 to 2000 and from 2001 to 2020 for the Pivdenny Buh River basin (up to the village of Trostianchyk) and to calculate the non-consistency of the calculation of the long-term water balance.

**Object and subject of the study** – average monthly components of the water balance (precipitation, evaporation from the catchment surface, runoff layers) and average annual water balance in the Pivdenny Buh River basin (up to the village of Trostyanchyk).

**Research methods:** complex geographical analysis of annual runoff formation, A.R. Konstantinov method, water balance method.

**Results, their novelty, theoretical and practical significance:** the average monthly components of the water balance (precipitation, evaporation from the surface of the catchment, runoff layers) and the average annual water balance in the Pivdenny Buh River basin (up to the village of Trostyanchyk) from 1981 to 2000 and from 2001 to 2020 were calculated.

**Recommendations for the use of the results of the work with an indication of the field of application:** Hydrometeorological Center of the Black and Azov Seas, the author's research direction corresponds to the research topics of the Department of Land Hydrology of Odesa State Environmental University.

**Structure and scope of the work:**

**Number of pages – 83**

**Number of figures – 35**

**Number of tables – 3**

**Number of references – 27**

**Keywords:** water balance, evaporation, annual runoff, Southern Bug.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК.....	9
1.1 Геологія і рельєф .....	9
1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив .....	12
1.3 Кліматичні умови .....	17
1.4 Гідрометеорологічна вивченість та водний режим в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик).....	22
2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ .....	28
2.1 Методи вимірювання випаровування з поверхні водозбору поширені за кордоном .....	28
2.2 Метод А.Р. Константинова .....	42
2.3 Визначення атмосферних опадів з поверхні водозбору.....	47
2.4 Методи вимірювання рівнів та витрат води на річках .....	53
3 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК.....	58
3.1 Теоретичні основи водного балансу .....	58
3.2 Визначення складових водного балансу в басейні річки Південний Буг до села Тростянчик.....	66
4. РОЗРАХУНОК ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ (ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК) .....	72
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	81

## ВСТУП

**Актуальність.** Водний баланс є ключовим інструментом систематичного аналізу процесів, пов'язаних із накопиченням, перерозподілом та витрачанням вологи в межах річкового водозбору. Однією з основних переваг використання водно-балансового підходу у порівнянні з іншими методами є можливість кількісно оцінити внесок кожної складової у формування стоку річок.

Аналізуючи водно-балансові рівняння, можна ефективно вирішувати такі завдання, як вивчення умов та встановлення закономірностей утворення поверхневих та підземних водних ресурсів, їх структури. Також водно-балансовий підхід дозволяє розробляти заходи з управління водним режимом території, спрямовані на збереження або часткове перетворення з метою задоволення потреб населення та різних галузей господарства.

Розрахунок водного балансу річного стоку є актуальною задачею для раціонального управління водними ресурсами, особливо в сучасних умовах змін клімату та антропогенного впливу.

**Мета дослідження** – розрахунок складових водного балансу за місяцями та складання його рівняння за два розрахункові періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для басейну річки Південний Буг (до села Тростяничок) та розрахунок нев'язки обчислення багаторічного водного балансу.

**Методи досліджень** – комплексний географічний аналіз формування річного стоку, метод А.Р. Костянтинова, метод водного балансу.

**Завдання.** Дослідження природних умов формування стоку, характеристики водного річного режиму в басейні річки Південний Буг (до села Тростяничок). Аналітичний огляд методів визначення складових водного балансу.

Розрахунок складових водного балансу за місяцями та складання його рівняння за два розрахункові періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для басейну річки Південний Буг (до села Тростяничок) та оцінка точності визначення складових водного балансу.

**Практична значущість.** Результати наукової роботи будуть впровадженні у роботу Гідрометеорологічного центру Чорного та Азовського морів.

**Апробація результатів.** Основні результати представлені на XVIII Всеукраїнської наукової on-line конференції здобувачів вищої освіти і молодих учених з міжнародною участю «Сучасні проблеми екології». Сертифікат від 06 жовтня 2022 р.

Робота відповідає напряму наукового дослідження кафедри гідрології суші «Гідрологічний і гідрохімічний режими річок України в сучасних умовах водокористування і зміни клімату», номер реєстрації № ДР 0123U101578 (термін виконання: 2023-2027 рр.) (Акт впровадження від 05.12.2023 р.).

**Публікації.** Докус А.О., Антонов Д.Я., Бовдуй В.В. Водний баланс річкових водозборів рівнинних річок. *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. 72. <http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/11373/>

**Ключові слова:** водний баланс, випаровування, річний стік, Південний Буг.

Оригінальність роботи за [Uncheck](#) становить – 86,3 %.



# 1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК

## 1.1 Геологія і рельєф

Басейн річки Південний Буг розташований в межах давнього кристалічного фундаменту південно-західної частини Східноєвропейської платформи.

Рельєф басейну річки Південний Буг (до села Тростянчик) 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 досліджувана територія розташована на Східноєвропейській рівнині Правобережної частини території України. Басейни річок до села Тростянчик розташовані переважно в межах Подільської височини (рис. 1.1).

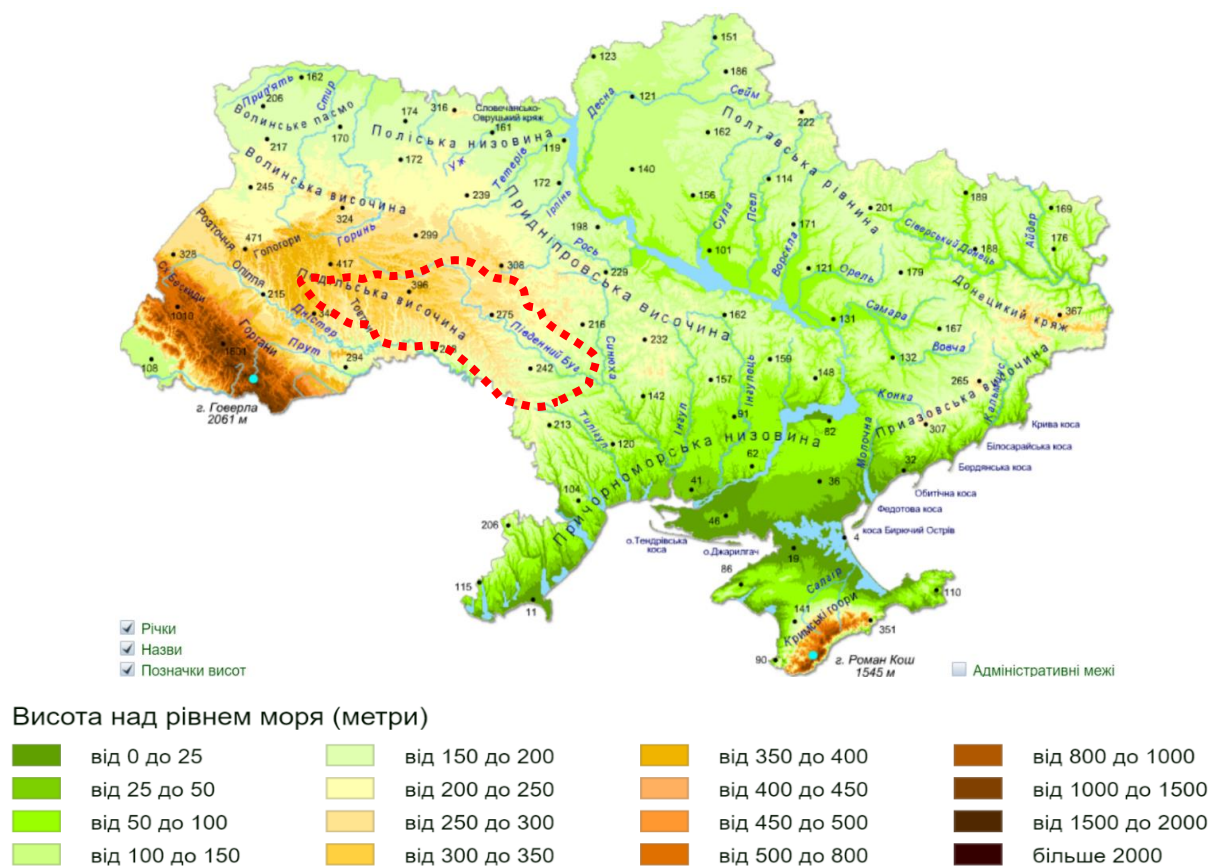


Рисунок 1.1 – Орографічна карта України [2].

*Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянчик.*

Середня висота водозборів в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) змінюється з північного-заходу на південний схід від 396 до 280 м (рис. 1.2).

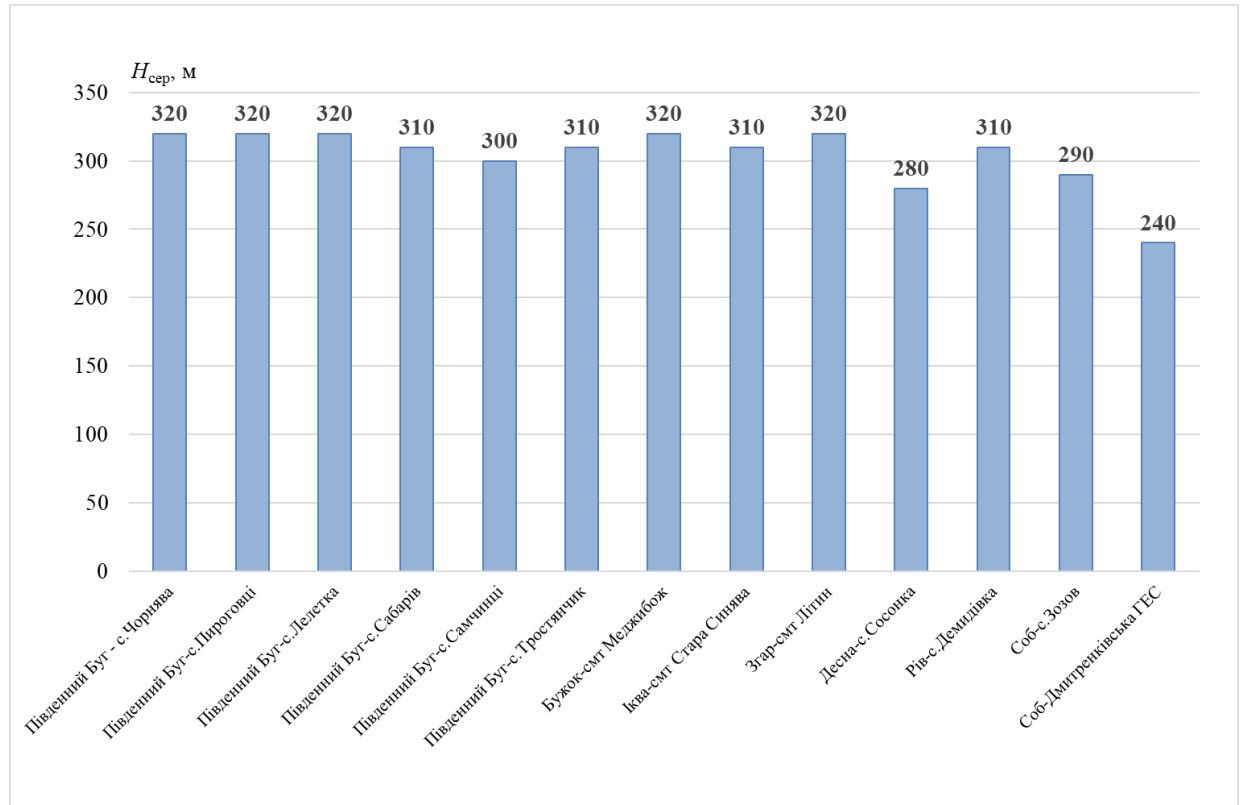


Рисунок 1.2 – Динаміка середньої висоти водозборів в басейні р. Південний Буг (до села Тростянчик).

Водозбірний басейн р. Південний Буг (до села Тростянчик) розташований в межах давнього кристалічного фундаменту південно-західної частини Східноєвропейської платформи, де розповсюджені породи докембрійського, палеозойського, 32 мезозойського та кайнозойського віку [1]. Геологічна будова басейну представлена на рис. 1.3.

В межах басейну р. Південний Буг (до села Тростянчик) характерним є чергування розвинутих підвищених ландшафтів з рівнинно-хвилястим рельєфом місцевості, добре розвинута річкова мережа ( $0,43-0,48 \text{ км/км}^2$ ), невеликі похили річок ( $0,5- 2,0 \text{ м/км}$ ).

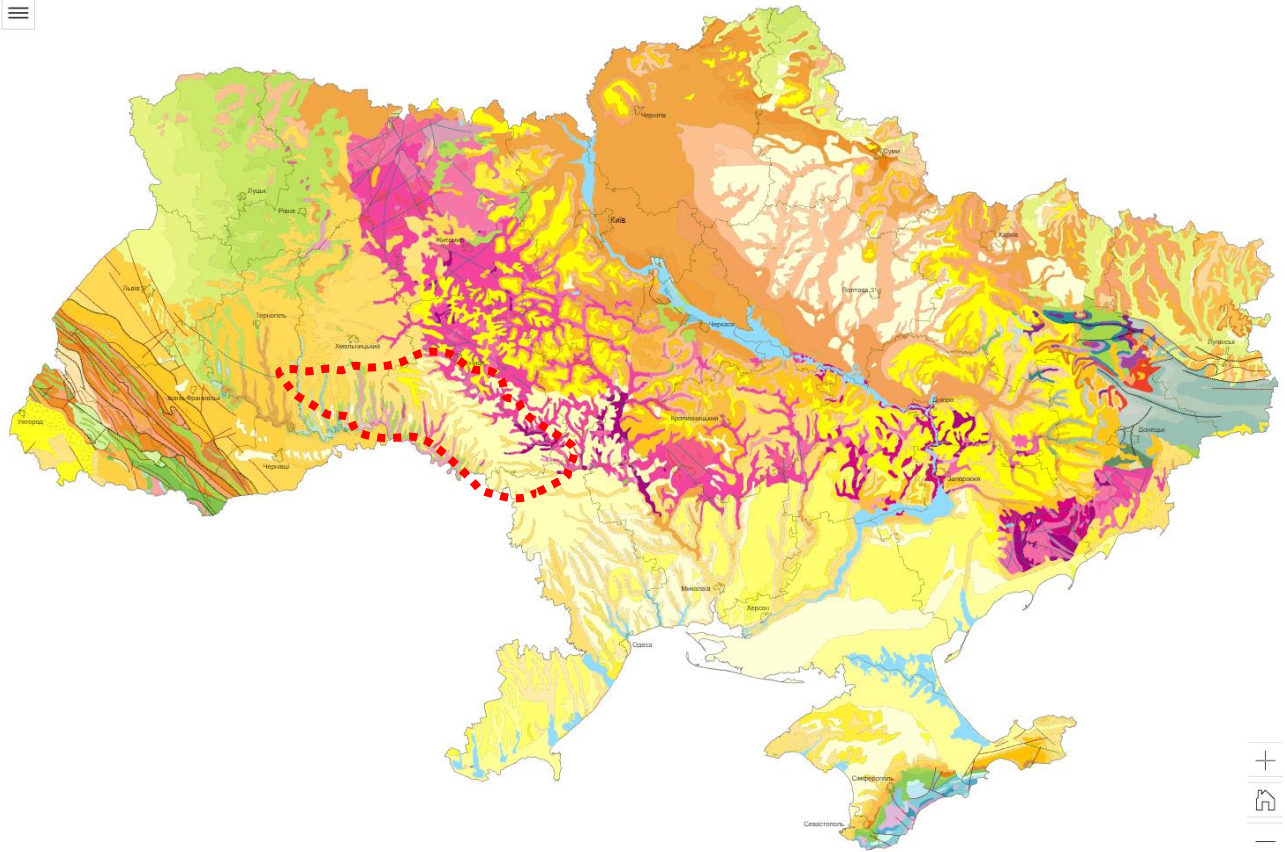


Рисунок 1.3 – Геологічна будова України (дочетвертинний зріз) [2].

Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростяничик.

## 1.2 Ґрунтовий і рослинний покрив

*Ґрунтовий покрив* у річковому басейні Південного Бугу сформувався внаслідок взаємодії різних факторів, таких як рельєф, клімат, рослинний покрив, сільське господарство і інші. За характером ґрунтового покриву басейн Південного Бугу (до села Тростяничик) належить до лісостепу [1].

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

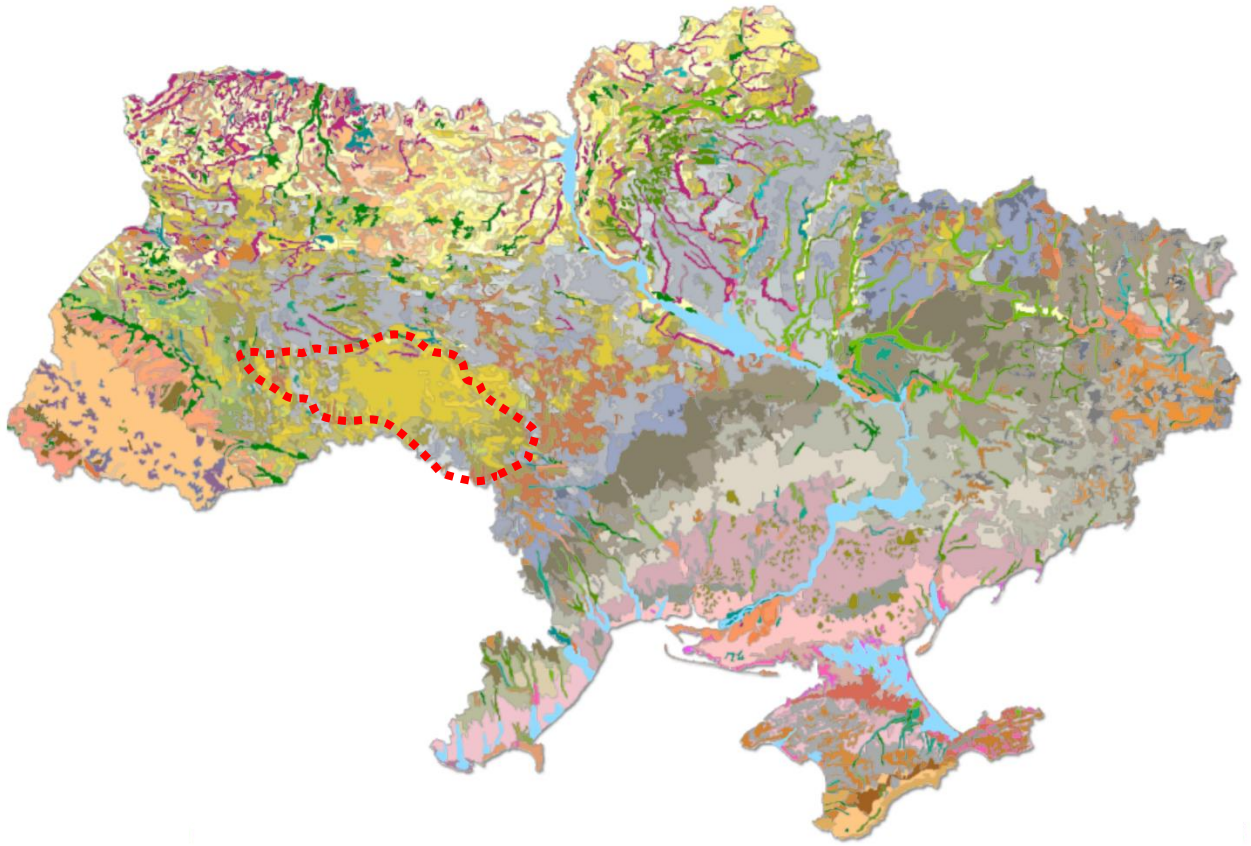
В басейні річки Південний Буг (до села Тростяничик) ґрунти представлені переважно світло-сірими суглинками, в середній частині басейну – переважно малогумусними чорноземами. На підвищених місцях рельєфу залягають опідзолені чорноземи. Світло-сірі ґрунти найбільш опідзолені та найменш гумусовані серед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

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

За механічним складом в басейні річки Південний Буг (до села Тростяничик) 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. 1.4.

