МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Розрахункові характеристики ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

Виконала магістр 2-го року навчання
групи МГ- 2
спеціальності 103 «Науки про Землю»
освітньо-наукової програми «Гідрологія»
Майборода Анастасія Анатоліївна

Керівник канд. геогр. наук, ст. викладач
Тодорова Олена Іванівна

Консультант _____

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Прокоф'єв Олег Милославович

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет _____Гідрометеорологічний інститут_____
Кафедра _____гідрології суші_____
Рівень вищої освіти __магістр_____
Спеціальність _____103 «Науки про Землю» _____
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри гідрології суші
Д-р геогр. наук, проф. Шакірзанова Ж.Р._____
" 11 " __березня___ 2019 року

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Майбороді Анастасії Анатоліївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розрахункові характеристики ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

керівник роботи Тодорова Олена Іванівна, канд. геогр. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "05"_жовтня_2018 року № 271-С

2. Строк подання студентом роботи____10 травня 2019 р._____

3. Вихідні дані до роботи_ мінімальні витрати літньої та зимової межені (1914-2015 рр.), основні гідрографічні характеристики річок та морфометричні характеристики водозборів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1) коротка фізико-географічна характеристика річки Південний Буг (географічне положення, характеристика ґрунтового і рослинного покриву, коротка кліматична характеристика, гідрологічна вивченість і особливості водного режиму річки Південний Буг); 2) методи визначення ґрунтового стоку; 3) розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг; 4) нормування розрахункових характеристик ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Карта-схема географічного положення басейнів річок Південного Бугу, схематичні карти рельєфу, грунтів та рослинності басейнів річок Південного Бугу, карта-схема розташування гідрологічних постів на річках Південного Бугу; хронологічні графіки ходу ґрунтового стоку річок Південного Бугу, різницеві інтегральні криві ґрунтового стоку річок Південного Бугу, карта-схема розподілу ґрунтового стоку річок Південного Бугу, карта-схема розподілу коефіцієнтів варіації ґрунтового стоку річок Південного Бугу.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 березня 2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Коротка фізико-географічна характеристика річки Південний Буг	11.03-20.03.2019	91	відмінно
2	Методи визначення ґрунтового стоку	21.03-31.03.2019	90	відмінно
3	Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг	01.04-14.04.2019	90	відмінно
4	**Рубіжна атестація**	**15.04-21.04.2019**		відмінно
5	Нормування розрахункових характеристик ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг.	22.04-30.04.2019	90	відмінно
6	Оформлення роботи	2.05-7.05.2019		
7	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	10.05-13.05.19		
8	Підготовка доповіді, презентації	13.05-24.05.19		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		90	відмінно

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки групи МГ-2 Майбороди Анастасії Анатоліївни на тему: «Розрахункові характеристики ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг».

Актуальність теми. Ґрунтовий стік є найбільш стійким джерелом живлення більшості річок, що діє майже цілий рік і забезпечує водність річок в найбільш маловодні періоди – в літню і зимову межень. Інтенсивність ґрунтового стоку в річці залежить від ряду природних чинників і умов, з яких найбільше значення мають кліматичні особливості, геологічна будова, літологічний склад гірських порід, характер рельєфу і рослинності, а також ерозійна діяльність річкової мережі.

Мета та задачі дослідження полягають у розробці методики для визначення ґрунтового стоку для невивчених річок басейну Південного Бугу. Для досягнення мети необхідне вирішення наступних з**адач:** отримати ряди ґрунтового стоку, використовуючи дані гідрометеорологічних спостережень за стоком; отримати основні статистичні характеристики рядів ґрунтового стоку. **Об'єктом дослідження** є річки басейну Південного Бугу. **Предметом дослідження** є ґрунтовий стік басейну р. Південний Буг з початку спостережень по 2015 рік. **Методи дослідження:** статистичний аналіз, просторове узагальнення. **Результати дослідження, їх новизна, теоретичне та практичне значення.** Отримана карта-схема для визначення ґрунтового стоку для невивчених у гідрологічному відношенні річок в басейні Південного Бугу. **Рекомендації щодо використання результатів роботи.** Магістерська робота виконана на замовлення Центральної геофізичної обсерваторії імені Бориса Срезневського (лист 17-14-1/1110/06-242, 25.05.2018 р.).

Вихідні дані: основні гідрографічні характеристики водозборів річок басейну р. Південний Буг; тридцятидобовий мінімум за період зимової межені; тридцятидобовий мінімум за період літньої межені.

Кількість сторінок – 80
Кількість рисунків – 18
Кількість таблиць – 8
Кількість використаних літературних джерел - 30
Ключові слова: ґрунтовий стік, циклічність, однорідність.

SUMMARY

Master's qualification work of student of group MG-2 Mayboroda Anastasiia, thesis: «Estimated Characteristics of Subsurface Runoff in the Pivdenny Buh River Basin».

Actuality of theme. Groundwater runoff is the most stable source of nourishment for most rivers, which operates almost year-round and provides the water content of the rivers in the most low-flow period – in summer and winter runoff low. The intensity of groundwater runoff in the river depends on a number of natural factors and conditions, of which the climatic features, geological structure, lithological composition of rocks, the nature of the relief and vegetation and the erosion activity of the river network, are most important. **The purpose and objectives of the study** are to develop a methodology for determining the groundwater flow for unexplored rivers in the Pivdenny Buh basin. To achieve the goal, the following tasks need to be addressed: obtain the rows of soil runoff using hydrometeorological observations of the runoff; obtain the basic statistical characteristics of the runoff series. **The object of research** is the rivers of the Pivdenny Buh basin. **The subject of the study** is the ground runoff of the basin of the Pivdenny Buh River from the beginning of the year 2015. **Results of research, their novelty, theoretical and practical significance.** A map-diagram for determining the ground runoff for unidentified rivers in the basin of the Pivdenny Buh is obtained. **Recommendations for using the results of work.** Master's work is made on request of the Central Geophysical Observatory named after Boris Sreznevsky (sheet 17-14-1 / 1110 / 06-242, 25.05.2018).

Basic data: main hydrographic characteristics of water collection basin of the rivers in the Pivdenny Buh basin; thirty-day minimum for the winter runoff low period; thirty-day minimum for the summer runoff low period.

Number of pages – 80
Number of figures – 18
The number of tables – 8
Reference – 30

Keywords: groundwater runoff, cycle, homogeneity.

ЗМІСТ

Вступ……. 8

1 Коротка фізико-географічна характеристика річки Південний Буг…….. 9

1.1 Географічне положення……. 9

1.2 Характеристика ґрунтового і рослинного покриву…….. 10

1.3 Коротка кліматична характеристика…… 13

1.4 Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму річки Південний Буг…….. 15

2 Методи визначення ґрунтового стоку…….. 19

2.1 Гідрогеологічні або гідродинамічні методи…….. 19

2.2 Воднобалансові методи…….. 20

2.3 Гідрохімічні методи……. 21

2.4 Фізичні методи…….. 22

2.5 Гідрологічні методи……. 23

2.6 Розрахунок норми ґрунтового стоку при тривалих рядах спостережень……. 29

2.7 Розрахунок норми ґрунтового стоку при коротких рядах спостережень …… 34

2.8 Розрахунок норми ґрунтового стоку за відсутності спостережень…… 42

3 Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг……. 46

3.1 Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку за методом моментів…… 46

3.2 Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку за методом найбільшої правдоподібності…….. 50

3.3 Точність оцінок статистичних параметрів ґрунтового стоку розрахованих за методом моментів і методом найбільшої 52

правдоподібності……..
3.4 Оцінка однорідності рядів…… 56
3.5 Аналіз статистичної обробки ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг……. 60
4 Нормування розрахункових характеристик ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг……. 69
4.1 Дослідження впливу зональних та інтразональних факторів, що формують ґрунтовий стік та його мінливість в басейні р. Південний Буг…… 69
4.2 Мінливість ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг……. 74
Висновки……... 77
Список використаних джерел……...….. 78

ВСТУП

Вивчення процесів формування ґрунтового стоку и розробка методів для його розрахунку до на початку 60-х років проводилися недостатньо. Це до певної міри пояснювалося менш широкою сферою застосування характеристик ґрунтового стоку в порівнянні, наприклад, з максимальним стоком, так як головними об'єктами водогосподарського використання найчастіше були досить великі річки. Крім цього, розвиток досліджень ґрунтового стоку в великій мірі стримувалася слабкою гідрогеологічної вивченістю територій, що не дозволяло мати надійну базу для побудови раціональних схем розрахунку ґрунтового стоку, зводячи все опрацювання в цій області до чисто статистичним узагальненням гідрометеорологічного матеріалу.

У *першому розділі* розглядаються фізико-географічні особливості досліджуваної території. *Другий розділ* присвячено розгляду методів для розрахунку ґрунтового стоку. У *третьому розділі* магістерської кваліфікаційної роботи представлені результати статистичної обробки ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг, проаналізовані тренди та циклічність. У заключному *четвертому розділі* виявлено та проаналізовано вплив зональних та інтразональних факторів на ґрунтовий стік.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в обґрунтуванні методики для нормування розрахункових характеристик ґрунтового стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок Південного Бугу на основі спрощеної структури А.М. Бефані.

Вперше:

- для досліджуваної території встановлено статистичну однорідність та стаціонарність вихідної інформації по ґрунтовому стоку;
- для розглядуваної території визначенні та узагальненні у просторі модулі ґрунтового стоку та коефіцієнт варіації ґрунтового стоку, який отриманий за методом найбільшої правдоподібності.

Результати магістерської роботи були представлені на 3-х Міжнародних конференціях, 1-ній Всеукраїнській конференції та на 2-х конференціях молодих вчених ОДЕКУ.

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РІЧКИ ПІВДЕННИЙ БУГ

1.1 Географічне положення

Південний Буг належить до числа великих річок, басейн якої повністю розташований на території України. Вона бере початок на Поділлі і несе свої води по Придніпровській височині, впадаючи в Чорне море. Довжина річки 806 км, площа водозбору 63700 км^2, загальне падіння 321 м, середній ухил водної поверхні 0,4‰ , коефіцієнт звивистості 1,57 [1].

Частина басейну річки, що розташована в межах височин, здебільшого є горбистою рівниною, сильно розчленованою річковими долинами. Глибина їх врізання сягає 50-100 м. Для цієї місцевості характерні яри, відслонення скельних порід. Нижня течія відзначається рівнинністю рельєфу (рис.1.1) [2].

Рисунок 1.1 – Карта-схема фізико-географічного положення басейну р. Південний Буг [3]

Витік річки розташований в 2 км біля с. Холодець на Волино-Подільській височині, середня частина басейну – у межах Придніпровської височини, а в нижній течії долина річки прорізує Причорноморську низовину, протікаючи з півночі на південь, несе свої води до Дніпро – Бузького лиману Чорного моря. Басейн Південного Бугу розташований у межах південно-західної частини руської платформи і частково – Карпатських гірських утворень.

Річка Південний Буг протікає у межах різних тектонічних районів Волино-Подільської і Причорноморської западини. Волино-Подільській ділянці відповідає ввігнута частина профілю з мінімумом ввігнутості в гирло річки. Волино-Подільській ділянці відповідає ввігнута частина профілю з мінімумом ввігнутості у гирлі річки. На ділянці профілю, який відповідає Українському Причорноморському щиту, виділяються наступні деформації – Сусловцівська, Вінницька, Собська. Ці деформації приурочені до підняття поверхні кристалічних порід. Прояв у формі профілю розломів у тілі щита вказує на тектонічну активність цих розломів [1].

1.2 Характеристика ґрунтового і рослинного покриву

В ґрунтово-кліматичному відношенні басейн Південного Бугу відноситься до рівнинної території степової і південної частини Правобережної лісостепової зон. Ґрунти степової і південної частини Правобережної лісостепової зон з переважно чорноземним ґрунтовим покривом, утворюють центральну піднесену область України, яка простягається на південь до узбережжя Чорного моря.

До ґрунтоутворюючих порід зони лісостепу в межах даного басейну відносяться четвертинні відкладення і виходять на поверхню продукти вивітрювання крейдових мергелів, третинних вапняків, піщаників, піски і

щільні глини, а також продукти вивітрювання магматичних порід у межах поширення Українського Кристалічного щита (рис. 1.2) [1].

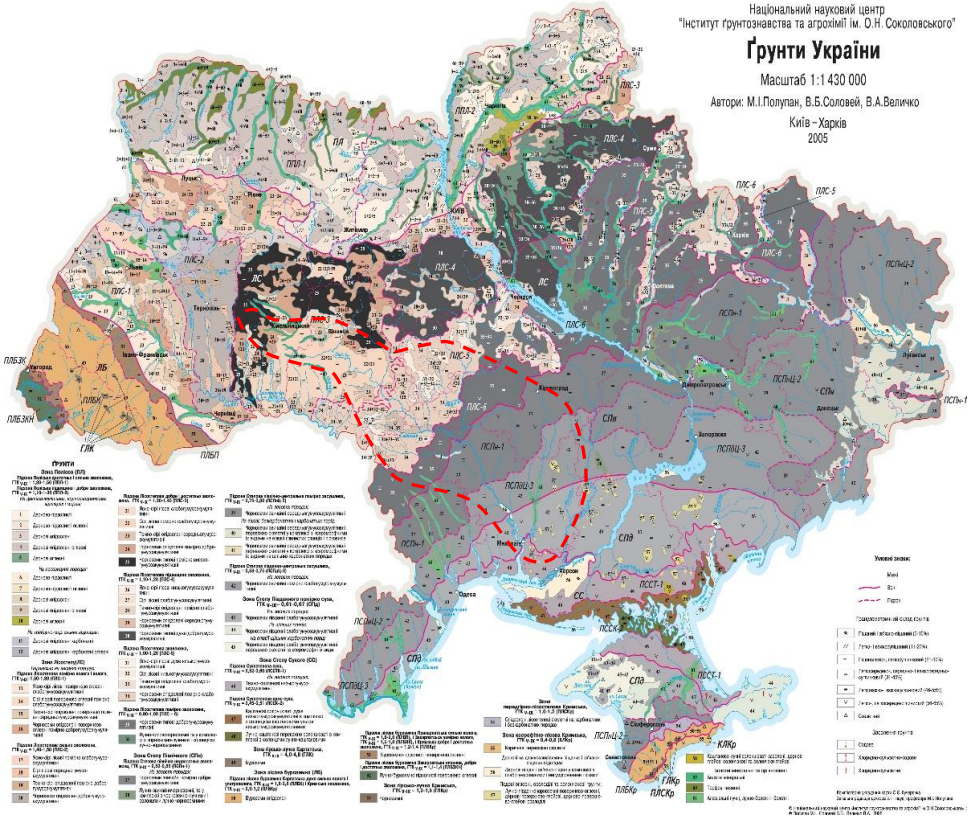


Рисунок 1.2 – Карта-схема ґрунтового покриву басейну річки Південний Буг [3]

Для Лісостепу характерні сірі лісові ґрунти та типові чорноземи (2,5-6% гумусу), які займають більшу частину зони. У північній та центральній частині Степу поширені звичайні чорноземи (4-5 % гумусу), у південній – південні чорноземи (2,5-4,5 % гумусу). На крайньому півдні Причорноморської низовини сформувалися каштанові ґрунти [1].