В басейні річки Південний Буг (до села Тростяничик) і його приток річок Бужок, Вовк, Згар, Рів у днищах долин, на заплавах ділянках переважають торфово-болотні ґрунти і торф'яники низинні. Після проведення осушувальних меліорацій відбулася їх часткова мінералізація [5].





- 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 суліщані 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 суліщані ґрунти
- Дерново-середньо- і сильноїдзолисті поверхнево-оглеєні переважно суліщані 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 суліщані ґрунти
- Чорноземні глинисто-піщані та суліщані ґрунти
- Чорноземні залишково-солонцюваті на лесових породах
- Чорноземні звичайні залишково-солонцюваті
- Чорноземні південні залишково-солонцюваті
- Чорноземні солонцюваті на нелесових породах
- Чорноземи солонцюваті на елювії дочетвертинних щільних 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 суліщані ґрунти
- Чорноземні глинисто-піщані та суліщані ґрунти
- Чорноземні залишково-солонцюваті на лесових породах
- Чорноземні звичайні залишково-солонцюваті
- Чорноземні південні залишково-солонцюваті
- Чорноземні 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. Торфoviща
- 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
- Торфoviща
- Торфoviща низинні та торфovo-болотні ґрунти
- Дернові ґрунти
- Дернові піщані та глинисто-піщані ґрунти
- Дернові оглеєні ґрунти
- Дернові суліщані та суліщані ґрунти
- Піщані слабоздерзовані, 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 мікроконтурі)
- Каштанові ґрунти
- Темно-каштанові ґрунти переважно на лесових породах
- Темно-каштанові залишково-солонцюваті ґрунти
- Темно-каштанові солонцюваті ґрунти

Рисунок 1.4 – Картосхема ґрунтового покриття басейну річки Південний Буг [2].

Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростяничк.

*Рослинний покрив.* Басейн річки Південний Буг (до села Тростянчик) розташований переважно у межах двох природних фізико-географічних зон: *широколистяних лісів та лісостепової зони* [1]-[5].

Географічне положення, неоднорідність рельєфу (геоморфологічної й геологічної будови), гідрографічної мережі, ґрунтового покриву, зонально-кліматичних, едафічних та інших екологічних чинників обумовили значну різноманітність природної рослинності на території та його околиць [6].

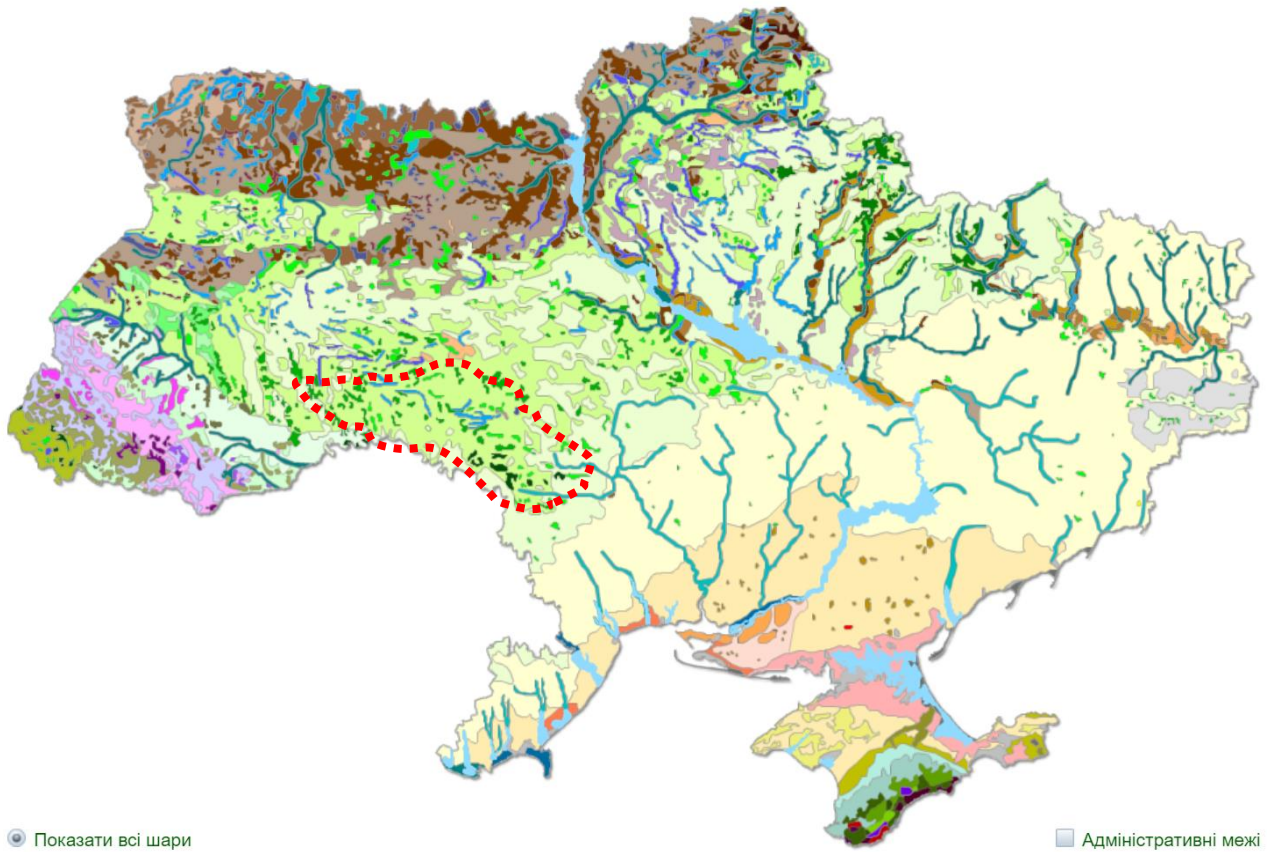
За геоботанічним районуванням територія відноситься до Південнопольсько-Західноподільської підпровінції широколистяних лісів (букових, грабово-дубових і дубових лісів), справжніх та остепнених луків, лучних степів та евтрофних боліт.

Басейн р. Південний Буг (до села Тростянчик) розташований в зоні мішаних лісів та в 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. Картосхема рослинності басейну річки Південний Буг (до села Тростянчик) представлена на рис. 1.5.

Значна частина басейну р. Південний Буг зайнята орними землями, на яких вирощують культурні види рослин [1].

Залісеність в басейні р. Південний Буг не перевищує 19 % (рис. 1.6). В південно-західній частині басейну (до села Тростянчик) залісеність водозборів коливається в межах 1-13 % [1].

Заболоченість території незначна, її значення досягають 11 % на р. Згар – смт Літин (рис. 1.7). Озерність на досліджуваній території майже відсутня. Середньозважена озерність на досліджуваній території 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*) (*Saprotus 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
- Липово-дубово-сонової ліси
- Сільськогосподарські землі на місці липово-дубово-сонових лісів

Лучні степи

- Західні ковилово-типчаково-різнотравні (*Stipa joannis*, *S. stephanophylla*, *Festuca sulcata*, *Витміз прелатів*) і лучно-степове різнотрав'я
- Сільськогосподарські землі на місці лугових степів і остепнених луків
- Сільськогосподарські землі на місці кам'янистих передгірсько-кочових лучних степів
- Кримські 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. beskii*, *S. bouzghiana*) 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

- Поліино-типчаково-ковилові (*Artemisia boschitzkiana*, *S. capillata*, *S. lessingiana*) в комплексі з солончакми (здебільше розорені)
- Поліино-злакові (*Artemisia taurica*, *F. sulcata*, *S. lessingiana*, *Agropyron rectifloriforme*), місцями в комплексі з солончакми (здебільше розор.

Листяні ліси

- Березові з берези бородавчастою (*Betula verrucosa*)
- Вільхові 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 (*Saprotus betulus*), часто в поєднанні з похідними грабовими лісами
- Клемаво-липово-дубові з дуба звичайного (*Quercus robur*), липи серцелистої (*Tilia cordata*) і клема гоцролистого (*Acer platanoides*)
- Дубові з дуба скельного (*Quercus pubula*), 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 (плавні)
- Низинні траїни і трав'яно-мохові, місцями в поєднанні з лісовими болотами і луками
- Перевідні та верхові сфагнові, лісові сфагнові
- Сільськогосподарські землі і сїні 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 boschitzkiana*, *Sarcobolus montefascium*, *Limonium albaeum* та інші)
- Лугово-солончакова в поєднанні з рослинністю після морського зубереювання, перевислітв, кос, острів

Псаммофітна рослинність

- Рослинність лісів, місцями в комплексі з підцанними степами, дубовими (*Quercus robur*), березовими (*Betula bouzghiana*), вільховими таїками і посадами сосни

Лучна рослинність

- Карпатські високотрави (*Nardus stricta*, *F. scirpa*, *Saxex sempervirens*, *Juncus trifidus*) у поєднанні з чагарниками (*Vaccinium myrtillus*, *Rhododendron kotschy*) і місцями зі ступником (*Alnus viridis*, *Juniperus sibirica*, *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 vesicaria*) 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 1.5 – Картохсхема рослинності басейну річки Південний Буг [2].

Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянички.

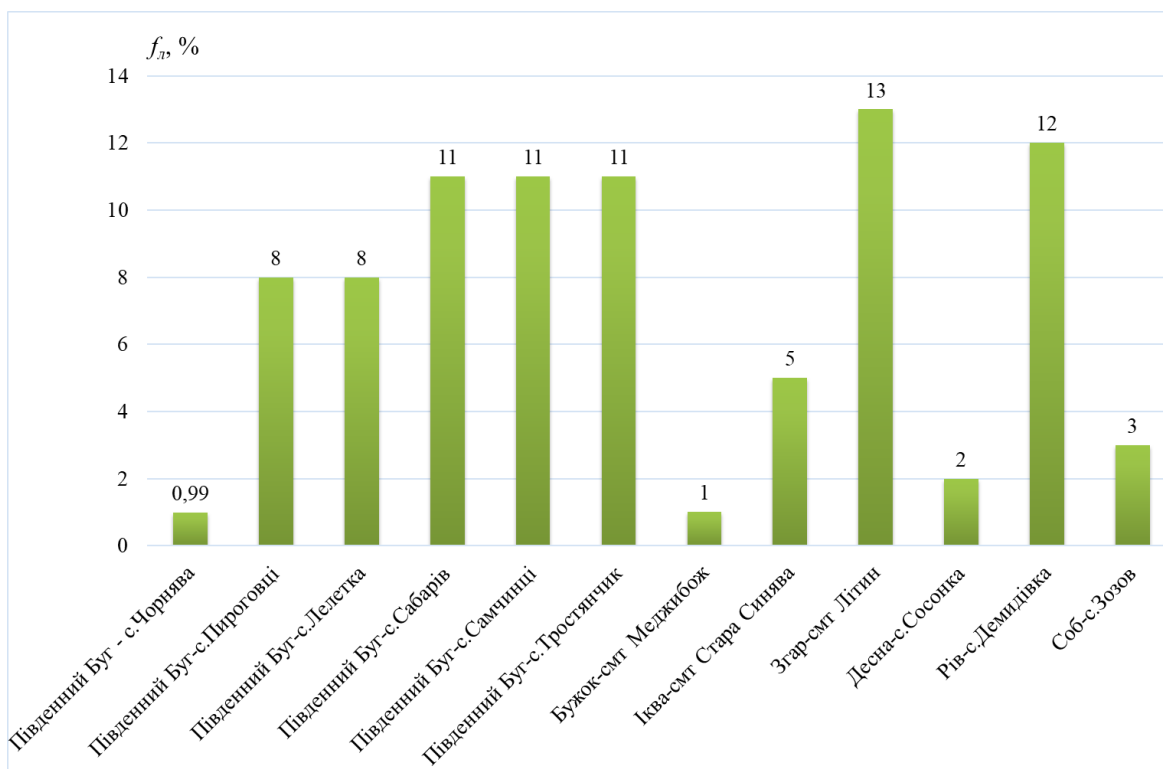


Рисунок 1.6 – Залісеність водозборів в басейні р. Південний Буг (до села Тростянич), у відсотках від загальної площі басейну.

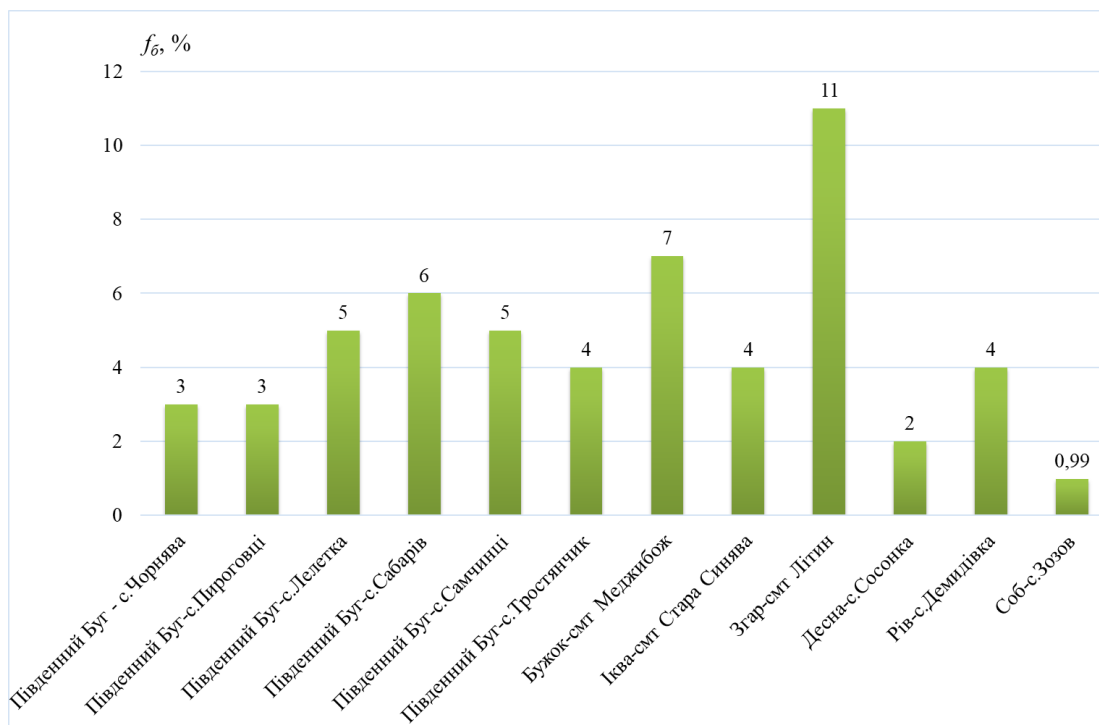


Рисунок 1.7 – Заболоченість водозборів в басейні р. Південний Буг (до села Тростянич), у відсотках від загальної площі басейну.



### 1.3 Кліматичні умови

Основні риси клімату досліджуваної території формуються під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих факторів. Властивості різних повітряних мас, які надходять з Атлантики, Арктичного басейну або з великих континентальних територій Євразії визначають часту мінливість погоди, характерну для України. При надходженні континентального повітря погода відрізняється сухістю, високими температурами в теплу пору року, низькими – у холодну.

Атлантичне повітря звичайно насичене вологою: взимку воно приносить потепління, влітку – дощі та прохолоду. Найчастіше атлантичні повітряні маси спостерігаються на північному заході території, рідше – на південному сході. Маси арктичного повітря надходять з півночі та північного сходу і звичайно приносять похолодання. Іноді це сухе холодне повітря, просуваючись на південь, швидко прогрівається і сприяє розвитку суховіїв [1]-[5]. Кліматична характеристика басейну р. Південний Буг (до с. Тростяничик) виконана за літературними джерелами [1]-[5], середньобагаторічними метеорологічними та агрометеорологічними характеристиками – [4]-[5] та даними Українського гідрометеорологічного центру Державної служби України з надзвичайних ситуацій (УкрГМЦ).

Температурний режим залежить від радіаційних чинників і властивостей повітряних потоків, які надходять на дану територію. Суттєву роль відіграє підстильна поверхня, рослинний і сніговий покрив.

Середньорічна температура повітря для більшої частини досліджуваної території складає близько 7,0-8,0 °С (рис. 1.8).

Найбільш холодна частина зими збігається з переходом температури повітря через -5° С, що зазвичай відбувається в першій декаді січня. Тому в річному ході температури повітря найхолоднішим місяцем є січень.

Температура повітря в січні по території басейну коливається від - 6° С до -3° С.

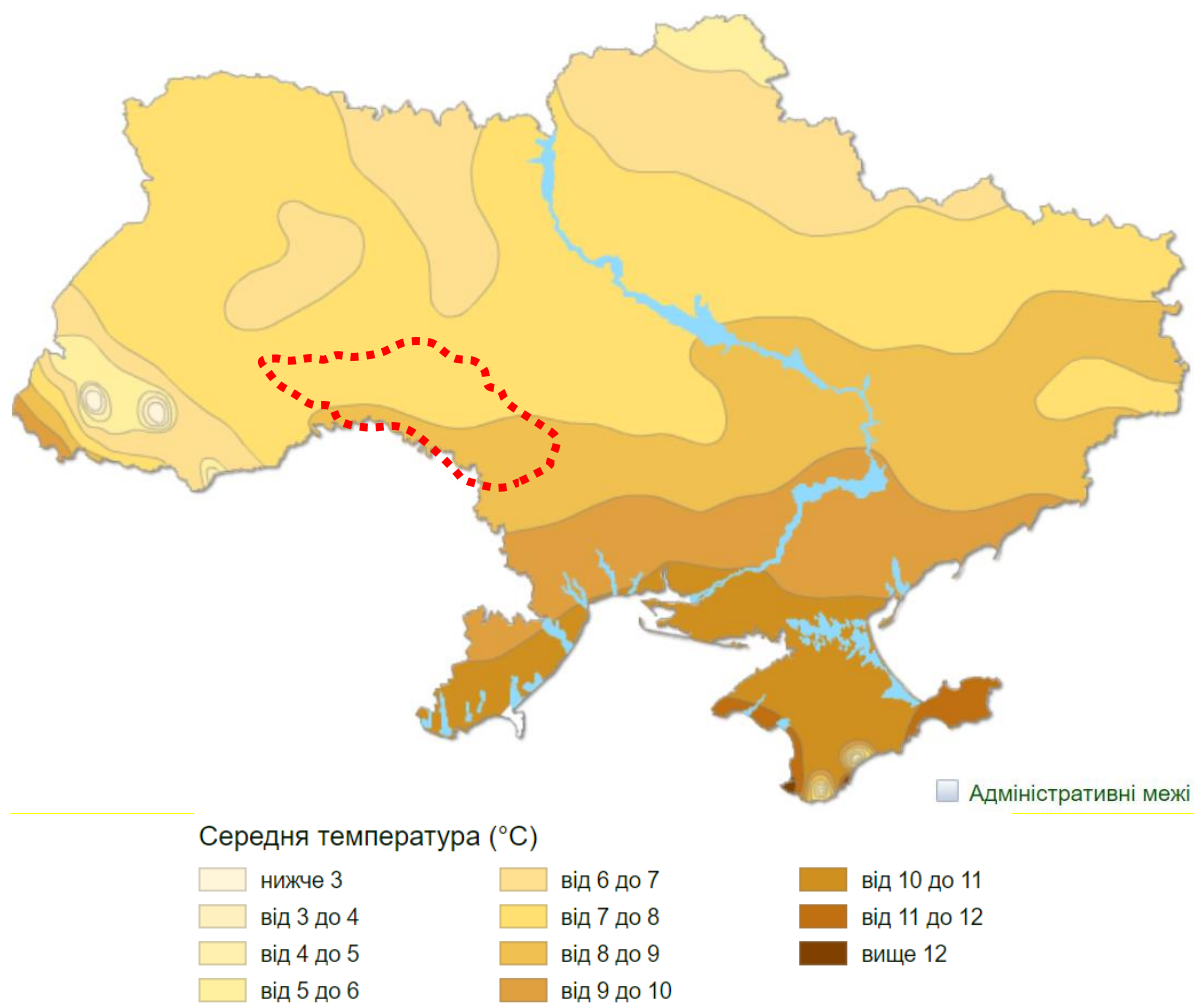


Рисунок 1.8 – Середньорічна температура повітря [2].

*Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянчик.*

В холодний період року температура повітря на розглядувані території характеризується значною нестійкістю внаслідок суттєвої ролі циркуляційних процесів. Для зимового сезону характерні похмура погода, тумани та відлиги, при яких добова температура підвищується до 5° С і вище.

Середньорічні атмосферні опади в басейні річки Південний Буг в середньому коливаються від 700 до 500 мм з північного заходу території на південь (рис. 1.9).

Кліматична весна починається з переходу температури повітря через 0°С і руйнування стійкого снігового покриву.



Середня кількість опадів (мм)












 менше 400	 від 550 до 600	 від 800 до 1000
 від 400 до 450	 від 600 до 650	 від 1000 до 1200
 від 450 до 500	 від 650 до 700	 більше 1200
 від 500 до 550	 від 700 до 800	

Рисунок 1.9 – Середньорічні атмосферні опади [2].

*Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянчик.*

На досліджуваній території середні дати переходу температури повітря через 0 °С весною в середньому припадають на 12-15 березня. Найраніша дата відмічалася 10-11 січня (у 1989, 1990 рр.), найпізніша – 25 березня-1 квітня (у 1987, 1996, 2003 рр.).

В останні десятиліття перехід температури повітря через 0 °С весною відбувається раніше [9].

У теплий період року до території надходить тропічне повітря, його вторгнення сприяє настанню жаркої погоди. Найтеплішим місяцем є липень. Температура повітря в липні по території басейну коливається від 18 °С до 20 °С.

Середня багаторічна норма випаровування з поверхні малих водойм у безльодоставний період в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) коливається у межах 550-600 мм (рис. 1.10).

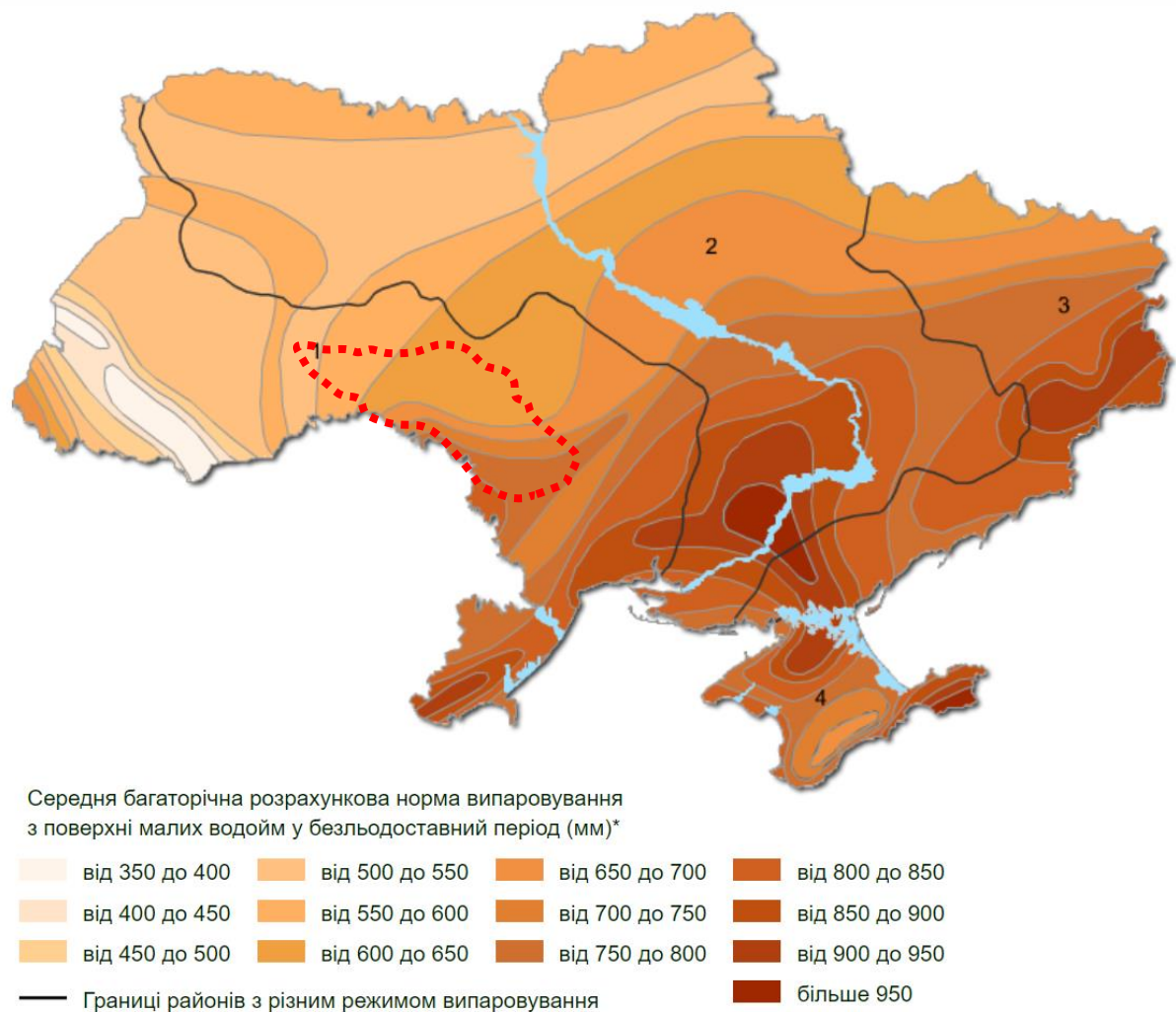


Рисунок 1.10 – Випаровування з поверхні водойм у безльодоставний період [2].

*Примітка: червоним пунктиром умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянчик.*

Початок осені пов'язаний з переходом температури повітря через 10 °С в сторону зниження. Триває осінь 2-3 місяці. У другій половині осіннього періоду

можливі потепління. Для пізньої осені характерна волога, похмура погода. Перші заморозки в середньому спостерігаються 10-15 жовтня, але їх дати коливаються від 8 вересня до 20 листопада [7].

Протягом другої половини листопада осінь змінюється періодом передзим'я з нестійкою погодою, частими туманами, ожеледицями й короткочасними утвореннями сніжного покриву. В середньому цей період триває протягом місяця. У рідких випадках зима встановлюється відразу й перехідного періоду майже не буває [7].

В басейні р. Південний Буг (до с. Тростянчик) спостерігаються часті *зимові відлиги*, які призводять протягом зими до часткового, а іноді й до повного танення снігу на басейнах та формуванню зимових паводків.

В північно-західній та центральній частинах басейну р. Південний Буг середня кількість днів із відлигою (за грудень-лютий) становить 48-51 днів [7].

Найбільша кількість днів із відлигою за холодний період досягала 72-79. У періоди зимових відлиг на поверхні ґрунту часто утворюється крижана кірка, що зменшує водопроникність ґрунтів річкового басейну.

Температурний режим холодного періоду значно впливає на *глибину промерзання ґрунтів*, яка є одним з основних чинників водопоглинаючої спроможності ґрунтів, тобто втрат талих вод на інфільтрацію в період формування весняного водопілля.

Глибина промерзання ґрунтів визначається, головним чином, тривалістю морозного періоду і мінімальними мінусовими значеннями температур повітря і ґрунту. Іноді, промерзання ґрунтів в басейні р. Південний Буг спостерігається вже в листопаді.

Проте на більшості території, особливо на півдні, промерзання ґрунтів починається тільки в грудні (для періоду 1986-2005 рр.) [7]. Теплі зими в останні десятиліття суттєво впливають на температурні умови промерзання ґрунтів. Воно стає слабкішим протягом всього холодного періоду. Тривалість днів зі стійким промерзанням зменшується в широтному напрямку – з півночі на південь і в середньому в басейні р. Південний Буг становить 50-100 днів. У більш теплі

зимі число днів зі стійким промерзанням ґрунтів скорочується до 30 днів. На більшій частині території басейну р. Південний Буг найбільша середня глибина промерзання ґрунтів спостерігалася у лютому і становила порядку 28-32 см.

Основні кліматичні характеристики в басейні р. Південний Буг (до села Тростянчик) представлені у табл. 1.3.

Таблиця 1.3. – Основні кліматичні характеристики в басейні р. Південний Буг (до села Тростянчик) [5].

№	Метеостанція	Температура повітря, °С		Річна сума опадів, мм	
		норма	2011 р.	норма	2011 р.
1	Хмельницький	7,1	8,3	669	413
2	Вінниця	7,1	8,2	638	442
3	Гайсин	7,6	8,9	606	555

1.4 Гідрометеорологічна вивченість та водний режим в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик)

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].

Площа басейну р. Південний Буг складає 63700 км<sup>2</sup>. Діапазон водозбірних площ в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) охоплює басейни за розміром від 36,5 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – с. Чорнява) до 17400 км<sup>2</sup> (р. Південний Буг – с. Тростянчик) (рис. 1.11).

Станом на 2023 рік в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) діючими є 12 гідрологічних поста, які мають досить тривалі часові ряди стокових спостережень. Спостереження за метеорологічними характеристиками весняного водопілля здійснюють 5 метеорологічних станцій рівномірно розташованих по території басейну (рис. 1.12).

Водний режим річки Південний Буг визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території [1], [5].



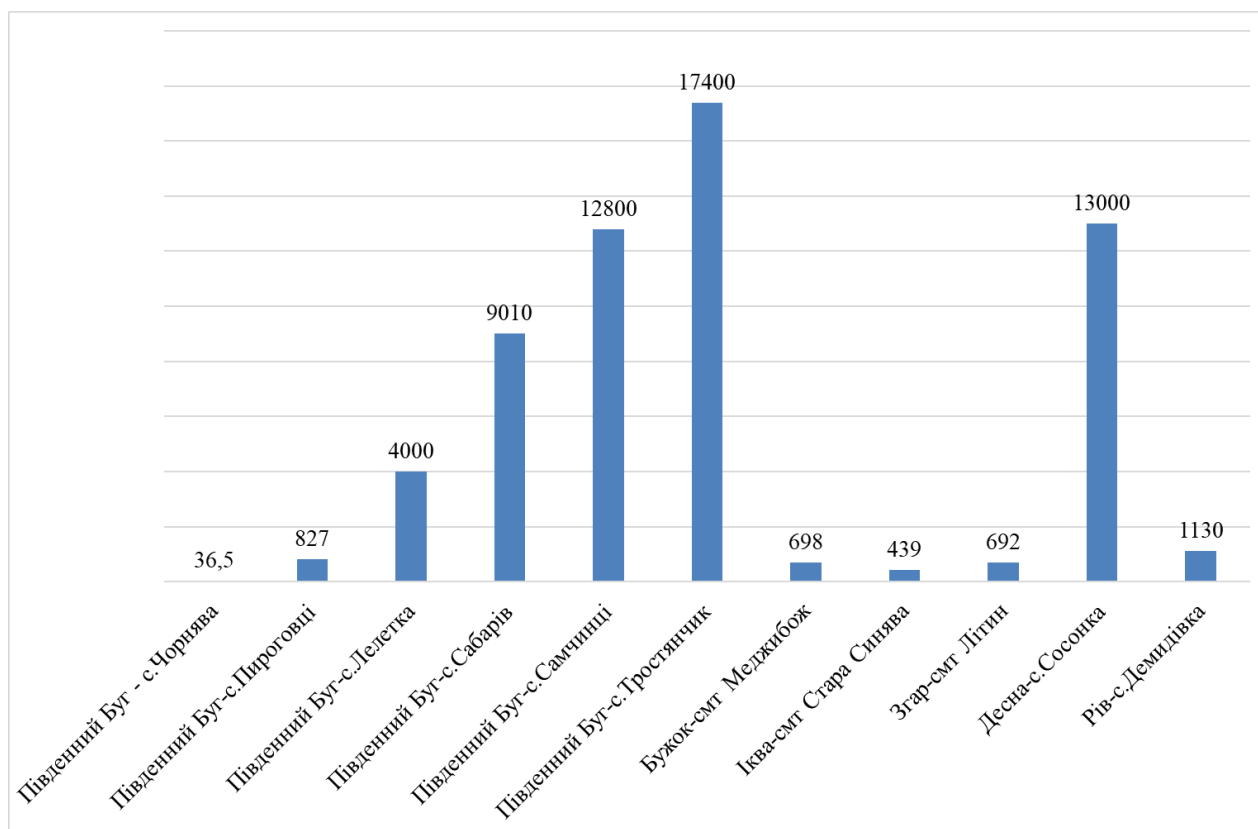


Рисунок 1.11 – Діапазон водозбірних площ в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик).



▼ – гідрологічний пост; ● – метеорологічна станція

Рисунок 1.12 – Гідрометеорологічна мережа спостережень в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик).

Всього у басейні річки Південний Буг в різний час спостереження за водним і рівневим режимами проводилися на 106 гідрологічних постах [1], 24 з них — діючі до цього часу [5].

Список діючих 12 гідрологічних постів в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) представлено у табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Гідрологічні пости в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик).

Індекс поста	Річка-пункт
81343	Південний Буг – с. Чорнява
81346	Південний Буг – с. Пирогівці
81348	Південний Буг – с. Лелітка
81352	Південний Буг – с. Сабарів
81- 01	Південний Буг – с. Самчинці
81361	Південний Буг – с. Тростянчик
81376	Бужок – смт Меджибож
81381	Іква – смт Стара Синява
81386	Згар – смт Літин
81390	Десна – с. Сосонка
81393	Рів – с. Демидівка
81396	Соб – с. Зозів

Досліджуваний басейн знаходиться в різних кліматичних і орографічних умовах, тому процеси формування стоку по території мають певні відмінності. Літня і зимова межінь на розглядуваній території 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. 1.13).



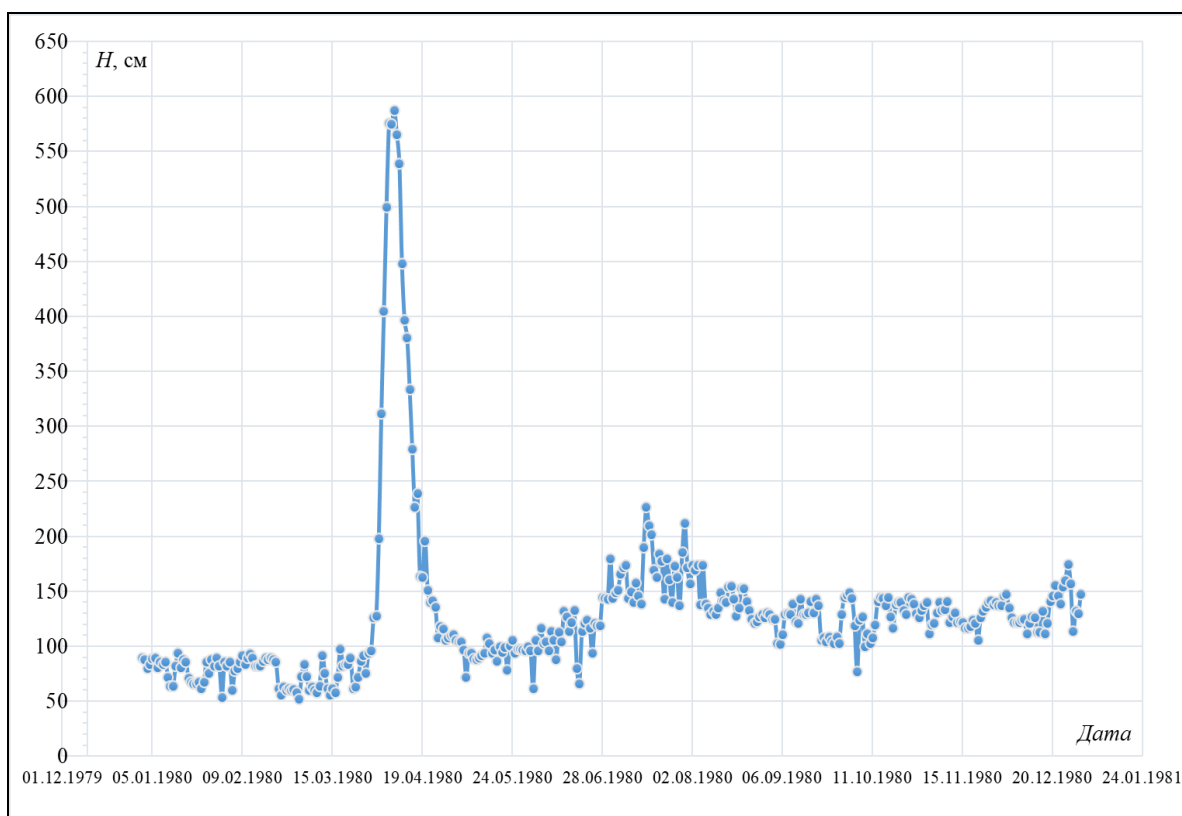


Рисунок 1.13 – Хід рівнів води в басейні р. Південний Буг – с. Тростянчик у багатководний 1980 р. з вираженим весняним водопіллям.

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.

Внутрішньорічний розподіл стоку досліджуваної території у багаторічному

періоді характеризується виразною повінню (III–IV місяці), зимовою (XII–II) і літньо-осінньою (V–XI) межінню. Найбільш повноводні місяці – березень і квітень, найменш – серпень і вересень [1], [8].

Середньорічні значення шарів стоку басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик представлені на рис. 1.14. Як видно з рис. 1.14 з 2006 р. середньорічні значення шарів стоку мають виражену тенденцію до зменшення.