У межах басейну Південного Бугу виділяються наступні головні підтипи чорноземів: чорноземи типові, чорноземи звичайні і чорноземи південні, які послідовно змінюють один одного з півночі на південь. Чорноземи типові розповсюджені головним чином в піднесеному лісостепу – північних частинах Тернопільського плато і правобережної височини на вододільних найменш розчленованих рівнинах. На лесових терасах

Подільського Лісостепу залягають карбонатні чорноземи. Чорноземи малопотужні розповсюджені у південній частині Правобережного Лісостепу [1].

Південні чорноземи розповсюдженні у південній частині сухого лісостепу. У межах України простягання їх на північ обмежується 100-110 м, вище яких вони заміщують чорноземи звичайними малопотужними мало гумусовими.

В долинах Південного Бугу, Інгулу, а також їх приток та інших річок, окрім лесових терас, значний розвиток одержали більш молоді тераси. Вони складені древньо-алювіальними пісками і супісками. На пісках сформувалися дернові піщані ґрунти, а на супісках – піщані чорноземи.

Одним із основних факторів, від яких залежить гідрологічний режим території, на ряду з кліматичним, ґрунтово-геологічним є *рослинний покрив* (рис.1.3*)* [1].

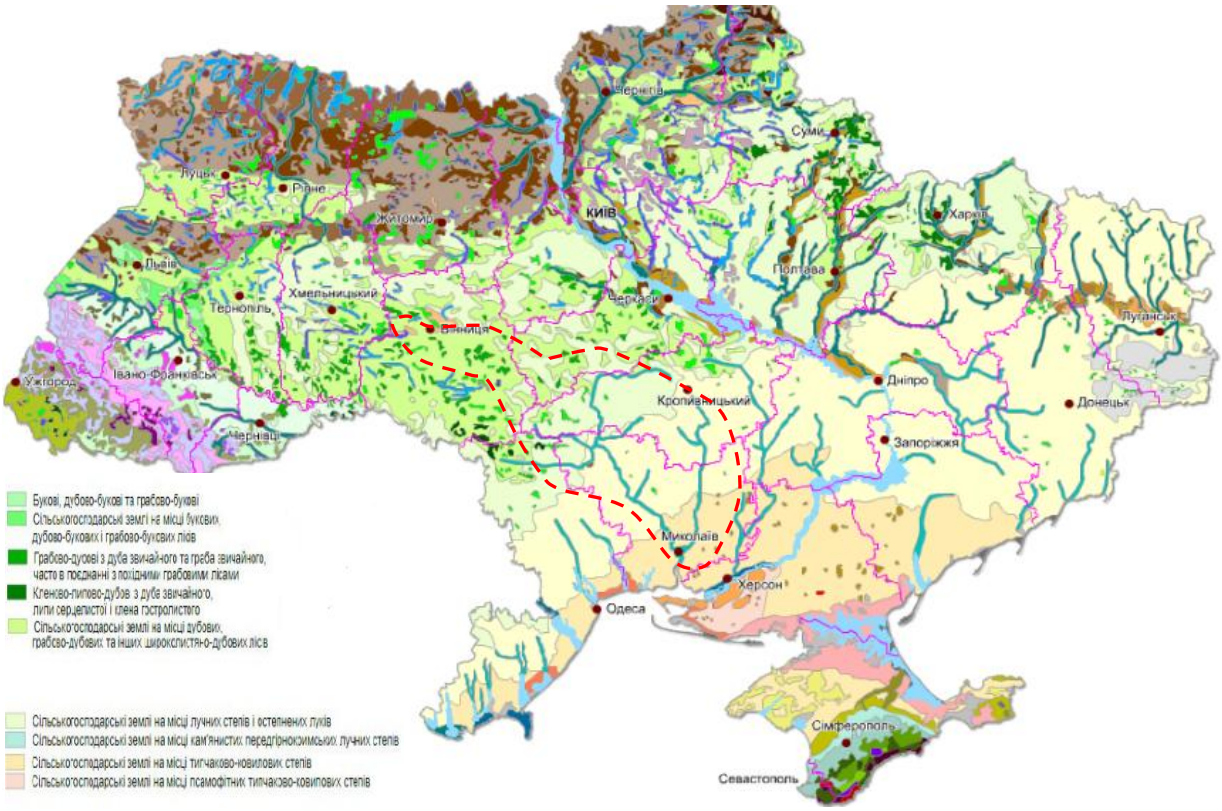


Рисунок 1.3 - Карта – схема рослинності басейну річки Південний Буг [3]

Рослинність кількісно і якісно перерозподіляє опади, які випадають на землю і сильно міняє гідрологічний режим території. Вона переводить поверхневий стік в ґрунтовий, затримує частину опадів на своїй поверхні, тратить вологу на транспірацію.

Ліси, луки, степ і болота, а також посіви різноманітних культур впливають на хід гідрологічного процесу. Рослинність з глибокою кореневою системою впливає на добові і сезонні коливання рівня ґрунтових вод. При чому чим ближче ґрунтові води до поверхні, тим сильніше позначається вплив на них рослинності, тим більше їх зниження. Особливо тісний взаємозв'язок існує між лісистістю території і водністю річок. Викликаючи зменшення, поверхневого стоку і посилення надходження води до ґрунту і ґрунтові горизонти, сповільнюючи танення снігу, ліси сприяють зниженню паводка і збільшують водність річок в меженний період.

В основі причин, які викликають закономірну зміну одних типів рослинності іншими в широтному направленні лежать перш за все загально кліматичні умови – співвідношення тепла і вологи. В залежності від величини цього співвідношення розглянута територія розміщується, послідовно, в лісостеповій та степовій зонах. В лісостеповій зоні знаходиться більша частина басейну Південного Бугу.

Близько 60-70% всієї площі округів порушено процесами змиву. Природна рослинність займає тільки 12% всієї площі, 11% припадає на ліс, близько 1% на луки і 0.5% на болота. Степи збереглися лише на дуже незначних, непридатних ділянках ґрунту [1].

1.3 Коротка кліматична характеристика

Як і на більшій території Правобережного Лісостепу України, клімат басейну Південного Бугу помірно континентальний. За своїм географічним

положенням територія знаходиться у сфері впливу насичених вологою повітряних мас, які йдуть з Атлантичного океану, і периферії сибірського (азійського) антициклону, для якого типовими є сухі, холодні континентальні повітряні маси. На клімат регіону впливають також повітряні маси з Арктики і Середземномор'я.

Зважаючи на доволі велику довжину річки, в її басейні є значні відмінності кліматичних характеристик. Середня температура повітря у січні у м. Хмельницькому (верхів`я річки) становить - 5,5 °С, липня – 18,0 °С. У нижній течії (м. Миколаїв) температура відповідно є такою: - 3,4°С і 23,3°С.

Температура повітря влітку від верхньої до нижньої частин водозбору змінюється від теплої до майже спекотної [1]. Середня місячна температура на розглянутій території змінюється від -5°С на півночі до -3°С на півдні - січня, а липня складає – від 19°С на півночі до 22°С на півдні. Середні амплітуди коливань температури протягом року не перевищують 21-23^{0}С [4].

Весна починається з переходом температури повітря через 0°Сі руйнуванням стійкого снігового покриву. Вона настає приблизно на початку березня на півдні, потім просувається на північ, куди підходить в середині березня.

Осінь настає з переходом середньої добової температури повітря через 10°С у бік зниження. Перед цим біля місяця стоїть тепла погода. Наступ осені (перша декада жовтня) супроводжується заморозками, загальним зниженням температури, зменшенням кількості опадів. Триває осінь 2-3 місяці. У другій половині осіннього періоду можливі потепління. Для пізньої осені характерна похмура погода протягом другої половини листопада. Осінь характеризується переважаючою нестійкою погодою, з частими туманами, ожеледицями і короткочасними утвореннями снігового покриву.

До початку зими стоїть нестійка погода: морозні дні змінюються відлигою, не раз виходить і сходить сніговий покрив. Відлиги під час зими є характерними для північних районів, а температура повітря іноді підвищується до +10 … +13°С.

Найбільш холодна частина зими збігається з переходом температури повітря через -5°С, що зазвичай відбувається у першій декаді січня. Самі холодні місяці січень і лютий.

Опади. Одним з найважливіших елементів формування гідрологічного режиму, особливістю стоку, є атмосферні опади. Розглянута територія характеризується недостатнім зволоженням. Атмосферні опади відрізняються значною мінливістю за роками. Середня багаторічна їхня кількість змінюється від 669 мм у Хмельницькому до 472 мм у Миколаєві [5].

На холодний період року приходиться 20-25% річної суми опадів. Найбільша кількість опадів випадає на північному заході області. Перехід від одної пори року до іншої проходить поступово. Максимум опадів припадає на травень-липень (130-170 мм). Найменш вологими є зимові місяці. В грудні-лютому випадає 65-80 мм [5,6].

Сніговий покрив у межах території, що описується, характеризується нестійкістю. У центральній частині басейну Південного Бугу появу снігового покриву відмічена у другій-третій декаді листопада. Середнє число днів зі сніговим покривом становить 82 дні, середня дата появи стійкого снігового покриву спостерігається в кінці грудня. Руйнування стійкого снігового покриву починається в середині лютого. У центральній частині басейну Південного Бугу в першій декаді березня. Сніготанення на даній території характеризується значною інтенсивністю [4].

1.4 Гідрологічна вивченість і особливості водного режиму річки Південний Буг

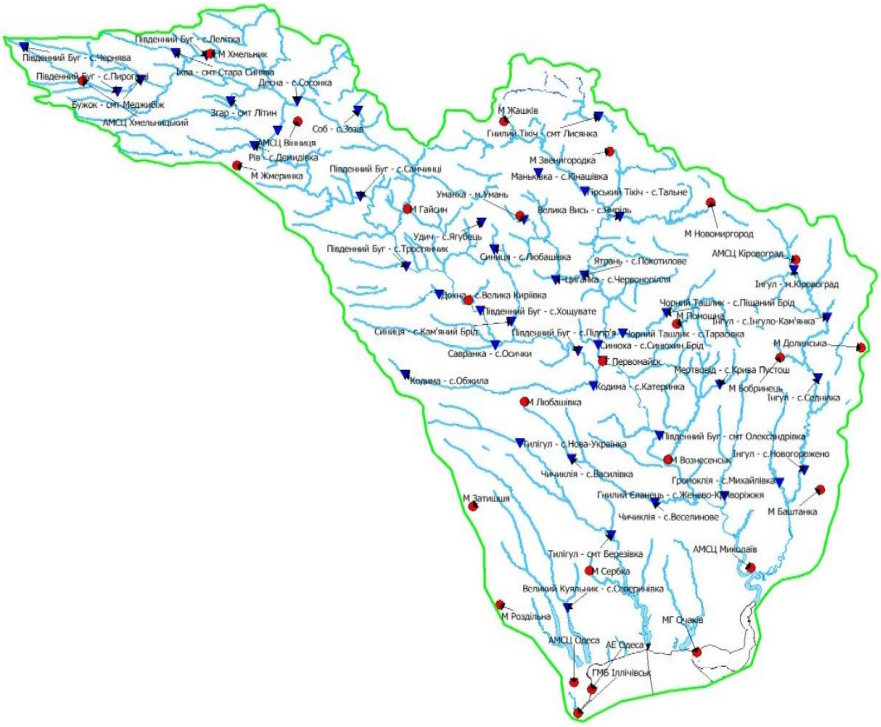
Вихідними матеріалами для характеристики ґрунтового стоку були використані дані по 17 гідрологічних постах, які мають тривалі часові ряди стокових спостережень. В цілому на досліджуваній території на 13 постах

ряди спостережень більше 50 років; на 3 постах ряди також достатньо тривалі і становлять 30-40 років (табл. 1.1).

Таблиця 1.1 – Розподіл водозборів за тривалістю спостережень та величинами їх площ в басейні р. Південний Буг

Площа водозбору, км^2	Кількість гідрологічних постів з періодом спостережень				
	31 - 40	41 - 50	> 50	Всього	%
≤100	-	-	-	-	-
101 – 1000	2	-	2	4	24
1001 – 5000	1	-	7	8	46
5001 – 10000	-	-	2	2	12
10001 – 20000	-	-	1	1	6
20001 – 50000	-	-	2	2	12
Всього	3	-	14	**17**	100
%	18	-	82	100	X

По території, що розглядається, пости розміщені досить рівномірно (рис.1.4).



▼ *– гідрологічний пост;* ● *– метеорологічна станція*

Рисунок 1.4 – Карта – схема розміщення гідрологічних постів в басейні р. Південний Буг

Перелік гідрологічних постів у басейні річки Південний Буг представлені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Основні гідрографічні характеристики річок та водозборів басейну Південного Бугу [1]

№ з/п	Річка-пост	Відстань від витоку річки, км	Середній ухил річки	Площа водозбору. км^2	Середня висота водозбору, м	Середній ухил водозбору, ‰	Озерність, %	Заболоченість, %	Лісистість, %	Розораність, %
1	Південний Буг – с. Лелетки	152	0,6	4000	320	-	<1	5	8	-
2	Південний Буг – с. Сабаров	235	0,4	9010	310	-	<1	6	11	-
3	Південний Буг – с. Підгір’я	587	0,4	24600	-	-	<1	3	14	-
4	Південний Буг – смт Олександрівка	674	0,5	46200	-	-	<1	2	10	-
5	Бужок – смт Меджибож	72	0,8	698	320	73	<1	7	1	70
6	Іква – с. Стара Синява	45	1,2	439	310	76	1	4	5	70
7	Згар – смт Літин	59	1,0	692	320	61	3	11	13	65
8	Рів – с. Демидівка	97	0,9	1130	310	-	1	4	12	65
9	Савранка – с. Осички	91	1,7	1740	200	-	<1	2	15	65
10	Кодима – с. Обжила	12	5,6	145	230	98	<1	2	19	70
11	Кодима – с. Катеринка	137	1,4	2390	170	-	<1	<1	11	75
12	Синюха – с. Синюхін Брід	99	0,7	16700	190	-	<1	1	5	-
13	Велика Вись – с. Ямпіль	156	0,7	2820	180	-	<1	1	3	70
14	Ятрань – с. Покотилове	99	1,5	2140	200	-	<1	<1	7	75
15	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	117	1,3	2230	200	-	<1	1	2	75
16	Інгул – с. Седнівка	149	0,6	4770	160	-	<1	<1	2	-
17	Інгул - м.Новогорожене	236	0,6	6670	150	-	<1	<1	1	-

Водний режим визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території [7].

Досліджуваний район знаходиться в різко змінних кліматичних і орографічних умовах, у зв'язку з чим процеси формування стоку на різних його частинах вельми складні і обумовлюють істотні відмінності у водному режимі. Літня і зимова межінь на цих річках характеризується стійкістю, маловодістю і значною тривалістю; осінні підйоми спостерігаються після обложних дощів. Інколи межінь порушується невеликими дощовими паводками. Річний хід рівня на річках різних гідрологічних районів неоднаковий [1,7].

2 МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ГРУНТОВОГО СТОКУ

Для розрахунку ґрунтового живлення річок можуть застосовуватися різні методи і прийоми. Використання того чи іншого способу розрахунку визначається цільовим призначенням досліджень, характером водотоку і ступенем вивченості гідрогеологічних і гідрологічних умов.