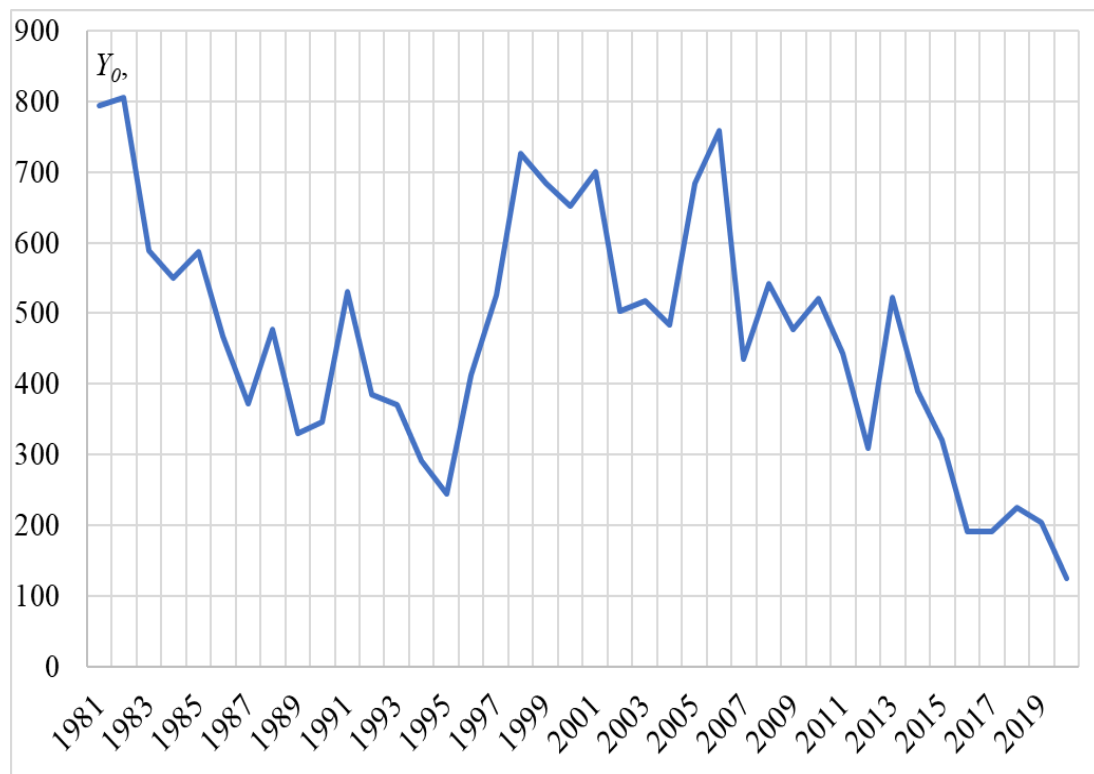


Рисунок 1.14 – Середньорічні значення шарів стоку басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик (1981-2020 рр.).

За районуванням річкових водозборів України за типами внутрішньорічного розподілу стоку води [9] басейн річки Південний Буг (до с. Тростяничик) відноситься до двох районів: IV – Дністерсько-Бузького району та V – Бузько-Донецького району (рис. 1.15).

Значення середнього річного стоку в басейні річки Південний Буг (до с. Тростяничик) коливаються від 5-6 л/с з км<sup>2</sup> до менше 1,5 л/с з км<sup>2</sup> з північного заходу території на південь (рис. 1.16).

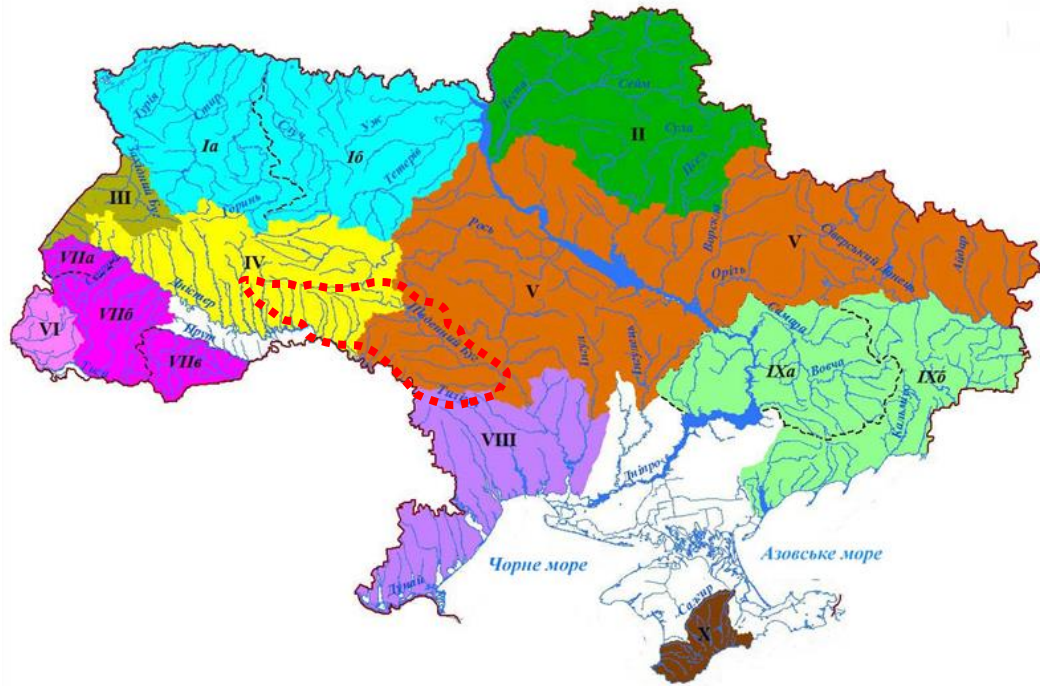


Рисунок 1.15 – Районування річкових водозборів України за типами внутрішньорічного розподілу стоку води [6].



Середній річний сток 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 1.16 – Середній річний стік річок України [2].

Примітка: червоним пунктиром на рис. 1.5 та 1.6 умовно позначено територію басейну річки Південний Буг до села Тростянчик.

## 2 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ

2.1 Методи вимірювання випаровування з поверхні водозбору поширені за кордоном

Випаровування є основним процесом перенесення води в гідрологічному циклі. Вода перетворюється на пару і переноситься у атмосферу.

Випаровування плюс транспірація з рослинної поверхні з необмеженим запасом води називається *потенційним випаровуванням* або *потенційною сумарною транспірацією* і становить максимально можливу швидкість, зумовлену переважаючими метеорологічними умовами. Таким чином, *потенційна сумарна транспірація* – це максимальне значення фактичного випаровування ( $E_t$ ):  $P_E = E_t$  за умови необмеженого водопостачання [10].

*Фактичне випаровування* – це кількість води, яка випаровується з поверхні ґрунту або водойм на певний період часу, враховуючи вплив різних факторів, таких як температура, вологість повітря, вітер, сонячне випромінювання та інші. Це показник водного обміну в екосистемі і може бути важливим для визначення водного балансу території або для оцінки доступності водних ресурсів.

Через мінливість регіонів і сезонів, управлінці, які відповідають за планування і прийняття рішень, щодо розподілу водних ресурсів, повинні мати знання, щодо основних принципів водного балансу, зокрема процесу випаровування (просторово-часовий розподіл його характеристик).

Існує багато різних способів вимірювання випаровування. Один з найпоширеніших методів це використання *зрошувального лізіметра*. Іншими методами є використання *атмометра* і *стандартизованої американської ємності класу А*.

*Зрошуваний лізіметр*. Потенційне випаровування, тобто випаровування плюс транспірація з поверхні, вкритої рослинністю, можна виміряти за допомогою зрошуваних лізіметрів.

Використовувані установки, показані на рис. 2.1, дуже схожі на перколяційний лічильник.

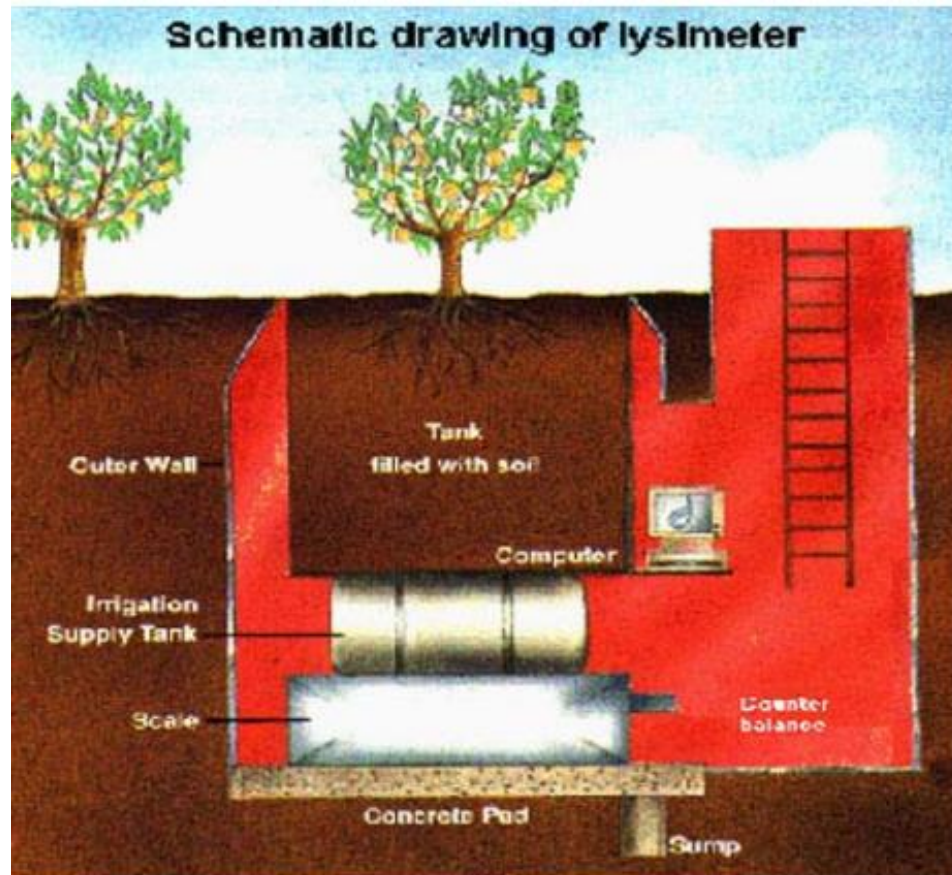


Рисунок. 2.1 – Схематичне зображення лізіметру [10].

Принципова відмінність полягає в роботі апарату, при цьому утримується польова ємність (вміст води в ґрунті після того, як насичений ґрунт під дією сили тяжіння зрівноважився) шляхом розбризкування відомої кількості води в резервуар при недостатній кількості атмосферних опадів.

Польова продуктивність забезпечується завдяки підтримці безперервної циркуляції з дна резервуару. Таким чином, рослинний покрив може вільно пропускати повітря, а загальні втрати при випаровуванні повністю залежить від здатності повітря поглинати водяну пару, в такому випадку отримаємо [10]

$$PE = \text{Атмосферні опади} + \text{Зрошення} - \text{Просочування} \quad (2.1)$$

Труднощі в експлуатації [10]:

- одним із недоліків цих датчиків є те, що зразок ґрунту порушується, але при ретельному заповненні резервуару ємності та після встановлення рослинного покриву, датчик поступово стає репрезентативним для навколишнього ґрунту;

- взимку за наявності снігового покриву та від'ємних температурах повітря виникають певні труднощі в експлуатації вимірювальними приладами, але розбіжності не мають великого значення, оскільки втрати на випаровування є не великими і за таких умов часто є незначними;

- виміряні значення випаровування за допомогою цих зрошуваних датчиків можуть бути завищеними в дуже посушливі періоди і у спекотному кліматі. Нагрівання ґрунту, яке відбувається навколо, призводить до пересихання ґрунту і висушування повітря над ним, як правило, спричиняє підвищене випаровування з рослинності, що постійно поливається і пропускає вологу (Shaw, 1994) [10].

Ємність класу А в США. Існує багато стандартизованих ємностей для вимірювання випаровування, і американський клас А є, мабуть, найпоширенішим. Ємність має круглу форму діаметром 1,21 м і глибиною 255 мм, що дає йому об'єм близько 0,3 м<sup>3</sup> (рис. 2.2).

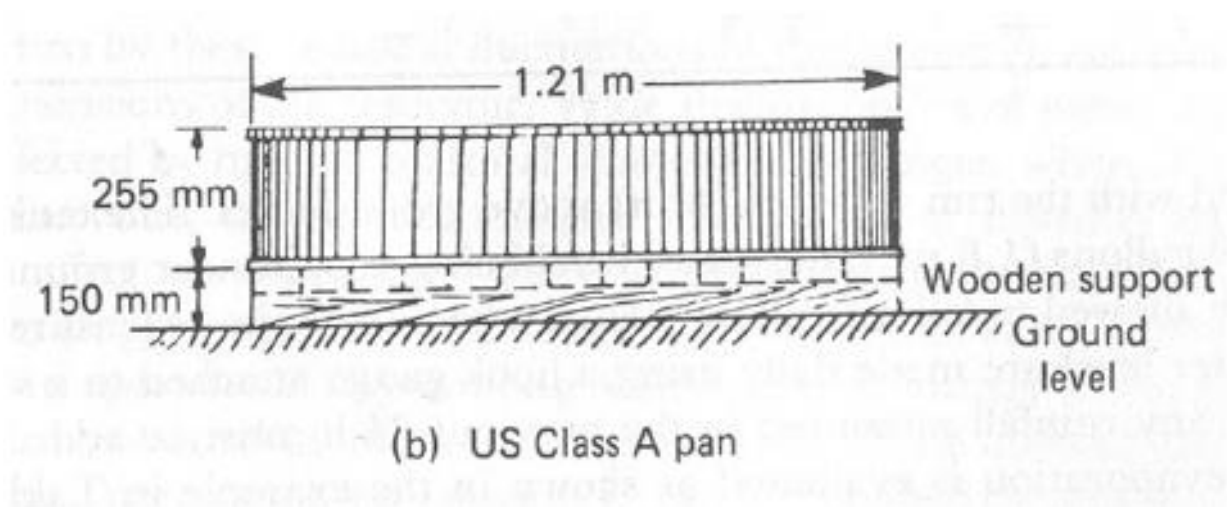


Рисунок. 2.2 – Схематичне зображення ємності класу А в США [10].

Басейн ставиться на дерев'яну раму висотою 150 мм, завдяки чому є циркуляція повітря навколо басейну. Значення рівня води підтримується приблизно на 50 мм нижче бортика через можливість просочування та потребу у воді. Рівень води вимірюється щодня, або вимірюється різниця між поточним і початковим рівнем води, або, якщо за необхідності визначення рівня води в піддоні, вимірюється кількість води у піддоні, або вимірює кількість води, яку наливають у ємність.

Через те, що сонце потрапляє на бокові сторони ємності, температура стає вищою, а це означає, що випаровування зростає і стає вищим, ніж фактичне випаровування. Щоб виправити це значення, потрібно помножити значення випаровування у ємності на коефіцієнт, який називається *коефіцієнтом ємності*, його значення залежить від того, в якому кліматичному регіоні проводять спостереження.

Інший тип посудини – це *ємність Британського стандарту*, яка трохи більша за американську ємність, і її ставлять на ту ж саму американську і встановлюється на одному рівні з землею. Принцип приблизно такий самий, як з американською ємністю класу А. Хоча загальна думка у Великій Британії полягає в тому, що вимірювання є ненадійними і більш поширеними є розрахунки автора (Shaw, 1994).

*Атмометр* – це прилад, який може безпосередньо вимірювати випаровування. Атмометри в основному складаються з вологої, пористої керамічної чашки, встановленої на циліндричному резервуарі з водою. Керамічна чашка покрита зеленою тканиною, що імітує накриття сільськогосподарських культур (рис. 2.3).

Резервуар заповнений дистильованою водою, яка випаровується з керамічної чашки і витягується через всмоктувальну трубку, яка тягнеться на дно резервуара. Під тканиною керамічна чаша вкрита спеціальною мембраною, яка не дає дощовій воді просочуватися всередину керамічної чаші. Жорсткий дріт, що тягнеться зверху, не дає птахам можливості сідати на верхню частину водоміра [10], [11].





Рисунок. 2.3 – Атмометр розміщений між зрошуваними полями [10].

## 2.2 Розрахунок потенційного випаровування

Значення *фактичного випаровування* ( $E_t$ ) на водозборі частіше за все отримують шляхом попереднього обчислення *потенційного випаровування* ( $P_E$ ), припускаючи необмежену доступність води, а потім модифікують відповідь, враховуючи фактичний вміст вологи у ґрунті. Існує кілька формул для розрахунку потенційного випаровування (на основі теоретичних або емпіричних моделей), але найчастіше використовуються наступні, що представлені нижче [10].

***Рівняння Пенмана (Penman equation).*** Дане рівняння безпосередньо впливає з базової формули, яка дозволяла оцінити випарування з відкритої водної поверхні [10]



$$PE = \left( \frac{\Delta}{\Delta + \gamma} \right) * Q_{ET} + \left( \frac{\gamma}{\Delta + \gamma} \right) * E_{at} \quad (2.2)$$

де,  $Q_{ET} = Q_s * (1 - r) - Q_l$

$$Q_l = 0,95 * [8,64 * 10^7 / (\rho * \lambda)] * \sigma * (273,16 + T_a)^4 * (0,53 + 0,06 * (e_d - 1,0)^{1/2}) * (0,10 + 0,90 * (n/N))$$

$$E_{at} = 0,3 * (1 + 0,5 * u_2) * (e_a - e_d)$$

$\Delta$  (мб/С) – нахил кривої тиску насиченої пари по відношенню до температури.

$\gamma$  – гігрометрична стала (=0,65 мб/С).

$Q_l$  – довгохвильове випромінювання від водойми.

$r$  – коефіцієнт, що відноситься до рослинного покриву ( $r = 0,25$  для поверхні з низьким трав'яним покривом).

$T_a$  – температура повітря (С).

$n/N$  – співвідношення фактичної/можливої кількості годин яскравого сонячного сяйва.

$\rho$  – густина води (кг/м<sup>3</sup>).

$\lambda$  – прихована теплота випаровування води (Дж/кг).

$\sigma$  – стала Стефана Больцмана (=  $5,7 * 10^{-8}$  Вт/(м<sup>2</sup>\*град<sup>4</sup>)).

$u_2$  – швидкість вітру (м/с).

$e_a$  – тиск насиченої пари для вимірної температури повітря (мбар).

$e_d$  – фактичний тиск пари повітря (мбар).

*Примітка:*  $Q_{ET}$ ,  $Q_s$ ,  $Q_l$ ,  $E_{at}$  виражаються в мм/добу.

**Формула Торнтвейта (Thornthwaite's formula).** Формула базується в основному на температурі з поправкою на кількості світлових годин. Оцінка потенційного випаровування, розрахована за середньомісячними даними [10]

$$PE_m = 16N_m \left( \frac{10\bar{T}_m}{I} \right)^a \quad (2.3)$$

де,  $m$  – місяці 1, 2, 3...12;  $N_m$  – місячний поправочний коефіцієнт, пов'язаний із кількістю годин світлового дня;  $T_m$  – середньомісячна температура повітря (С),  $I$  – індекс тепла за рік [10]

$$I = \sum i_m = \sum \left( \frac{\bar{T}_m}{5} \right)^{1.5}; \quad (2.4)$$

$$a = 6,7 \cdot 10^{-7} \cdot I^3 - 7,7 \cdot 10^{-5} \cdot I^2 + 1,8 \cdot 10^{-2} \cdot I + 0,49.$$

Враховуючи середньомісячні температури повітря за даними вимірювань на метеорологічній станції, потенційне випаровування для кожного місяця, можна розрахувати оцінку потенційного випаровування для кожного місяця року. Цей метод широко використовується в усьому світі, але він не є строго для клімату тієї місцевості, де він був розроблений (східна частина США).

У порівнянні з формулою Пенмана, значення Торнтвейта мають тенденцію до завищення значень потенційного випаровування. Це особливо помітно в літні місяці, коли високі температури мають домінуючий вплив у розрахунках Торнтвейта, в той час як Пенмана враховує інші метеорологічні фактори.

**Формула Тюрка (Turc's formula).** Для потреб агрономів у схемах зрошення Тюрк розширив свій емпіричний метод розрахунку річного фактичного випаровування, щоб вивести формулу для потенційного випаровування за коротший період часу. Короткострокова формула Тюрка для потенційного випаровування за 10 днів виглядає наступним чином [10]

$$PE = \frac{P + a + 70}{\left[ 1 + \left( \frac{P + a}{L} + \frac{70}{2L} \right)^2 \right]^{0.5}} \quad (2.5)$$

де  $P$  – кількість опадів за 10-денний період (мм),  $a$  – розрахункове випаровування за 10-денний період з голого ґрунту, коли не було опадів ( $1 \text{ мм} \leq a \leq 10 \text{ мм}$ ),  $L$  – «випаровуваність» повітря [10]

$$L = \frac{(T+2)Q_s^{0.5}}{16} \quad (2.6)$$

де  $T$  – середня температура повітря за 10 днів ( $^{\circ}\text{C}$ );  $Q_s$  – середнє короткохвильове випромінювання (Shaw, 1994)

**Формула Блейні-Кріддла (Blaney-Criddle formula).** Ця формула, заснована на іншій емпіричній моделі, вимагає лише середньодобових температур  $T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) за кожен місяць [10]

$$PE = p.(0.46.T + 8) \quad (2.7)$$

де  $p$  – середньодобовий відсоток (за місяць) від загальної річної кількості денних годин.