За кордоном у роботах [8,9,10,11,12] представлені різні наукові дослідження, які пов’язані з режимом ґрунтових вод. Але основні методи і прийоми кількісної оцінки ґрунтового стоку можна об'єднати в наступні групи: гідрогеологічні або гідродинамічні, воднобалансові, гідрохімічні, фізичні та гідрологічні [13].

2.1 Гідрогеологічні або гідродинамічні методи

Ці методи засновані на вивченні режиму ґрунтових вод і визначенні гідродинамічних параметрів водоносного пласту, ґрунтового потоку і водозбору прямими вимірами. Дані про ґрунтовий стік в басейні можуть бути отримані на основі сучасних методів аналітичних рішень планової фільтрації. Для цього необхідно мати досить детальні відомості про рівний режим ґрунтових вод в розрахункових створах, про гідрогеологічні умови басейну річки в цілому або окремих її ділянок, про характер гідравлічного взаємозв'язку поверхневих і підземних вод, а також надійну інформацію про фізико-механічні та водні властивості порід водоносних горизонтів [14].

Рух ґрунтових вод в природних умовах обумовлений складним впливом різноманітних факторів і активною господарською діяльністю людини, роль яких часто неможливо описати математичними рівняннями.

Гідрогеологічні методи дослідження і розрахунку ґрунтового стоку досить ефективні і в ряді випадків їх застосування є єдиним способом отримання надійних результатів. Ці методи найбільш повно розкривають гідродинамічні умови формування ґрунтового стоку з окремих горизонтів (комплексів), виявляють ступінь дренування та особливості розвантаження ґрунтових вод у річки і водойми, відображають процеси утворення і зміни підпору ґрунтових вод в періоди повеней і паводків.

При використанні результатів детальних гідрогеологічних досліджень точність гідрогеологічних розрахунків може бути дуже високою. Але ця висока точність розрахунку може бути досягнута з великими витратами часу і коштів. Навіть на невеликих водозборах, при порівняно нескладних гідрогеологічних умов отримання надійних розрахункових параметрів пов'язано з проведенням комплексу трудомістких, складних і тривалих досліджень.

Таким чином, практичне застосування методів гідрогеологічних, особливо коли це стосується розрахунків ґрунтового живлення великих водотоків і водойм, в ряді випадків недостатньо забезпечено необхідної гідрогеологічної інформації.

2.2 Воднобалансові методи

Ці методи займають самостійне положення, хоча по суті вони тісно пов'язані з гідродинамічними і гідрологічними методами.

Баланс ґрунтових вод являє собою алгебраїчну суму кількості води, що йде на поповнення ґрунтового потоку, і її кількості, що витрачається цим потоком за певний проміжок часу [15].

Прибуткову частину балансу становить інфільтрація атмосферних опадів, конденсація водяної пари, приплив ґрунтових вод з сусідніх басейнів,

перетікання ґрунтових вод з вище - і нижчих водоносних горизонтів, а також поглинання поверхневих водотоків і водозборів. Витратна частину балансу складаються з випаровування дзеркала ґрунтових вод, розвантаження в гідрографічну мережу і можливий відтік ґрунтових вод в сусідні басейни.

Ґрунтовий стік в річки і водойми може бути визначений з рівняння загального водяного балансу басейну річки або водойми.

Визначення ґрунтового стоку за допомогою розв'язання рівнянь загального водного балансу вимагає широкої постановки експериментальних досліджень: інфільтрації, випаровування, припливу і відтоку поверхневих і підземних вод та ін. Ці дослідження далеко не завжди можна виконати з достатньою точністю. Тому визначення ґрунтового стоку на основі рішення рівняння загального водного балансу для коротких проміжків часу слід вважати наближеним.

2.3 Гідрохімічні методи

Дані методи визначення ґрунтового живлення річок, озер та інших водотоків і водойм базуються на вивченні гідрохімічного режиму і балансу поверхневих і підземних вод та аналізі гідродинамічних умов їх формування.

В основу використання гідрохімічної інформації для вирішення гідрогеологічних задач покладені принципи прямих і непрямих зв'язків і аналітичних порівнянь [16].

Принцип прямих зв'язків полягає в тому, що гідрологічні або гідрогеологічні процеси і явища оцінюються безпосередньо за даними хімічного складу і загальної мінералізації води, а через проміжні параметри, величини і критерії.

Принцип аналітичного порівняння зводиться до розрахунку тих чи інших гідрохімічних параметрів і подальшого порівнянні спостережених і

обчислених величин. Це порівняння в ряді випадків дає можливість встановити характер і спрямованість деяких гідрогеологічних, гідрологічних і гідрохімічних процесів.

Серед відомих гідрохімічних методів найбільший розвиток отримали методи, засновані на обліку процесів розщеплення і розчинення в зоні аерації, зміні мінералізації при випаровуванні з поверхні ґрунтових вод і змішуванні інфільтраційних вод і вод ґрунтового потоку [16].

Ефект застосування гідрохімічних методів для вирішення гідрологічних задач багато в чому залежить не тільки від правильного вибору характерного хімічного компонента, але і від ступеня його концентрації в річкових і ґрунтових водах. В якості маркованих компонентів хімічного складу вод можуть служити різні солі і іони, але концентрації в поверхневих і ґрунтових водах повинні істотно відрізнятися.

2.4 Фізичні методи

Ці методи оцінки ґрунтового стоку засновані на вивченні деяких фізичних властивостей підземних і поверхневих вод: температури, електропровідності. Знання цих властивостей принципово дозволяє за характером і величиною змін їх параметрів визначити ділянки ґрунтового живлення або підземних втрат річкового стоку [15].

Наприклад, *метод теплового балансу В. В. Піотровича* заснований на вивченні інтенсивності танення нижньої поверхні крижаного покриву на річці, обумовленого припливом тепла ґрунтових вод. Розрахунок надходить тепла по зміні температури змішуваних вод дає можливість визначити обсяги ґрунтового живлення річки в зимовий час.

Інші "температурні" методи рекомендують шляхом вимірювання температурного режиму вод визначати частку річкових вод, що просочилися у водоносний пласт.

Фізичні методи визначення ґрунтової складової річкового стоку поки ще не отримали належного розвитку і їх використання обмежується рішенням приватних завдань: встановлення місць розвантаження ґрунтових вод, розрахунки притоку ґрунтових вод в окремих осередках та ін. [14].

Однак успішне використання цього методу в найпростіших гідрологічних умовах вказує на можливість їх застосування й у більш складній обстановці при відповідних вдосконалень.

2.5 Гідрологічні методи

Для визначення ґрунтового стоку необхідно мати дані вивчення гідрометеорологічних умов, водного режиму і взаємозв'язку річкових і ґрунтових вод.

Серед гідрологічних методів визначення ґрунтового живлення річок найбільшого поширення набули методи розчленування гідрографів загального стоку річок. Цей шлях оцінки ґрунтового стоку підкуповує своєю доступністю і відносною простотою. Проте численні прийоми розчленування гідрографів річкового стоку за типами живлення і подальші розрахунки підземної складової в чому визначається суб'єктивними уявленнями авторів про характер підземного стоку. Особливо суперечливі ці уявлення при виділенні ґрунтової складової в періоди повені і паводків [14].

Одні автори вважають, що в періоди повені і паводків відбувається поступове збільшення ґрунтового стоку в річку, досягає свого максимуму на піку повені. Інші, навпаки, вважають, що ґрунтовий притік в русло річки в період повені зменшується і досягає нульових значень до моменту настання

піку водопілля. Треті схильні всьому русловому стоку приписувати ґрунтове походження. Нарешті, четверті вважають можливим вважати ґрунтовий стік в річку більш-менш стійким протягом усього водопілля.