**Фактичне випаровування.** Щоб оцінити значення фактичного випаровування для певної території є кілька різних варіантів. Можна або скласти водний баланс для території, або виміряти витрату води, або можна скласти рівняння потенційного випаровування, помноженого на функцію, що залежить від кількості доступної води [10].

**Випаровування з ґрунту.** Вода, яка випаровується з ґрунту, зберігається в дрібних порах між частинками ґрунту. Коли на землю випадає дощ, пори заповнюються водою, більша частина якої просочується до ґрунтових вод або потрапляє до водотоку. З точки зору ємності поля, тобто кількості води, яку ґрунт здатен утримати після вільного дренажу, до моменту в'янення, вода доступна для

випаровування (якщо вміст води стає більшим за польову вологоємність, то процес називається випаровуванням) (Бенгтссон, 1997) [10].

*Транспірація.* Вода випаровується не лише з відкритих водойм чи ґрунту, але й з рослинності. Цей процес називається транспірацією, або разом з випаровуванням – *еванотранспірацією*. Транспірація відбувається через пори листя, які називаються продихами. Кількість пари, що виділяється з пори залежить від температури листка, освітленості та кількості води в листі. Всі разом ці фактори називаються резистентністю продихів,  $r_s$ . Значення  $r_s$  підвищується за сухої або при низькому вмісті води в рослині (Shaw, 1994) [10].

*Розрахунок фактичного випаровування.* Існує декілька формул, які є більш поширеними, ніж інші. У цьому розділі ми просто формулу Пенмана-Монтейта, оскільки вона є найвідомішою і найуживанішою формула, коли йдеться про обчислення випаровуваності. Початком рівняння є рівняння Пенмана, а пізніше Монтейт розвинув цю формулу ще більше.

**Метод Пенмана-Монтейта (Penman-Monteith metod).** Найвідомішою формулою для розрахунку випаровування є формула Пенмана-Монтейта,

$$E_T = \frac{\Delta R_n + (e_a - e_d) * \frac{\rho * c_p}{r_a}}{\lambda(\Delta + \gamma * (1 + \frac{r_s}{r_a}))} \quad (2.8)$$

де  $R_n$  – чисте випромінювання ( $Вт/м^2$ );  $\rho$  – густина повітря

$c_p$  – питома теплоємність повітря;  $r_s$  – чистий опір дифузії через поверхні листя та ґрунту (с/м);  $r_a$  – чистий опір дифузії повітря від поверхонь до висоти вимірювальних приладів (с/м);  $\gamma$  – гігрометрична стала;  $\Delta = de/dT$ ;  $e_a$  – тиск насиченої пари при температурі повітря;  $e_d$  – середній тиск пари.

Метод має досить високу точність і зазвичай використовується для розрахунків випаровування з сільськогосподарських угідь. Висока точність обумовлена всіма параметрами рівняння, але все ж воно не є досконалим.

Наприклад, значення  $r_s$  є константою, яка залежить від того, який тип рослинності має територія. Якщо рівняння використовується на великій території з різним типом рослинності, то доведеться оцінювати значення  $r_s$ . Оцінка стає ще більш неточною якщо площа містить ділянки без рослинності (Ward, 1999) [10].

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 [13]

$$\lambda E = (\Delta\Delta + C_p \rho D / r_{aa}) / (\Delta + \gamma + \gamma (r_{cs} / r_{aa})), \quad (2.9)$$

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 [13]:

$$\lambda E_s = (\Delta\Delta_s + \rho c_p D_0 / r_{sa}) / (\Delta + \gamma (l + r_{ss} / r_{sa})); \quad (2.10)$$

$$\lambda E_c = (\Delta\Delta (-A_s + \rho c_p D_0 / r_{ca}) / (\Delta + \gamma (l + r_{cs} / r_{ca})), \quad (2.11)$$

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 підстильною 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  $D$  [13]

$$D_0 = D + (\Delta\Delta - r_{aa}\lambda E_c(\Delta + \gamma)) / \rho c_p \quad (2.12)$$

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  $D_0$

$$\lambda E = C_c PM_c + C_s PM_s, \quad (2.13)$$

де  $PM_c$  – описує випаровування із закритого покриву, а  $PM_s$  – з відкритого покриву. Отримані нові рівняння Пенмана-Монтейта мають вигляд [13]:

$$PM_c = \frac{(\Delta\Delta + \rho_p D - \Delta r_{ca} A_s) / (r_{aa} + r_{ca})}{(\Delta + \gamma (1 + r_{ce} / (r_{aa} + r_{ca})))}; \quad (2.14)$$

$$PM_c = \frac{(\Delta\Delta + \rho_p D - \Delta r_{sa} A_s) / (r_{aa} + r_{sa})}{(\Delta + \gamma (1 + r_{ce} / (r_{aa} + r_{sa})))}. \quad (2.15)$$

Коефіцієнти  $C_c$  та  $C_s$  являють собою поєднання рівнянь, що виражають опір [13]:

$$C_c = l / (l + R_c R_a / (R_s (R_c + R_a))); \quad (2.16)$$

$$C_s = l / (l + R_s R_a / (R_p (R_s + R_a))), \quad (2.17)$$

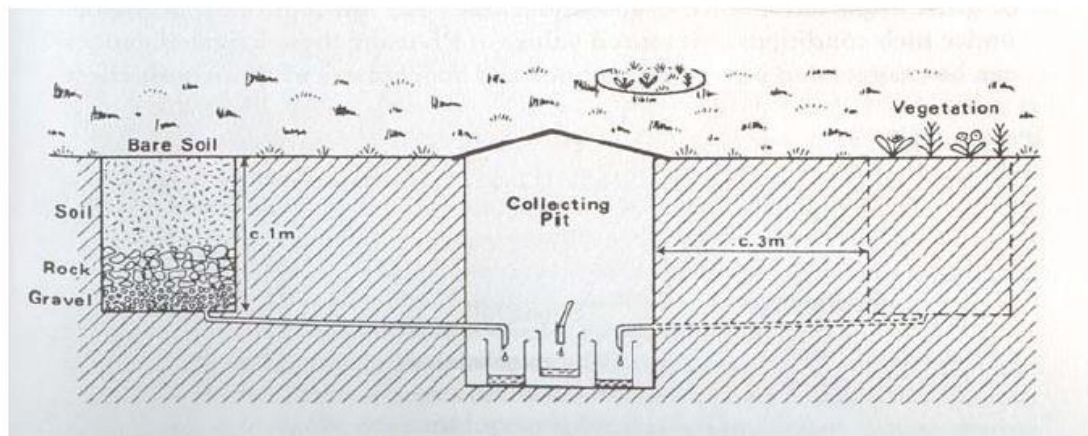
де:

$$R_a = (\Delta + \gamma) r_{aa}; \quad (2.18)$$

$$R_s = (\Delta + \gamma) r_{sa} + \gamma r_{ss}; \quad (2.19)$$

$$R_c = (\Delta + \gamma) r_{ca} + \gamma r_{cs}. \quad (2.20)$$

**Методи вимірювання фактичного випаровування.** Вимірювання фактичного випаровування, ймовірно, не настільки поширене, як вимірювання потенційного. Найбільш найпоширенішим методом є перколяційний вимірювач (рис. 2.4).



Picture of percolation gauge

Рисунок. 2.4 – Зображення перколяційного датчика [10].

Перколяційний датчик фактично вважається дослідницьким інструментом, а не стандартним для вимірювання випаровування та транспірації. Існує багато різних конструкцій але рекомендується використовувати той, що зображений на рис. 2.4.

З лівого боку зображено яму глибиною 1 м, заповнену ґрунтом, камінням і гравієм, а також трубу, що йде знизу до збірної ями. Верхня частина ями не повинна відрізнятися від навколишньої рослинності. Коли вимірюють випаровування за допомогою перколяційного датчика, не беруть до уваги зміни в запасах ґрунтової води. Це означає, що вимірювання повинні бути проводити протягом періоду часу, коли датчик насичений водою. Іншим методом вимірювання випаровування є лізіметр, який враховує який враховує кількість води, що зберігається в ґрунті.

Лізіметр зважує ґрунт і дає значення кількості води, що зберігається в ґрунті. Цей метод є більш складним, дорогим і важко доступним підтримувати, ніж перколяційні манометри (Shaw, 1994) [10].

**Оцінка випаровування за супутниковими даними.** Коли поверхня випаровується, вона втрачає енергію і охолоджується. Саме це охолодження можна спостерігати з космосу. Супутники можуть картографувати інфрачервоне тепло, випромінюване Землею, таким чином дозволяючи відрізнити холодні поверхні від теплих. Дуже сухі і схожі на пустелю поверхні легко помітні, оскільки вони нагріваються більше, ніж навколишнє середовище. Виходячи з цього якісного міркувань, наукова мета полягає у кількісному визначенні випаровування, що відбувається в певній місцевості. На практиці це полягає у введенні різних типів супутникових спостережень (не лише інфрачервоних) у математичні моделі атмосфери (рис. 2.5). Моделі різної складності запускаються в алгоритмічній формі на комп'ютерах [10].

Приклад набору даних, створеного АНН і Tateishi (Центр досліджень дистанційного зондування і дослідницький центр дистанційного зондування та зображень, Університет Чіба, Японія) складається з оцінок фактичного щомісячного випаровування.



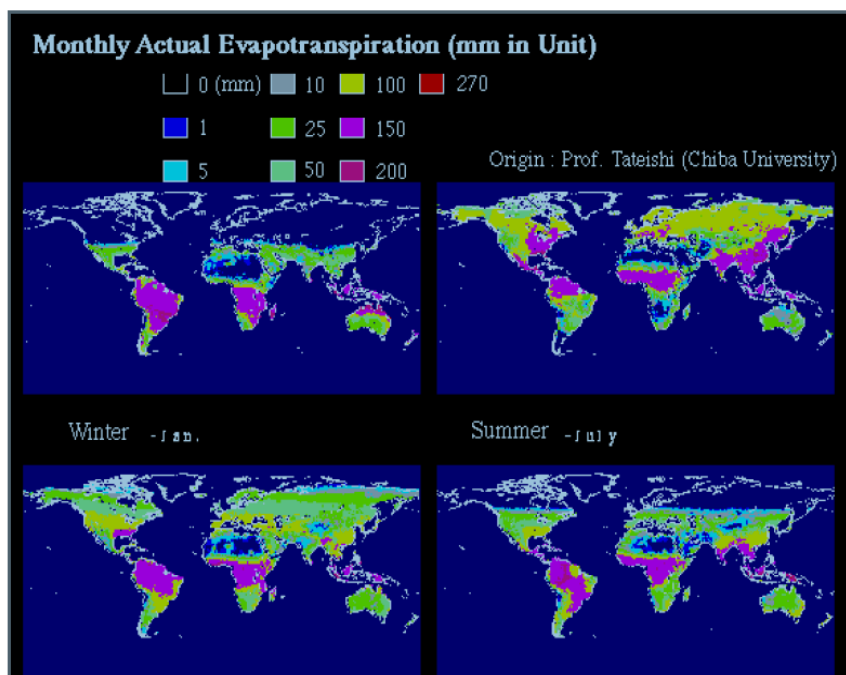


Рисунок 2.5 – Супутниковий знімок, створений АНН і Tateishi (Центр досліджень дистанційного зондування і дослідницький центр дистанційного зондування та зображень, Університет Чіба, Японія).

Оцінка базується на методі *Прістлі-Тейлора (Priestley-Taylor method)* з використанням глобальних наборів даних, включаючи температуру повітря, альbedo хмарність, висоту над рівнем моря, які є частиною глобальної бази даних екосистем, що надається NOAA-EPA.

Потім були проведені подальші розрахунки за *методом Торнтвейта (Thornthwaite method)* для оцінки евапотранспірації з використанням опадів (надані NOAA-EPA) та вологоємності ґрунту ємності ґрунту (надані GRID-Geneva) [11].

**Фактичне та потенційне випаровування.** Розрахунок потенційного випаровування ( $PE$ ) на основі легкодоступних метеорологічних даних є вважається набагато простішою операцією, ніж обчислення або вимірювання фактичного випаровування ( $E_t$ ) з поверхні, вкритої рослинністю. Однак, втрати води з водозбірної площі не завжди відбувається з потенційною швидкістю, оскільки це залежить від безперервного водопостачання водопостачання. Коли рослинність не здатна відбирати воду з ґрунту, то фактичне випаровування стає

меншим за потенційне, випаровування стає меншим за потенційне. Таким чином, співвідношення між  $E_t$  і  $PE$  залежить від вмісту вологи в ґрунті [10].

Знання про випаровування стає все більш важливим протягом останніх десятиліть через зростаюче використання зрошення на сільськогосподарських угіддях. Оцінити точне значення випаровування на певній території дуже важко через непевних параметрів, які потрібно враховувати. Було створено багато моделей, але більшість з них засновані на емпіричних моделях і тому не є дуже точними. Найпоширенішою моделлю є рівняння *Пенмана та Пенмана-Монтейна*, яке широко використовується. Проте воно використовує багато параметрів, які становлять великий інтерес і потребують багато пристроїв для розрахунку випаровування. Сьогодні використання супутників дозволяє оцінити випаровування на більшій площі ніж ми могли оцінити десять років тому. Але ми все одно інтегруємо параметри в рівняння моделювання, щоб отримати значення випаровування.

Розглянувши низку закордонних методів для розрахунку випаровування виходячи з доступності вихідних даних, на думку автора у подальших дослідженнях доцільним є застосування методу А.Р. Костянтинова [14]. У наступному підпункті даний метод розглянуто більш детально.

## 2.2 Метод А.Р. Констянтинова

Метод А.Р. Костянтинова [14] 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 [14].

За різні місяці поправки можуть бути визначені за графіками [14], 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 [14].

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 [14], 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 [13].

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 [15].

За допомогою запропонованої розрахункової методики найточніше можна отримати величини випаровування за такі проміжки часу, які задовольняють наступним двом вимогам [15]:

- 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 [15].

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

поток. 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. Константинова 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 [15] 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. Константинова. Слід зазначити, що даний метод апробований для низки річок України [16]-[21].

### 2.3 Визначення атмосферних опадів з поверхні водозбору

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.

#### *Вимірювання опадів за рекомендаціями ВМО*

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.

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.

#### *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 кедра 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 поплавок 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 пловіографи мають механізм примусового зливу, який допомагає здійснювати процес зливу менш ніж за п'ять секунд. У пловіографа 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 пловіографі 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 замерзання, оскільки зайве тепло може знизити точність спостережень, створюючи вертикальне переміщення повітря над приладом спостережень і збільшуючи втрати за рахунок випаровування.

***Пловіограф 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 нахилиється 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 нахилиється, 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 пльовіографа [13]:

– 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);

– 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;

– 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.

## 2.4 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-No. 519) [13].

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

#### *Пристрої для вимірювання рівня води*

##### Пристрої для візуальних вимірювань рівнів води

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

- вертикальна водомірна рейка;
- скошена або нахилена водомірна рейка;
- передавальні водомірні пости, які встановлюють на конструкціях над водою;
- градуйована штанга, стрічка, трос або голчаста рейка для вимірювання відстані до поверхні води;
- максимальна рейка для одержання висоти піку паводка завдяки зчепленню гранульованого корка з градуйованою рейкою, яка розташована у фіксованій точці по відношенню до нульового рівня.

#### *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.

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 невелике 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.

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.

#### *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.

#### *Вимірювання витрати води за допомогою гідрометричних вертушок*

Вимірювання витрати води можлива за методом швидкість-площа. В даному методі 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.

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).

Розрахунок витрати води арифметичними методами: метод елементарних майданчиків та метод серединних площадок.

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 добутоків 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 (ізотах). За допомогою планіметра вимірюють площі, укладені між ізотахами і лінією поверхні води, починаючи від ізотахи 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).

## 3 ВИЗНАЧЕННЯ СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК

### 3.1 Теоретичні основи водного балансу

На земній поверхні завдяки надходженню тепла від Сонця і дії сил тяжіння здійснюються безперервний вологообіг, що виявляється у випаровуванні вологи з поверхні океанів і суші, випаданні опадів, стіканні частини їх поверхневим і підземним шляхом назад у моря та океани. Однією з характеристик вологообігу є водний баланс будь-якої території за певний інтервал часу, що відображає кількісні співвідношення між приходом, витратою та зміною вологи, що об'єктивно існує в природі. Водно-збалансовані розрахунки дозволяють розглядати всі гідрологічні ланки у взаємозв'язку та забезпечувати їх кількісне ув'язування [14].

Стосовно річкових водозборів формування водного балансу починається з моменту надходження опадів на його поверхню. Частина атмосферних опадів одночасно стікає у вигляді поверхневого стоку, просочується, поповнюючи запаси вологи зони аерації та підземні води, витрачається на сумарне випаровування з поверхні води та суші, снігового покриву транспірацію рослинністю. Поряд з цим у межах басейну відбувається накопичення та витрачання раніше накопичених поверхневих та підземних вологозапасів. Формування водного балансу відбувається в результаті поєднання та взаємодії великої кількості факторів, що діють в атмосфері, на поверхні ґрунту та приповерхневої товщі землі.

Вибір річкових басейнів для водно-балансових розрахунків залежить від конкретних завдань. Однак незалежно від цього вони повинні перебувати в типових однорідних фізико-географічних умовах, бути повніше вивченими в гідрометеорологічному та гідрогеологічному відношенні, а також мати відомості про господарське використання території [14].

Оптимальна площа розрахункових басейнів знаходиться в межах від 1000 до 8000-10000 км<sup>2</sup> [14].

За необхідності проведення водно-балансових розрахунків для водозборів із площами понад 10 тис. км<sup>2</sup> слід виділити у межах однорідні басейни менших розмірів, а малих водозборів організувати комплексні водно-балансові спостереження чи використовувати дані водно-балансних станцій.

Для розрахункових басейнів необхідно мати гідрографічні характеристики та особливо надійні дані про площі водозбору, оскільки похибки водно-балансових розрахунків можуть бути викликані похибками у визначенні площ водозборів.

Водно-балансові розрахунки можуть проводитися за календарний рік, гідрологічний рік, місяці, сезони, генетично однорідні фази формування водного балансу – осінню, зимову та літню межені, повінь та її гілки підйому та спаду, окремі паводки. При цьому тривалість розрахункового періоду має бути достатньою для обчислення середніх багаторічних значень елементів водного балансу з необхідною точністю.

Розрахунки водних балансів проводяться за багаторічний період (середні багаторічні водні баланси), характерні по водності (маловодні та багатоводні), опадам (сухі та вологі), температурним умовам (теплі та холодні) роки, а так само за роки різної ймовірності перевищення окремих гідрометеорологічних показників [14].

Наявність водних ресурсів є важливою проблемою у XXI столітті. Забезпечення сталого водопостачання вимагає розуміння гідрологічного циклу. Метод водного балансу є одним з основних для оцінювання впливу кліматичних змін на гідрологічний стік та є інструментом, який використовують для кількісної оцінки гідрологічного циклу.

Рівняння водного балансу річкового водозбору є одним з проявів загального закону збереження енергії. На його основі розглядають зв'язок між надходженням, витратами та зміною вологості на водозборі. Всупереч простій концепції, водний баланс досить важко точно визначити.

Формування водного балансу починається з моменту надходження опадів на поверхню річкового водозбору. Частина атмосферних опадів одночасно стікає у вигляді поверхневого стоку, просочується, поповнюючи запаси вологи в зоні аерації та підземні води, витрачається на сумарне випаровування з поверхні води та суші, снігового покриву, транспірацію рослинністю. Поряд з цим у межах водозбору відбувається акумуляція та витрачання раніше накопичених поверхневих та підземних запасів вологи.

Рівняння водного балансу є простим, універсальним і адаптованим, оскільки воно опирається на декілька припущень щодо механізмів руху та збереження води. Базове рівняння водного балансу для невеликого водозбору може бути виражене у вигляді рівняння [22]

$$P + Q_{in} = ET + \Delta S + Q_{out} \quad (3.1)$$

де,  $P$  – кількість опадів,

$Q_{in}$  – стік води, який надходить у водозбірний басейн,

$ET$  – евапотранспірація (сума випаровування з ґрунтів, поверхневих водних об'єктів та рослин),

$\Delta S$  – зміна запасів води на водозборі,

$Q_{out}$  – стік води, який виходить з водозбору.

Складові рівняння (3.1) водного балансу називають компонентами [22]. Водний баланс може бути записаний в об'ємах (для фіксованого інтервалу часу), для потоків (об'єм за певний інтервал час, наприклад, кубічних метрів на добу або акрів на рік) або щільності потоку (об'єм на одиницю площі поверхні суші за певний час, наприклад, міліметрів на добу). Як правило, водні баланси зведені в електронні таблиці, які містять щомісячні та річні дані для Сібрука, штат Нью-Джерсі, з роботи [23]. У підході, що використовується цими авторами, припускається, що  $Q_{in}$  дорівнює нулю, а  $Q_{out}$  дорівнює стоку води, який виходить з водозбору.

Рівняння (3.1) можна уточнити і записати залежно від цілей і масштабів конкретного дослідження. Опади можна записати як суму атмосферних опадів, снігу, граду, мряки, інею, туману, краплинного туману та зрошення. Об'єм води, що надходить на водозбір або витікає з нього, може бути поверхневим або підземним, як з природних, так і з антропогенних причин.

Евапотранспірацію можна диференціювати на випаровування та транспірацію рослин. Подальше уточнення може базуватися на об'ємах води, яка випаровується. Випаровування може відбуватися з відкритих водойм та ґрунту або снігового покриву (сублімація). Рослини можуть видобувати ґрунтову воду або воду з ненасиченої зони. Такі уточнення повинні бути збалансовані із наявними методами вимірювання, які часто не призначені або не мають достатньої роздільної здатності, щоб розрізняти субкомпоненти. Більшість методів вимірювання випаровування, наприклад, кількісно визначають потік води з поверхні землі чи рослинності до атмосфери і не розрізняють різні джерела води. Формування дієвого водно-балансового підходу для оцінки випаровування або інших компонентів водного балансу вимагає аналізу наявних методів вимірювання.

Накопичення води відбувається у всіх трьох ланках гідрологічного циклу. Кількість води, що зберігається в атмосфері, невелика порівняно з тією, що знаходиться на поверхні суші та в підземних горизонтах. Поверхневі води зберігаються в річках, ставках, водно-болотних угіддях, водосховищах, льодовиках і снігових пакетах. Підземні запаси можуть бути класифіковані на різні субрахункові одиниці, такі як коренева зона, ненасичена зона в цілому, насичена зона, підземна зона, водоносні горизонти, насичена зона або різні геологічні одиниці. Розширена форма, але, безумовно, не вичерпне уточнення водного балансу, яке підходить для багатьох гідрологічних досліджень, може бути записана у вигляді [24]

$$P + Q_{in}^{sw} + Q_{in}^{gw} = ET^{sw} + ET^{gw} + ET^{uz} + \Delta S^{sw} + \Delta S^{snow} + \Delta S^{uz} + \Delta S^{gw} + Q_{out}^{gw} + RO + Q_{bf} \quad (3.2)$$



де надрядкові знаки позначають поверхневі води (sw), підземні води (gw), ненасичену зону (uz);

$RO$  – поверхневий стік;

$Q_{out}^{gw}$  відноситься як до підземних вод водозбору, так і будь-який забір за допомогою насосів;

$Q^{bf}$  – базовий стік (скид підземних вод до потоків).

Малоймовірно, що всі елементи в рівнянні 4.1 будуть важливими для будь-якої ділянки, деякі з них будуть незначними і ними можна знехтувати. Дійсно, при виборі розрахункової одиниці для розробки водного балансу, вибір меж може значно полегшити процес розрахунку.

Якщо розглянути, наприклад, невеликий водозбір і пов'язану з ним систему неглибоких підземних вод. Межі водозбору чітко визначені: поверхневий стік відсутній і спостерігається лише в руслі потоку, де можна легко виміряти витрату води. Якщо межі водозбору відповідають вододілам підземних вод, то підземне живлення відсутнє. Припустимо, що всі підземні води, які не втрачаються до  $ET$ , в кінцевому підсумку потрапляють у потік, в такому випадку відповідний водний бюджет для водозбору може бути визначений за наступним рівнянням [22]

$$P = ET + \Delta S + RO + Q^{bf} \quad (3.3)$$

Якщо річна зміна запасів води є невеликою, випаровування можна оцінити як різницю між опадами та стоком з водозбору [22].

Залежно від досліджуваного природного об'єкта і розрахункового інтервалу часу рівняння водного балансу річкового водозбору може включати різні елементи, а отже, мати різне написання, наприклад [25]

$$P = E + Y_{нов} + Y_{нідз} \pm \Delta W \pm \mu \quad (3.4)$$

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;  $\pm \Delta W$  – зміна запасів вологи в ґрунтах водозбору, а також у русловій мережі, озерах та болотах, що розташовані у межах басейну. Знак «+» вказує на накопичення, а «-» – на витрату запасів вологи на водозборі.

Якщо суму  $Y_{нов} + Y_{відз}$  позначити, як сумарний стік  $Y$ , то отримаємо наступне рівняння [25]

$$P = E + Y \pm \Delta W. \quad (3.5)$$

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

$$P_0 = E_0 + Y_0, \quad (3.6)$$

де  $P_0$  – середня багаторічна величина опадів;  $E_0$  – середня багаторічна величина випаровування з водозбору;  $Y_0$  – середня багаторічна величина стоку.

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.

Для розрахунку сумарного випаровування з поверхні річкового водозбору існує велика кількість методів, які потребують різний набір вхідних даних. Одним з методів, який апробовано для рівнинних річок України є метод А.Р. Костянтинова [14], що заснований на теорії турбулентної дифузії й дозволяє достатньо просто та швидко виконати розрахунки за даними метеорологічних спостережень про температуру і вологість повітря.

Оскільки, формування водного балансу на річковому водозборі залежить від низки факторів та відбувається в результаті взаємодії процесів, що відбуваються в атмосфері, на поверхні та під поверхнею ґрунту, тому важливо врахувати місцеві природні умови досліджуваного водозбору.

Базове рівняння (3.6) може бути застосовано для рівнинних річок з площею водозбору в межах 1000-10000 км<sup>2</sup>, які розташовані в однорідних умовах

формування стоку [14]. Для малих річок водозбору (<1000 км<sup>2</sup>) з наявністю в їх межах неоднорідних умов підстильної поверхні (ліс, поле, болото та ін.), площа яких складає не менше 20-30 % від загальної площі водозбору, складові рівняння водного балансу визначають з урахуванням їх значень по окремих територіях. Якщо в межах розрахункових річкових водозборів є водойми, площа яких перевищує 5 % від загальної площі, необхідно також враховувати випаровування з водної поверхні.

Складові водного балансу річкових водозборів зазвичай розраховують за місяцями та за гідрологічний рік. Гідрологічний рік – являє собою річний інтервал, що містить періоди накопичення та витрачання води на річковому водозборі. В межах гідрологічного року режим річки характеризується спільними рисами його формування та стану, зумовленими сезонними змінами клімату.

Початок кожного гідрологічного року є індивідуальним. Проте, для спрощення розрахунків приймають постійні межі гідрологічного року, які належать до початку одного з місяців. У подальших дослідженнях авторів, відповідно до рекомендацій [14] за початок гідрологічного року буде прийнято – 1 листопада.

За початок гідрологічного року, протягом якого на водозборі завершується замкнутий водно-балансовий цикл накопичення та витрачання вологи та запаси вологи найменші, що переходять з року в рік, приймається перший осінній період, коли дотримується нерівність

$$P_0 > (Q+E), \quad (3.7)$$

де  $P_0$  – місячна сума опадів,

$Q$  та  $E$  – відповідно місячні величини стоку та сумарного випаровування.

За закінчення гідрологічного року приймається останній місяць літньої межени або перший осінньої межени, коли має місце нерівність

$$P_0 < (Q+E), \quad (3.8)$$

Отже, початок кожного гідрологічного року є індивідуальним. Однак для спрощення розрахунків та порівнянності отриманих результатів приймають не ковзаючі межі гідрологічного року, а постійні, що належать до початку одного з місяців.

Крім гідрологічного року, що є відносно великою одиницею часу, виділяються ще сезони. Гідрологічний рік поділяється на два рівні півріччя: холодне (листопад – квітень) та тепле (травень – жовтень), а також на чотири сезони: осінь, зиму, весну та літо. Гідрологічні сезони встановлюються як у гідрологічних, так і у календарних межах.

Початок осіннього сезону збігається із початком гідрологічного року. Зимовий сезон починається з місяця, протягом більшої половини якого спостерігається стійкий сніговий покрив, що зберігається і наступні місяці. За початок весняного сезону приймається час різкого підйому рівнів, а літнього – кінець спаду повені.

Гідрологічна межень поділяється на осінню, зимову та літню, дати початку та кінця яких визначаються аналогічно сезонам з точністю до доби.

Початок і тривалість повені, а також період його підйому та спаду визначаються за гідрографами з точністю до доби.

За початок повені приймається дата різкого збільшення витрат від стійких підземних витрат зимової межі до поверхневих, а за кінець – дата закінчення зменшення витрат до значень, приблизно рівних їх величинам на початку повені.

Тривалість підйому повені при багатопіковому характері приймається від початку до дати настання максимуму, а спаду – решта до кінця повені.

Паводки, що спостерігаються за період повені, зазвичай не виділяються, а закінчення його визначаються за типовою кривою спаду.

Початок та кінець паводків визначаються з точністю до доби за гідрографами. Водний баланс складає в цілому для всього паводку без виділення окремо фаз підйому та спаду. Для районів з безперервним формуванням паводків

баланси складаються за двома-трьома основними за окремі сезони або в цілому за весь паводковий період.

### 3.2 Визначення складових водного балансу в басейні річки Південний Буг до села Тростянчик

Виходячи з доступності вихідних даних розрахунків 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.

Аналіз вихідних даних та методів для розрахунку випаровування з поверхні водозборів в басейні річки Південний Буг виконано у роботі [26].

Середньомісячні значення випаровування в басейні річки Південний Буг (до села Тростянчик) визначено за два розрахункові періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для 5 метеостанцій за методом А.Р. Костянтинова.

З цією метою виконано збір температури повітря та абсолютної вологості повітря з листопада 1980 по жовтень 2020 рр. за даними метеорологічних щомісячників ЦГО.

Встановлено, що найнижчі середньомісячні значення температури повітря (осереднені за 20-ний період) в басейні річки Південний Буг (до с. Тростянчик) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні і коливаються від -3,8 до -3,9 °С (рис. 3.1).

Найвищі середньомісячні значення температури повітря в басейні річки Південний Буг (до с. Тростянчик) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у липні і коливаються від 19,7 до 20,3 °С.

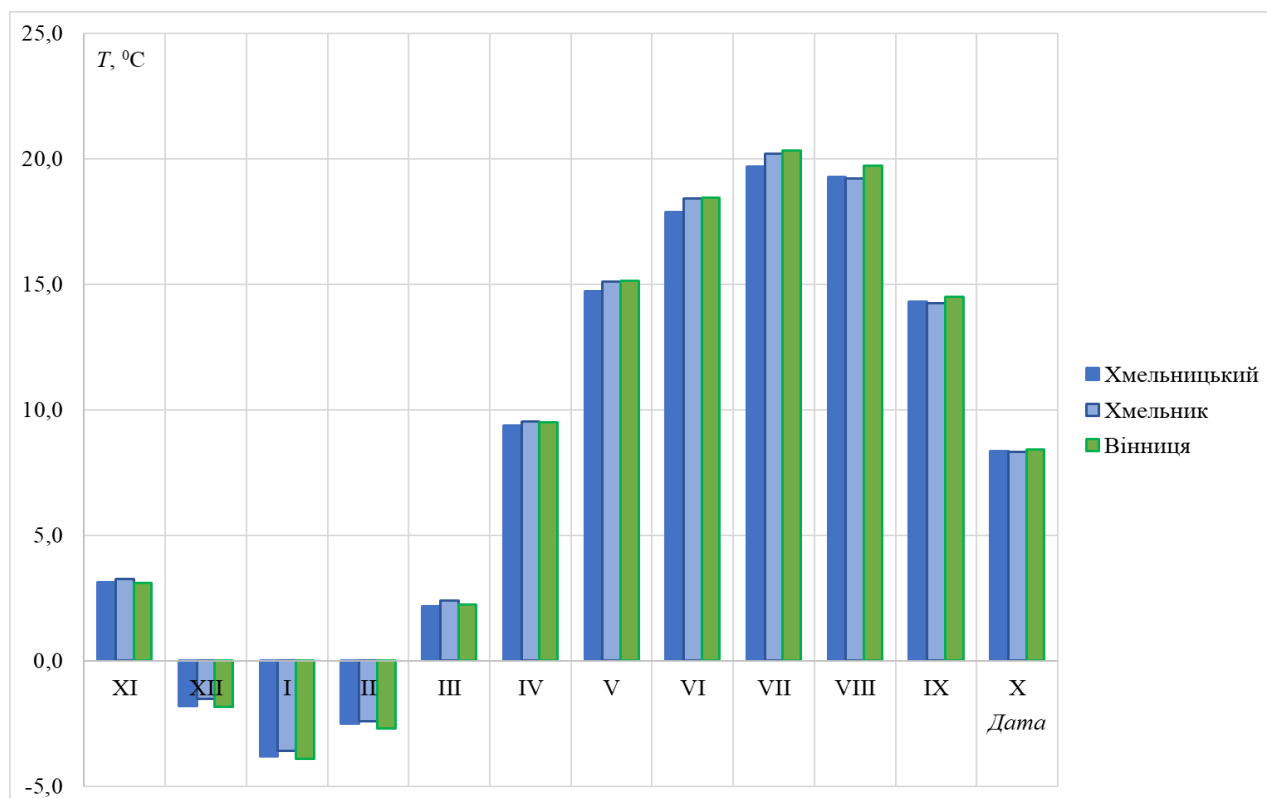


Рисунок 3.1 – Середньомісячна температура повітря в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик (2000-2020 рр.).

Найнижчі середньомісячні значення абсолютної вологості повітря (осереднені за 20-ний період) в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні і становлять 4,3 мб (рис. 3.2). Найвищі середньомісячні значення абсолютної вологості повітря спостерігаються у липні і коливаються на досліджуваних метеостанціях від 16,2 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].

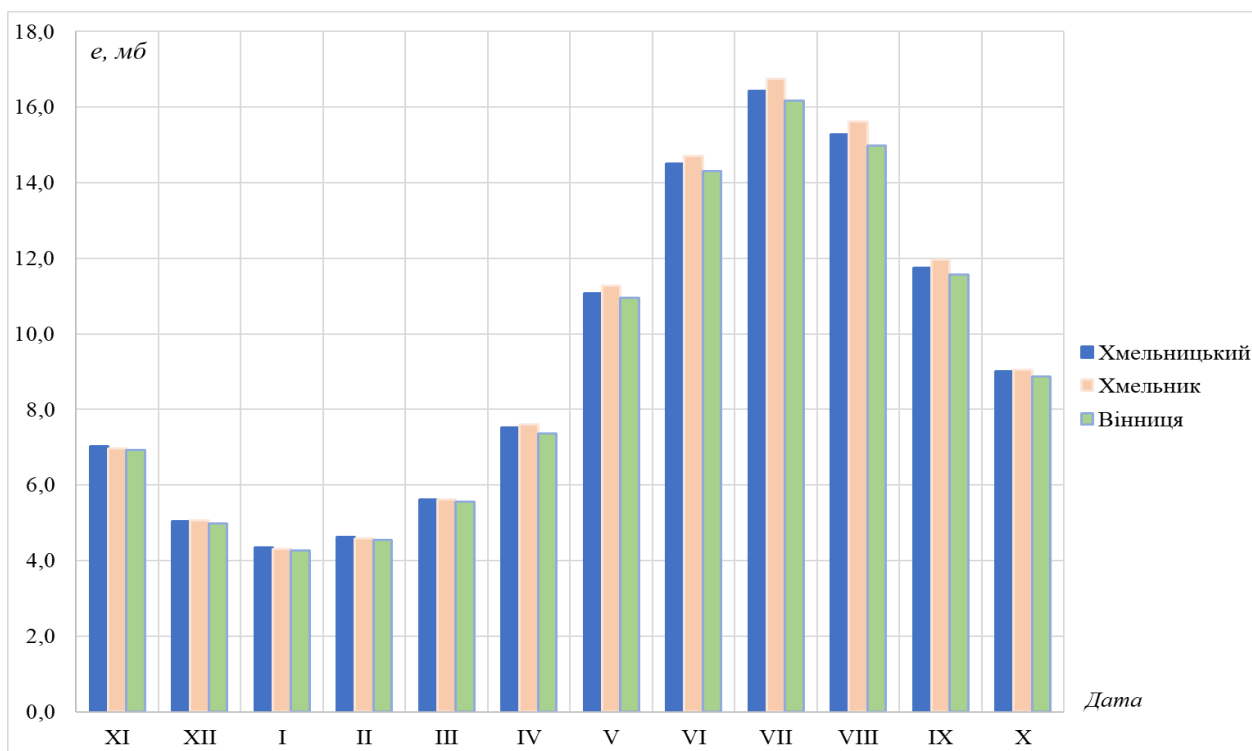


Рисунок 3.2 – Середньомісячна абсолютна вологість повітря в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик (2000-2020 рр.).

Далі за даними температури та абсолютної вологості повітря (з урахуванням внесених поправок) 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 3 метеостанцій в басейні річки Південний Буг за 20-річний період (з 2000 по 2020 рр.) до с. Тростянчик представлено на рис. 2.3.

Встановлено, що найнижчі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 20-ний період) спостерігаються у січні і коливаються від 4,4 до 4,9, мм (рис. 3.3). Найвищі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 20-ний період) в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у липні і коливаються від 83,6 до 88,3, мм.