Методика розчленування гідрографів річок для різних випадків взаємозв'язку поверхневих і ґрунтових вод зводиться до наступного.

а) Розчленування гідрографа річки, що живиться з водоносних горизонтів, гідравлічно не пов'язаних з річкою (рис. 2.1, I).

Ґрунтові води, що гідравлічно не пов'язані з річкою, володіють режимом і фазами стоку, близькими до поверхневого стоку. Вони відрізняються лише тим, що пік ґрунтового стоку виражено менш яскраво, і він настає дещо пізніше, ніж пік річкової повені.

б) Розчленування гідрографа загального стоку річки, що живиться з водоносних горизонтів, гідравлічно пов'язаних з річкою (рис. 2.1, II).

Ґрунтовий стік у річку з водоносних горизонтів, гідравлічно пов'язаних з річкою, характеризується підпірним типом режиму, при якому в періоди проходження повені або паводків ґрунтове живлення зменшується і на піку водопілля може бути рівним нулю.

в) Розчленування гідрографа річки при змішаному її живленні з водоносних горизонтів, гідравлічно пов'язаних і гідравлічно не пов'язаних з річкою (рис. 2.1, III).

Розчленування гідрографа річки в цьому разі проводиться в два етапи. Спочатку на гідрографі виділяють величину ґрунтового стоку з водоносних горизонтів, гідравлічно пов'язаних з річкою. Потім на нижню частину виділеного відрізка накладають ґрунтовий стік води з водоносних горизонтів, гідравлічно не пов'язаних з річкою.

г) Розчленування гідрографа загального стоку річки при змішаному ґрунтовому і артезіанскому живленні (рис. 2.1, IV).

Для вибору схеми розчленування гідрографа загального стоку і визначення ґрунтової складової проводиться гідрогеологічне районування території за типами режиму ґрунтового стоку в річки [17].

Для цього складаються схеми дренування водоносних горизонтів, де вказуються, вода яких відкладень за її стратиграфічної належності бере участь у ґрунтовому живленні річки.

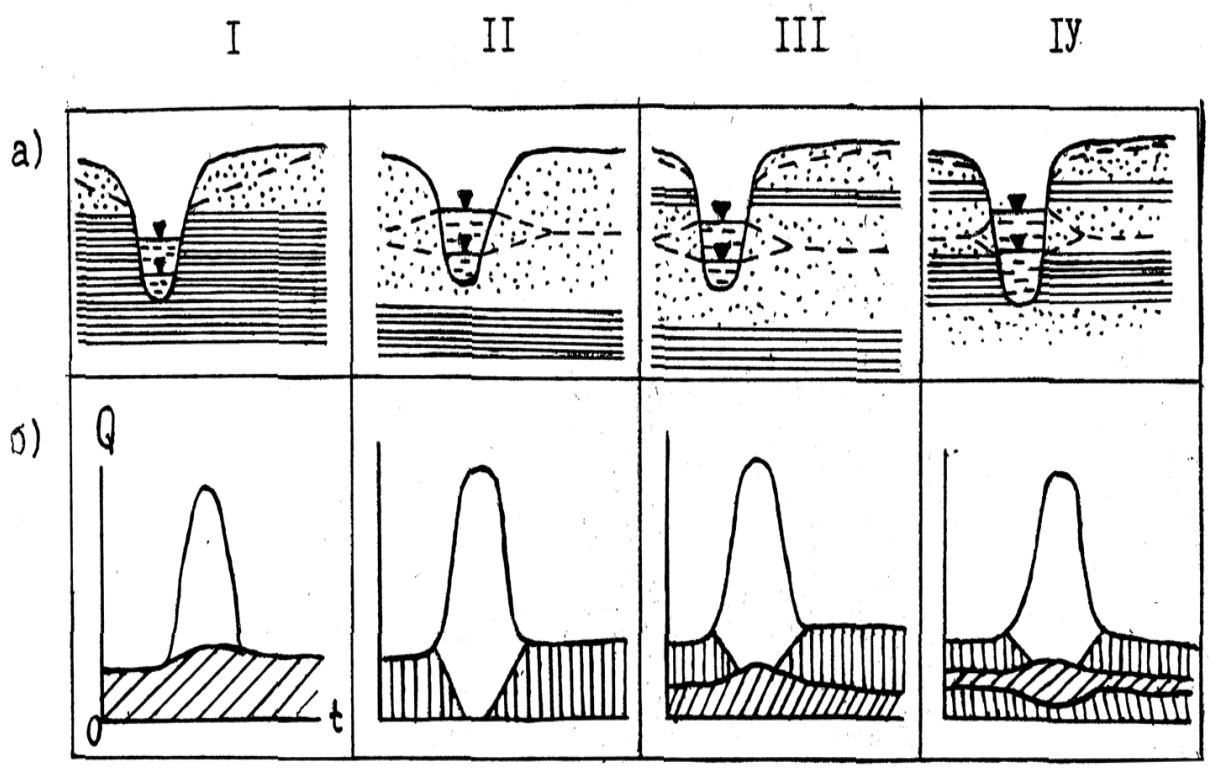


Рисунок 2.1 – Типові схеми гідрогеологічних умов (а) і розчленування гідрографа річки (б). За Б.І. Куделіним [12]: I і II - живлення ґрунтовими водами, гідравлічно не пов'язаними і пов'язаними з річкою; III - змішане ґрунтове живлення; IV - змішане ґрунтове і артезіанське живлення

Для реалізації основних принципів оцінки ґрунтового припливу в річки на підставі розчленування річкового стоку в практиці гідрологічних і гідрогеологічних робіт використовуються детальні і спрощені схеми.

Детальна схема розрахунку застосовується для річкових водозборів з досить повною гідрологічною та гідрогеологічною вивченістю і за наявності інформації про режим ґрунтових вод, що забезпечує регіональну оцінку динамічності ґрунтового стоку в межах водозбору.

До спрощеної схеми розрахунку відноситься і спосіб розрахунку ґрунтового припливу з величин мінімальних витрат води річок в період зимової і літньої межені з введенням сумарного поправочного коефіцієнта.

Для розрахунку ґрунтового припливу до річки використовують спрощену схему запропоновану А.М. Бефані [14], за якою ґрунтовий стік розраховується як напівсумма тридцяти добових мінімальних витрат води (модулів стоку) в період літньої і зимової межені

$$q_{гр} = \frac{q_{30\,min,з} + q_{30\,min,л}}{2}, \qquad (2.1)$$

де $q_{30\,min,л}$ - тридцятидобовий мінімум за період літньої межені;

$q_{30\,min,з}$ - тридцятидобовий мінімум за період зимової межені.

Обґрунтування використання цього методу було виконано за допомогою розрахунку ґрунтового стоку за допомогою розчленування гідрографів стоку і визначення ґрунтової складової.

В усіх детальних та спрощених способах розрахунку ґрунтового припливу в річки основою, яка забезпечена гідрологічною інформацією, є характерні витрати води річок, що приймаються за сумарний ґрунтовий притік.

У більшості випадків розрахунок величини ґрунтового живлення річки проводиться за повний конкретний календарний або гідрологічний рік спостережень за режимом річкового стоку.

Залежно від умов формування річкового стоку і стійкості межені за основний показник ґрунтового припливу в річки приймаються характерні витрати води річок в період низького річкового стоку: середній за весь період зимової або літньої межені, мінімальні витрати води за тридцятиденні, десятиденні або добові періоди межені [18].

Гідрологічна оцінка характерних витрат води при розрахунках ґрунтового припливу в річки здійснюється в періоди низького (меженного)

стоку, коли порушення водного режиму річкових басейнів під впливом різних водогосподарських заходів найбільш відчутно позначається на режимі стоку руслових вод.

Особливе значення все це набуває в умовах проведення водогосподарських заходів, що порушують переважно природний режим стоку руслових вод (малі водосховища, водозабір річкових вод, скидання використаних вод у річку і інше). Такі заходи практично можуть не робити значного впливу на формування ґрунтового припливу в річку (ухили ґрунтових вод в берегових зонах при порушенні режиму річкового стоку змінюються незначно). Однак меженні витрати води перестають бути повноцінними показниками ґрунтового припливу в річки. У цих випадках розрахунок ґрунтового припливу в річки для періоду порушень стоку водогосподарськими заходами не може бути проведений за даними про річковий стік без відновлення його природних значень.

Якщо водогосподарські заходи призводять до зміни умов формування ґрунтового живлення річок, то фактичні характерні меженні витрати в замикаючих створах є показником ґрунтового припливу в річки при порушеннях водного режиму, відповідних певному рівню господарської діяльності та освоєння водних ресурсів [19].

Оцінка величини порушень режиму ґрунтового припливу в річки під впливом господарської діяльності може бути проведена на основі аналізу співвідношення природних (відновлених) значень і фактичних величин ґрунтового припливу в річки за періоди цих порушень.

Для оцінки природних ресурсів ґрунтових вод зони вільного водообміну в даний час в якості основної характеристики ґрунтового припливу використовується середня багаторічна величина ґрунтового стоку.

Середні багаторічні характеристики ґрунтового припливу в річки з природним водним режимом можуть бути визначені за допомогою узагальнення даних ґрунтового припливу за багаторічний період або за окремі характерні роки цього періоду.

Розрахунок ґрунтового припливу в річки для пунктів з великою кількістю років спостережень за стоком забезпечує отримання надійних багаторічних характеристик. У відповідності з рекомендаціями щодо розрахунку характеристик стоку [19] тривалість наявного ряду спостережень може вважатися достатньою для встановлення середніх багаторічних величин, якщо значення відносної середньої квадратичної похибки розрахунку середнього з ряду річних величин ґрунтового стоку ε_{q_n}, що визначається в залежності від числа членів ряду n і величини коефіцієнта варіації ґрунтового стоку C_{v_n} за формулою

$$\varepsilon_{q_п} = \frac{C_{v_п}}{\sqrt{n}}, \qquad (2.2)$$

не перевищує допустимої $\varepsilon_{доп}$, крім того, наявний ряд повинен включати повний цикл водності.

Якщо ряди спостережень короткі, що не відповідає виконанню умови $\varepsilon_n \langle \varepsilon_{доп}$, то виконується приведення рядів або їх статистичних параметрів до довгого періоду за даними річки-аналога [19].

Найбільш широке застосування набуло використання графічних зв'язків, за допомогою яких виконується приведення статистичних параметрів до довгого періоду спостережень.

При наявності тісного прямолінійною зв'язку з коефіцієнтом парної кореляції $r \geq 0{,}7$ середнє багаторічне значення стоку досліджуваної річки визначається за графіком зв'язку або його аналітичним виразом безпосередньо за нормою, встановленою для поста з тривалим рядом спостережень.

Графоаналітичний метод застосовується в тих випадках, коли зв'язок між стоком характеризується коефіцієнтом кореляції $r \geq 0{,}7$.

Коефіцієнти варіації розраховуються за формулою, наведеною у СНиП 2.01.14-83 [18], відношення C_s/C_v осереднюється в межах виділених районів з однорідними умовами формування ґрунтового припливу в річки.

2.6 Розрахунок норми ґрунтового стоку при тривалих рядах спостережень

Норма ґрунтового стоку (зимового або літнього) визначається як середньо багаторічне значення із середньомісячних величин ґрунтового стоку

$$\bar{q}_N = \frac{\sum_{i=1}^{N} q_i}{N}, \qquad (2.3)$$

де q_i - середньомісячні величини мінімального стоку; N – кількість років спостережень.

Внаслідок недостатньої тривалості фактичних рядів спостережень норма мінімального стоку, розрахована за формулою (2.3), буде відрізнятися від істинного середнього значення при $N \to \infty$ на деяку величину σ_{q_n}.

Відповідно до вимог нормативного документу СНиП 2.01.14-83 [18] тривалість періоду спостережень вважається достатньою, якщо він репрезентативний, а відносна середня квадратична похибка не має бути понад ±15%.

Середня квадратична похибка середнього $\sigma_{\bar{q}_n}$ визначається за формулами[20]:

а) при відсутності внутрішньорядового зв’язку

$$\sigma_{\overline{q}_n} = \pm \frac{100Cv}{\sqrt{n}}, \% \qquad (2.4)$$

де C_v – коефіцієнт варіації; n – кількість років спостережень, прийнятих для визначення норми мінімального стоку.

б) при наявності внутрішньорядового зв'язку

$$\sigma_{\overline{q}_n} = \pm \frac{100 C_v \sqrt{(1+r_1)/(1-r_1)}}{\sqrt{n}}, \% \qquad (2.5)$$

де r_1 – коефіцієнт автокореляції, який дорівнює

$$\sigma_{\overline{q}_n} = \frac{\sum_{i=1}^{n-1}(q_i - \overline{q})(q_{i+1} - \overline{q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(q_i - \overline{q})^2 \sum_{i=1}^{n-1}(q_{i+1} - \overline{q})^2}} \qquad (2.6)$$

де q_{i+1}, q_i – відповідно, наступне та попереднє значення вихідного ряду.

При тривалому періоді спостережень розрахунок здійснюється безпосередньо за даними спостережень, при цьому в розрахунках використовується репрезентативний період із цього ряду або весь ряд, коли його тривалість становить 50-60 років та більше.

При цьому дуже важливо враховувати самі маловодні роки чи їхні угрупування, використовуючи басейни-аналоги. Якщо коефіцієнт мінливості мінімального стоку річок, які не пересихають і не перемерзають знаходиться в межах 0.2-0.4, то можна використовувати для розрахунків ряди, що мають тривалість спостережень 8-15 років. Однак збільшення коефіцієнта мінливості до 0.7-1.0 обумовлює необхідність подовження ряду спостережень до 20-40 років і більше.

Циклічність коливань ґрунтового стоку тієї чи іншої річки можна досліджувати за хронологічними графіками.

Однак ці календарні графіки зміни ґрунтового стоку не завжди дають достатньо повне уявлення про циклічні коливання стоку, внаслідок наявності малих циклів на загальному фоні багаторічних коливань водності річки.

Для виявлення таких циклів застосовуються способи згладжування або фільтрації [20].

Ковзне згладжування коливань річного стоку визначають за формулою:

$$\bar{q}_i = \frac{1}{T} \sum_{k=-\frac{T-1}{2}}^{k=\frac{T-1}{2}} q_{i+k} \tag{2.7}$$

де T – інтервал осереднення (частіше за усе з практичною метою він дорівнює 3 – згладжування за трьохрічками або 5 – згладжування за п’ятирічками).