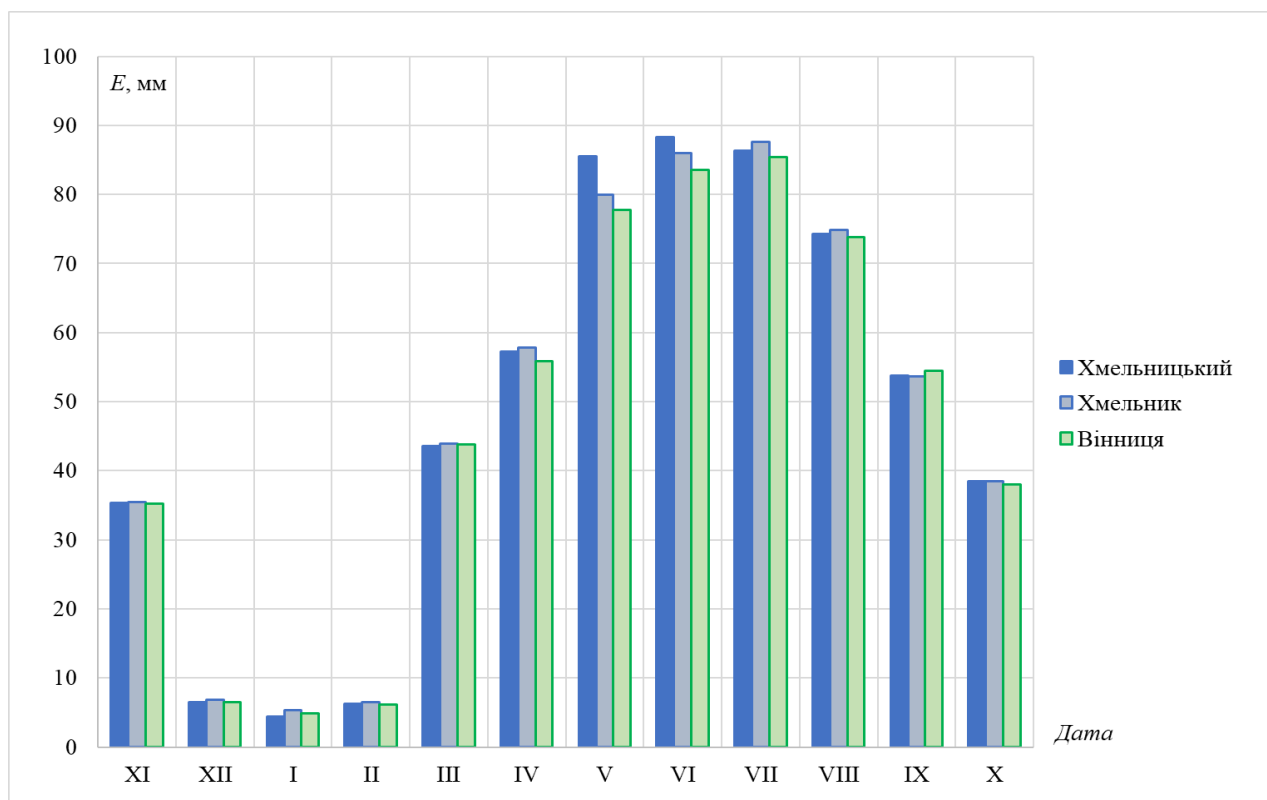


Рисунок 3.3 – Розрахункові величини випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг до с. Тростянич (2000-2020 рр.).

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. 2.3). При збільшенні значень температури та абсолютної вологості повітря підвищуються і значення випаровування.

В роботі досліджено середньомісячні значення опадів в басейні річки Південний Буг осереднені за 20-річний період (з 2000 по 2020 рр.) для 3 метеостанцій.

Встановлено, що найнижчі значення опадів (осереднені за 20-ний період) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні – 30,4-35,3 мм. Найвищі значення опадів на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у червні і становлять 90,7-97,7 мм (рис. 3.4).

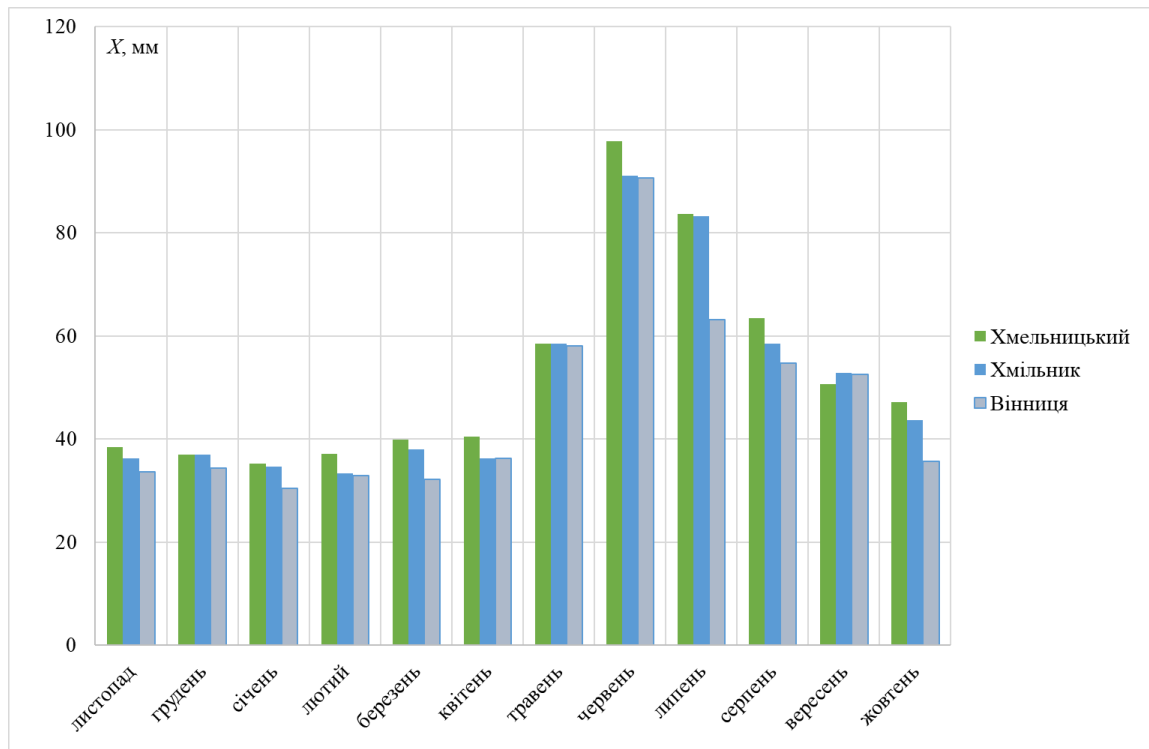


Рисунок 3.4. – Розраховані середні по водозбору опади в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик (2000-2020 рр.).

У роботі виконано розрахунок значень середньомісячних витрат води в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик та осереднено їх за 20-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 до с. Тростянчик (осереднені за 20-ний період) спостерігаються у серпні – 3 мм. Найвищі значення шарів стоку на досліджуваній спостерігаються у квітні і становлять 8 мм (рис. 3.5).

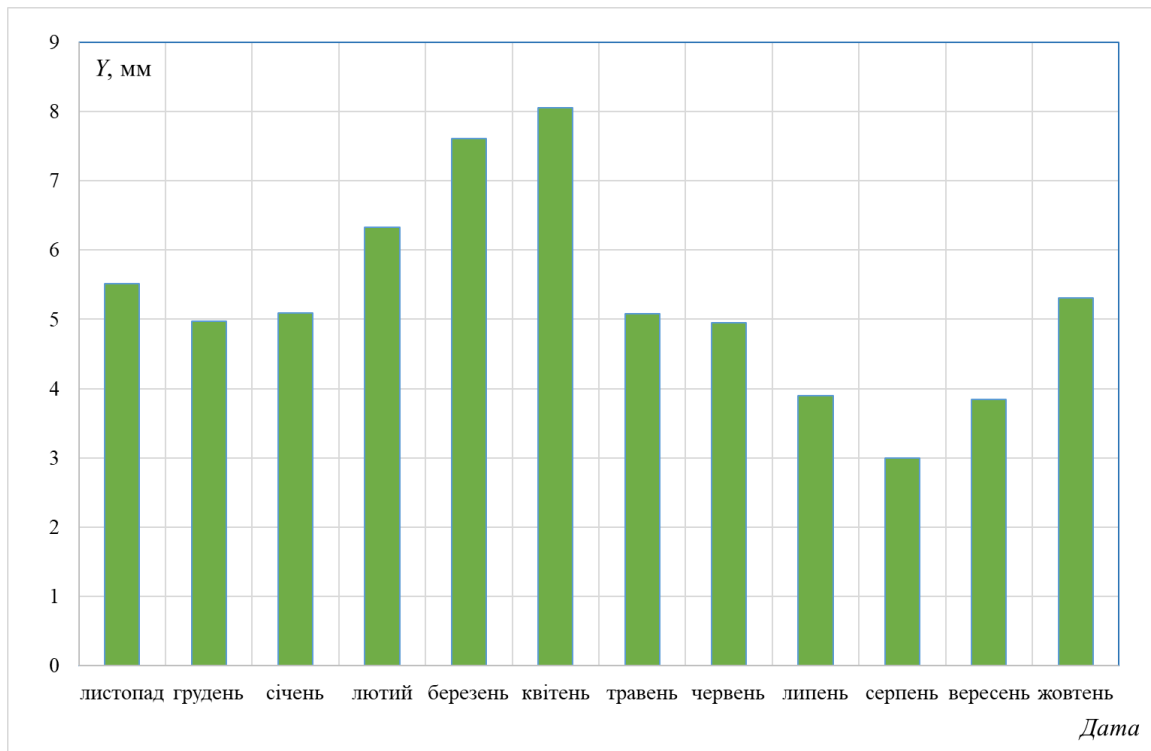


Рисунок 3.5 – Середньобогаторічні місячні шари стоку в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик (2000-2020 рр.).

Часові тенденції гідрометеорологічних характеристик в умовах сучасних кліматичних змін та дослідження впливу змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг представлено в роботах [21], [27].

#### 4. РОЗРАХУНОК ВОДНОГО БАЛАНСУ В БАСЕЙНІ РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ (ДО СЕЛА ТРОСТЯНЧИК)

В даному дослідженні водний баланс розраховано за рівнянням

$$P_0 = E_0 \pm Y_0 \pm \mu \quad (4.1)$$

Водний баланс в басейні річки Південний Буг до села Тростянчик (в мм за рік) визначено за два 20-річні періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для трьох гідрологічних постів. При цьому метеорологічні характеристики (атмосферні опади та сумарне випаровування) було осереднено по водозбору.

Результати розрахунку водного балансу за перший 20-річний період (з 1981 по 2000 рр.) в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка представлено на рис. 4.1.

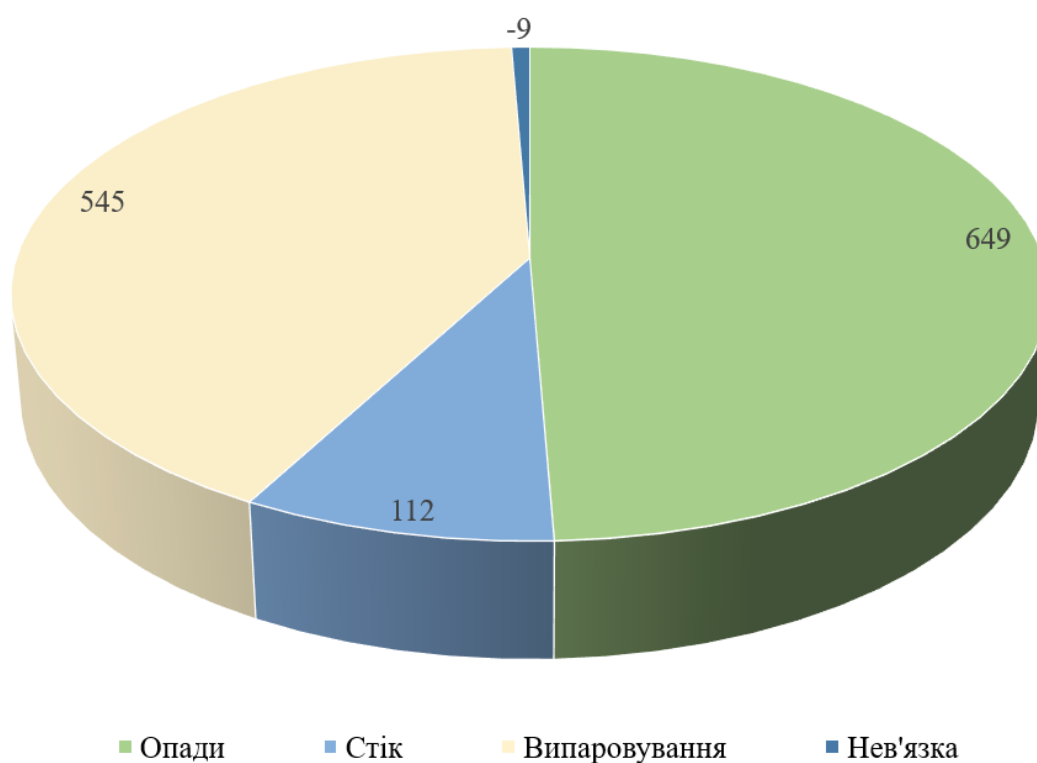


Рисунок. 4.1 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка (1981-2000 рр.), мм за рік.

З рис. 4.1 видно, що нев'язка складає 9 мм, що відповідає 1 % та входить в межі допустимої (10 %).

Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка за другий 20-річний період (з 2001 по 2020 рр.) представлено на рис. 4.1.

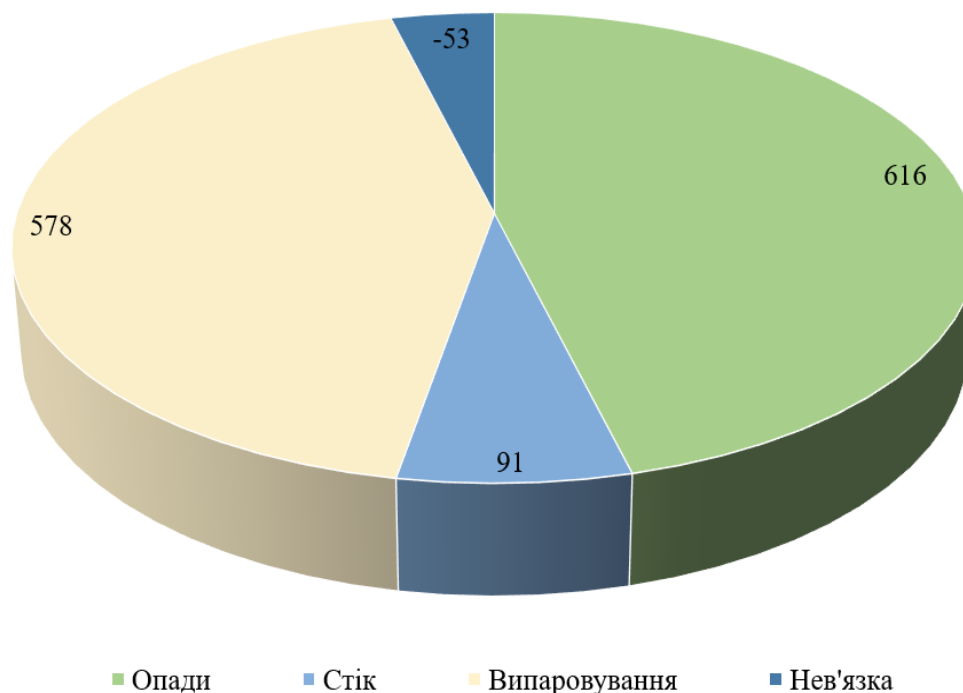


Рисунок. 4.2 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка (2001-2020 рр.), мм за рік.

Значення атмосферних опадів та стоку для двох розрахункових періодів визначені за даними гідрометеорологічної мережі спостережень, а значення сумарного випаровування розраховано за методом А.Р. Констянтинова.

Виходячи з рівняння (4.9) сумарне випаровування в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка за перший 20-річний період (з 1981 по 2000 рр.) становить 537 мм, а за методом А.Р. Констянтинова 545 мм; сумарне випаровування за другий 20-річний період (з 2001 по 2020 рр.) становить 578 мм та 525 мм відповідно.

Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Констянтинова в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка показує досить схожі результати (рис. 4.3).

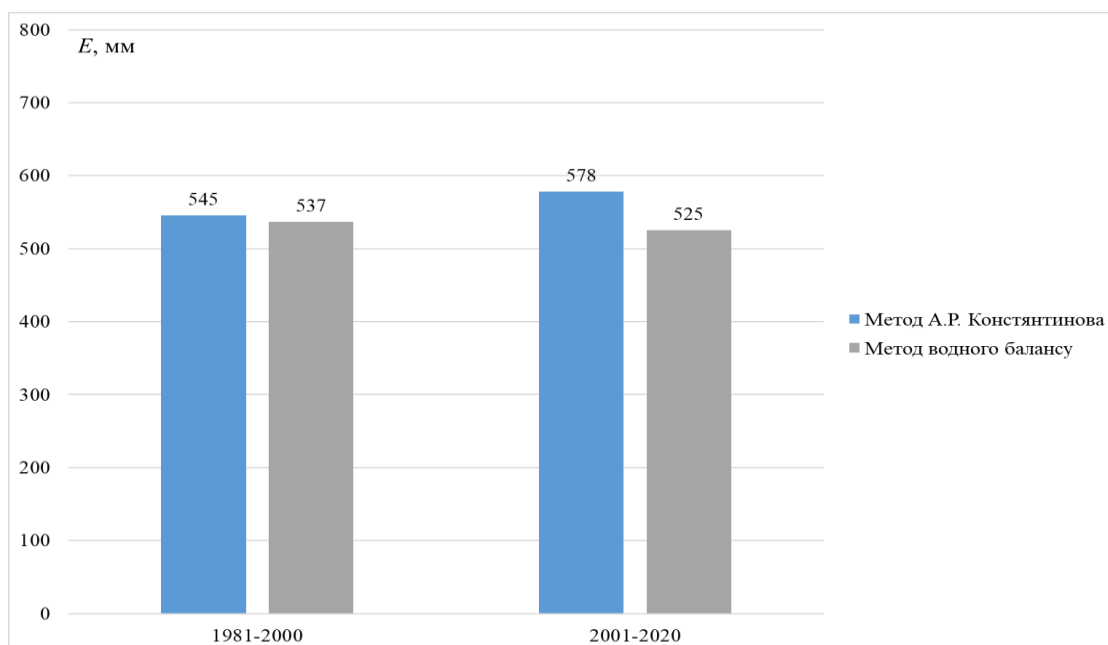


Рисунок. 4.3 – Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Константинова в басейні р. Південний Буг – с. Лелітка.

Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Рів – с. Демидівка за перший 20-річний період (з 1981 по 2000 рр.) представлено на рис. 4.4.

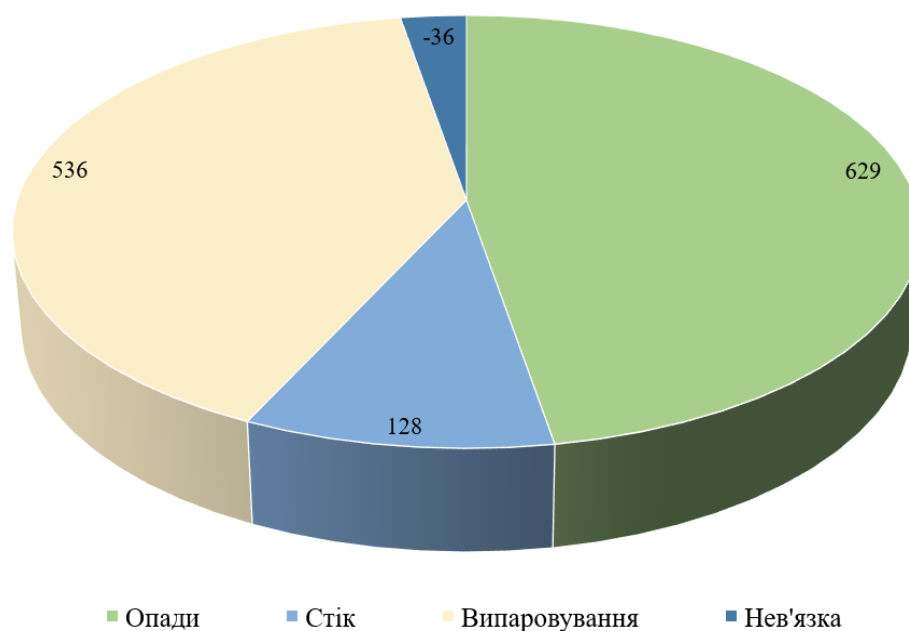


Рисунок. 4.4 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Рів – с. Демидівка (1981-2000 рр.), мм за рік.

Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Рів – с. Демидівка за другий 20-річний період (з 2001 по 2020 рр.) представлено на рис. 4.5.

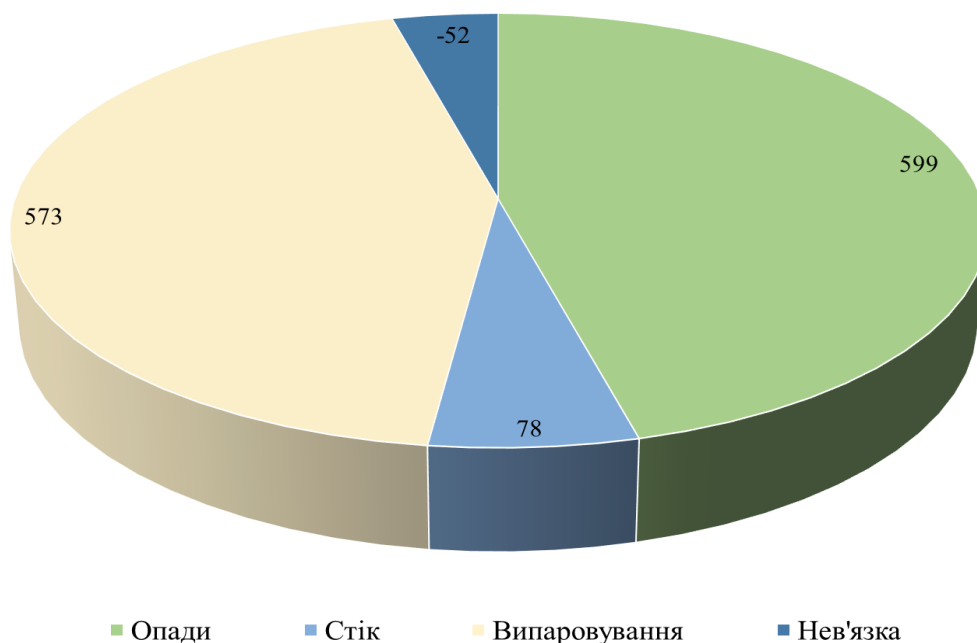


Рисунок. 4.5 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Рів – с. Демидівка (2001-2020 рр.), мм за рік.

Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Константинова в басейні р. Рів – с. Демидівка показує збіжні результати (рис. 4.6).

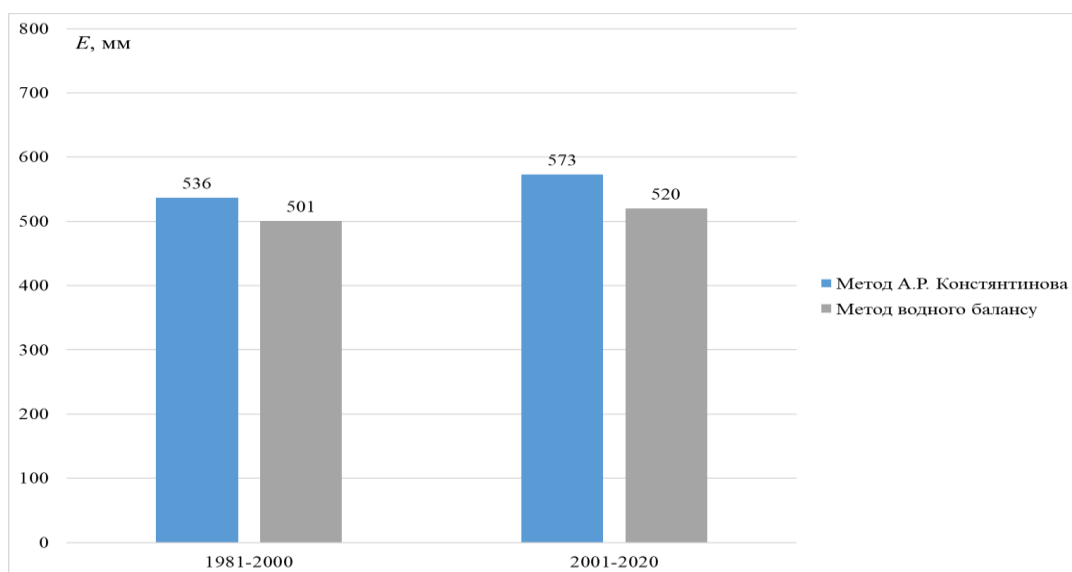


Рисунок. 4.6 – Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Константинова в басейні р. Рів – с. Демидівка.

Також, виконано розрахунок водного балансу для двох 20-річних періодів в замикаючому створі досліджуваної території – басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик (рис. 4.7-рис. 4.8).

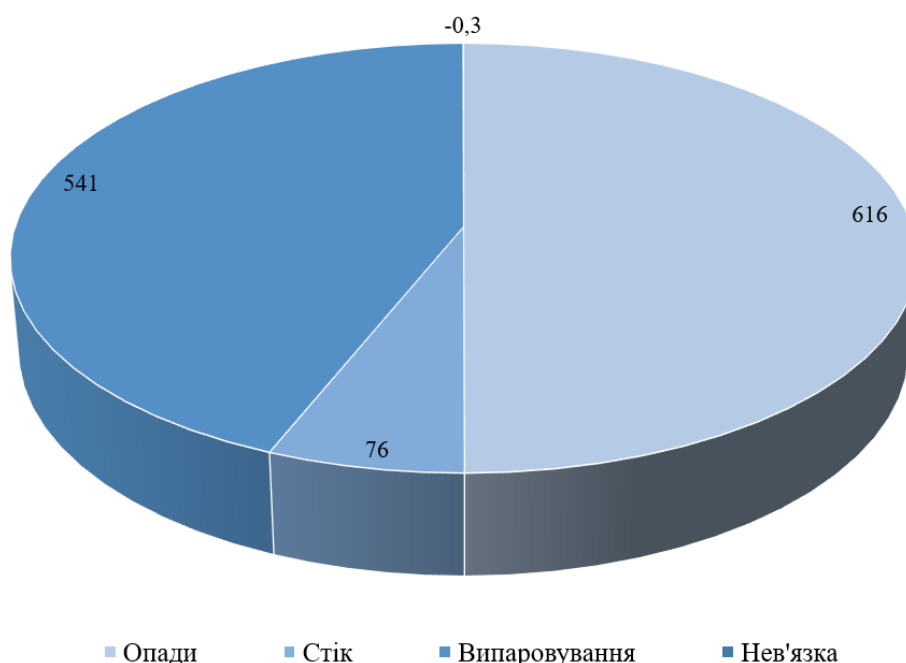


Рисунок. 4.7 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик (1981-2000 рр.), мм за рік.

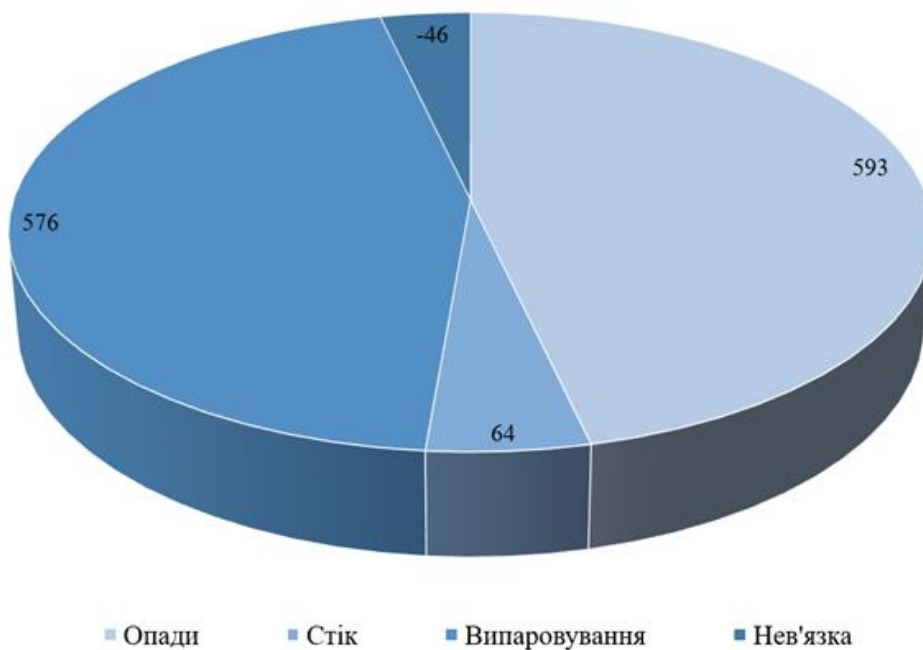


Рисунок. 4.6 – Результати розрахунку водного балансу в басейні р. Південний Буг – с. Тростяничик (1980-2000 рр.), мм за рік.



Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Константинова в басейні р. Південний Буг – с. Тростянчик показує досить подібні результати (рис. 4.7).

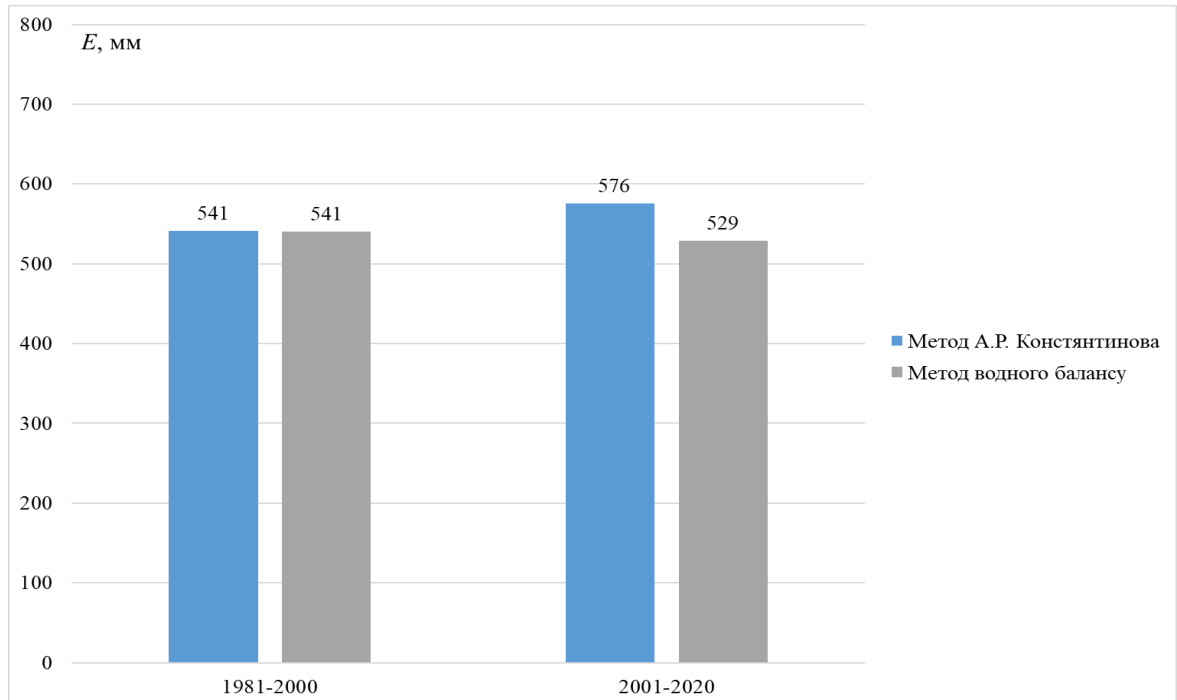


Рисунок. 4.7 – Розрахунок сумарного випаровування за методом водного балансу та методом А.Р. Константинова в басейні р. Південний Буг – с. Тростянчик.

Водний баланс (в мм) басейну р. Південний Буг (до с. Тростянчик) для двох 20-річних періодів: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. представлено у табл. 4.1.

Нев'язки для двох 20-річних періодів: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. басейну р. Південний Буг (до с. Тростянчик) для трьох гідрологічних постів коливаються від 0 до 6 % – для першого 20-річного періоду та від 8 до 9 % другого 20-річного періоду відповідно.

Нев'язка обчислення багаторічного водного балансу не повинна перевищувати 10 % від загальної кількості опадів [17], тому можна стверджувати, що всі баланси, що наведені в табл. 4.1 є коректними.

Таблиця 4.1 – Результати розрахунку водного балансу (в мм) в басейні р. Південний Буг (до с. Тростянчик) для двох 20-річних періодів: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр.

1981-2000				
Річка - пост	Опади, X, мм	Шар стоку, Y, мм	Випаровування, E, мм	Нев'язка, $\mu$ , %
р. Південний Буг – с. Лелітка	649	112	545	-1
р. Рів – с. Демидівка	629	128	536	-6
р. Південний Буг – с. Тростянчик	616	76	541	0
2001-2020				
р. Південний Буг – с. Лелітка	616	91	578	-9
р. Рів – с. Демидівка	599	78	573	-9
р. Південний Буг – с. Тростянчик	593	64	576	-8

## ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи здійснено розрахунок складових водного балансу в басейні річки Південний Буг (до с. Тростянчик) за 20-ний період (з 2000 по 2020 рр.). 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 розглянуто теоретичні основи методу водного балансу для рівнинних річок та визначено складові водного балансу в басейні річки Південний Буг (до с. Тростянчик).

2.1 Досліджено середньомісячні значення опадів в басейні річки Південний Буг осереднені за 20-річний період (з 2000 по 2020 рр.) для 3 метеостанцій. Встановлено, що найнижчі значення опадів (осереднені за 20-ний період) на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у січні – 30,4-35,3 мм. Найвищі значення опадів на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у червні і становлять 90,7-97,7 мм

2.2 Результати обчислення середньомісячних значень сумарного випаровування за методом А.Р. Константинова для 3 метеостанцій в басейні річки Південний Буг за 20-річний період (з 2000 по 2020 рр.) показали, що найнижчі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 20-ний період) спостерігаються у січні і коливаються від 4,4 до 4,9, мм. Найвищі середньомісячні значення випаровування (осереднені за 20-ний період) в басейні річки Південний Буг до с. Тростянчик на досліджуваних метеостанціях спостерігаються у липні і коливаються від 83,6 до 88,3, мм.

2.3 Середньомісячні значення шарів стоку осереднені за період з 2000 по 2020 рр. Встановлено, що найнижчі значення шарів стоку в басейні річки Південний

Буг до с. Тростянчик (осереднені за 20-ний період) спостерігаються у серпні – 3 мм. Найвищі значення шарів стоку на досліджуваній спостерігаються у квітні і становлять 8 мм.

3. Виконано розрахунок складових водного балансу за місяцями та складено рівняння водного балансу за два розрахункові періоди: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. для басейну річки Південний Буг (до села Тростянчик) та розрахунок нев'язки обчислення багаторічного водного балансу.

Нев'язки для двох 20-річних періодів: з 1981 по 2000 рр. та з 2001 по 2020 рр. басейну р. Південний Буг (до с. Тростянчик) для трьох гідрологічних постів коливаються від 0 до 6 % – для першого 20-річного періоду та від 8 до 9 % другого 20-річного періоду відповідно.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. 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. Звіт з оцінки впливу на довкілля «Очистка частины р. Південний Буг на території м. Вінниці Вінницького району Вінницької області». м. Вінниця, 2019. 143 с.
7. Шакірзанова Ж.Р., Докус А.О. Довгострокове прогнозування характеристик весняного водопілля в басейні р. Південний Буг: монографія / Одеса: ФОП Бондаренко М. О., 2021. 244 с. ISBN 978-617-8005-42-9. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/9674/>
8. Правила эксплуатации каскада водохранилищ бассейна Южного Буга. Приложение 1. Климатические условия и гидрометеорологическая характеристика бассейна реки Южный Буг / ОАО «Укргидропроект». Харьков, 2008. 206 с
9. Горбачова Л.О. Сучасний внутрішньорічний розподіл водного стоку річок України. *Український географічний журнал*, 2015, № 3. С. 16-23.
10. Erik Karlsson, Lionel Pomade Methods of estimating potential and actual evaporation. *Department of Water Resources Engineering*. 11 с.
11. Офіційний сайт Colorado State University [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.colostate.edu>2003-10-02.

12. 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.
13. Руководство по гидрологической практике. Том I. Гидрология: от измерений до гидрологической информации ВМО, № 168). Шестое изд. 2011. 314 с.
14. Гидрологические и водно-балансовые расчеты / Под ред. Н.Г. Галущенко. Київ: Вища школа, 1987. С. 56-84.
15. 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.
16. Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О. Просторова та часова динаміка складових водного балансу басейну річки Дністер до міста Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 21-30. 2019.
17. Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І. Вплив сучасних змін у співвідношенні снігодощового живлення річок на структуру водного балансу їх басейнів (на прикладі річкового басейну Ворскли). *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, № 4 (55), 2019. С. 40-52
18. Кожем'якін Д.В., Чорноморець Ю.О. Водний баланс басейнів річок Дністра до міста Заліщики. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*, 2018. №1 (48). С. 24-36.
19. Бесараб Ю. С., Лук'янець О. І. Водний баланс басейну р. Велика Вись та сучасні зміни його складових. *Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія*. 2019. № 2. С. 101-105.
20. ДОКУС Ангеліна, СКОРОХОД Дмитро, ВОЛКОВА Сусанна. Випаровування з поверхні водозбору в басейні річки Південний Буг та малих річок між Дністром і Південним Бугом. *Збірник матеріалів VI Міжнародної науково-практичної конференції «Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти»*, 15 березня 2023 року. С. 132-135.  
<http://eprints.library.odku.edu.ua/id/eprint/11480/>

21. Докус А.О., Больбот Г.В., Скороход Д.В. Вплив змін клімату на внутрішньорічний розподіл складових водного балансу в басейні річки Південний Буг. *Матеріали VII-го Всеукраїнського пленеру з питань природничих наук*. Одеса, 2023. С. 28-31.

22. 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.

23. Thornthwaite, C.W., and Mather, J.R., 1955, The water balance: Publications in Climatology, v. VIII, no. 1, Drexel Institute of Technology, Laboratory of Climatology, 86 p.

24. Scanlon, B.R., Healy, R.W., and Cook, P.G., 2002, Choosing appropriate techniques for quantifying groundwater recharge: Hydrogeology Journal, v. 10, p. 18-39.

25. Докус А.О., Антонов Д.Я., Бовдуй В.В. Водний баланс річкових водозборів рівнинних річок. *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. 72. <http://eprints.library.odeku.edu.ua/id/eprint/11373/>

26. Докус А.О., Скороход Д.В. Аналіз вихідних даних та методів для розрахунку випаровування з поверхні водозборів в басейні річки Південний Буг. *Матеріали XXII наукової конференції молодих вчених Одеського державного екологічного університету, ОДЕКУ, Одеса, 2023*. С. 138-139. <https://odeku.edu.ua/wp-content/uploads/materiali-hhii-naukovo%D1%97-konferenczi%D1%97-molodih-vchenih-odeku-23-31-travnya-2023-roku.pdf>

27. Anhelina Dokus, Hanna Bolbot, Dmitry Skorokhod. Research of the Pivdenny Buh river basin hydrometeorological characteristics time trends in the conditions of modern climate change. *International Conference of Young Scientists on Meteorology, Hydrology and Environmental Monitoring (ICYS-MHEM)*, Kyiv, Ukraine, November 15-16, 2023. Book of Abstracts. Kyiv. 2023. p. 8.