При лінійному згладжуванні хронологічних графіків за трьохрічками:

$$\begin{aligned}
\bar{q}_1 &= \frac{1}{6}(5q_1 + 2q_2 - q_3), \\
\bar{q}_2 &= \frac{1}{3}(q_1 + q_2 + q_3), \\
\bar{q}_3 &= \frac{1}{3}(q_2 + q_3 + q_4), \\
&\vdots \\
\bar{q}_{n-1} &= \frac{1}{3}(q_{n-2} + q_{n-1} + q_n), \\
\bar{q}_n &= \frac{1}{6}(5q_n + q_{n-1} - q_{n-2}).
\end{aligned} \tag{2.8}$$

Лінійне згладжування хронологічних графіків за п’ятирічками:

$$\bar{q}_1 = \frac{1}{5}(3q_1 + 2q_2 + q_3 - q_5)$$

$$\bar{q}_2 = \frac{1}{10}(4q_1 + 3q_2 + 2q_3 - q_1)$$

$$\bar{q}_3 = \frac{1}{5}(q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5),$$

$$\begin{matrix} \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{matrix} \qquad (2.9)$$

$$\bar{q}_{n-1} = \frac{1}{5}(q_{n-4} + q_{n-3} + q_{n-2} + q_{n-1} + q_n),$$

$$\bar{q}_n = \frac{1}{10}(4q_n + 3q_{n-1} + 2q_{n-2} + q_{n-3}).$$

Якщо після першого етапу суттєвого згладжування не відбулося, то можна виконати повторне згладжування тим же багаточленом.

Недоліком методу лінійного фільтру є те, що згладжений член ряду має той же ваговий коефіцієнт, що й сусідні елементи. В результаті може статися зміщення меж переходу з однієї фази водності до іншої, особливо при великих. Зараз є велика кількість інших методів математичних фільтрів, за допомогою яких виявляють періодичні складові в коливальних рядах.

Серед них є не тільки лінійні, але й нелінійні фільтри. Прикладом нелінійного фільтру є біноміальний, який достатньо добре описаний у підручнику «Статистическиеметоды в гидрологии» А.В.Рождественського та А.І.Чеботарьова [21]. Досить часто в практиці розрахунків використовуються різницеві інтегральні криві.

Різницеві інтегральні криві відхилень річних величин стоку від його середнього значення будують у відносних величинах, тобто у модульних коефіцієнтах.

Для побудови такої кривої послідовно сумують відхилення модульних коефіцієнтів хронологічного ряду від їх середнього багаторічного значення, який дорівнює одиниці.

Поточні ординати різницевої інтегральної кривої на кінець t-го року від початку побудови кривої визначають за рівнянням:

$$\sum_{i=1}^{t}(K_i - 1) = f(t), \qquad (2.10)$$

де K_i - модульний коефіцієнт.

При побудові різницевої інтегральної кривої розраховують наростаючу суму відхилень з урахуванням знаку.

Різницева інтегральна крива має ту властивість, що тангенс кута α прямої, яка поєднує дві точки інтегральної кривої із віссю абсцис, характеризує середню величину підінтегральної функції за період m років, тобто:

$$tg\alpha = (K_i - 1)_{cp} = \frac{l_k - l_n}{m}, \qquad (2.11)$$

де l_k, l_n - відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається; m – число років у періоді часу.

Період часу, для якого об’єднуюча пряма лінія інтегральної кривої відхиляється вверх відносно осі абсцис та значення $(K_i - 1)_{cp}$ позитивне, відповідає багатоводній фазі коливань стоку.

Період же, для якого об’єднуюча лінія нахилена вниз $(K_i - 1)_{cp}$ та має негативне значення, відповідає маловодній фазі.

2.7 Розрахунок норми ґрунтового стоку при коротких рядах спостережень

При коротких рядах спостережень за ґрунтовим припливом модуль стоку для великих і середніх річок визначають по річках-аналогах або інтерполяцією (окремо за літньо-осінній і зимовий періоди). При виборі річки-аналога насамперед звертається увага на гідрогеологічні умови у басейнах річок, для чого використовуються гідрогеологічні описи та карти досліджуваного району, а також карти районів для визначення мінімального стоку річок, наведені у СНиП 2.01.14-83 [18].

Короткими вважаються всі ряди, які не задовольняють принцип репрезентативності та точності (±15%). Відповідно до СНиП 2.01.14-83, приведення статистичних параметрів розподілу до багаторічного періоду здійснюється за допомогою парної або множинної регресії за таких умов:

$$n \geq 10\gamma \geq 0.7 \text{ та } \frac{k}{\sigma} \geq 2$$

де n – число років спільних спостережень, r - коефіцієнт кореляції між величинами гідрологічних характеристик досліджуваної річки та річки-аналогу, k – коефіцієнт регресії, σ - середня квадратична похибка коефіцієнта регресії.

Ідея цього методу приведення параметрів розподілу основана на синхронності коливань стоку на сусідніх водозборах, що зумовлено однорідністю умов формування стоку. Нормативним документом рекомендується виконувати приведення параметрів коротких рядів послідовно за декількома рівняннями регресії у порядку зменшення парного або множинного коефіцієнтів кореляції.

В практиці розрахунку норми мінімального стоку часто доводиться мати справу з короткими рядами спостережень, тривалість яких не забезпечує отриманого результату з потрібною точністю (≤5-10%). В цих випадках величина середнього мінімального стоку, отримана по існуючому короткому ряду, приводять до розрахункового багаторічного періоду.

Розрахунковий період вибирається по річкам-аналогам, які мають довгий ряд спостережень, який забезпечує потрібну точність, і коливання мінімального стоку, відповідні коливання його в розрахунковому створі. Якщо річка-аналог має продовження спостережень, забезпечуючи допустиму точність норми мінімального стоку в розрахунковому створі, то розрахункова норма стоку визначається безпосередньо по річці-аналогу. В іншому випадку для річки-аналога будується інтегральна крива і по ній встановлюється розрахунковий період.

В якості аналогів для розрахункової річки чи створу вибирається розташування поблизу водозбору, яке володіє однорідною зональністю по географічному і зональному положенню і подібністю в відношенні факторів підстильної поверхні. Також площі водозборів не повинні відрізнятися більше, ніж в десять разів, а їх середні висоти (для гірських річок) – більш, ніж на 300 метрів [20].

Головним і найбільш об’єктивним критерієм вірності вибору аналога є наявність синхронності коливань мінімальних витрат чи модулів стоку і достатньо надійного корелятивного зв’язку стоку за роки одночасних спостережень водозбору, який розглядається і його аналога. Відповідність коливань стоку в двох створах перевіряється по сумісним хронологічним графікам чи інтегральним кривим.

Приведення статистичних параметрів мінімального стоку річки до багаторічного періоду при наявності річки-аналога виконується графічним, аналітичним чи графоаналітичним способами, а також методом коефіцієнтів.

Графічний метод. Найбільш різноманітним способом є побудова графічних зв’язків річних величин річкового стоку в двох створах, які

розглядаються, за період сумісних спостережень. Графік зв'язку значень річного стоку розраховуємо річки і річки-аналога за період сумісних спостережень (не менше 10 років) покладено в основу графічного способу. Залежність вважається задовільною і приємливою для практичних розрахунків, якщо відхилення більшої частини точок не перевищує 15% і коефіцієнт кореляції їх r=0.7÷0.8[20].

Коефіцієнт кореляції r визначається за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - \bar{q})(q_{ai} - \bar{q}_a)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n}(q_i - \bar{q})^2 \sum_{i=1}^{n}(q_{ai} - \bar{q}_a)^2}}, \qquad (2.12)$$

де q_i, q_{ai} - середньорічні модулі річного стоку за період сумісних спостережень на дослідженій річці і по аналогу; $\bar{q}, \bar{q}_a$ - відповідно середні багаторічні модулі річного стоку; n – число років сумісних спостережень.

При прямолінійному зв'язку норма стоку короткого ряду визначається безпосередньо по графіку через норму річного стоку річки-аналога. При наявності нелінійних зв'язків стоку необхідно мати більш тривалий ряд сумісних спостережень (більш 10-20 років). В йому випадку графік зв'язку використовується для подовження ряду по рокам з послідуючим розрахунком норми по відновленому ряду.

Коефіцієнт варіації ряду, приведеного графічним способом, визначається за формулою:

$$C_v = \frac{\bar{q}_N^a}{\bar{q}_N} C_v{}^a, \qquad (2.13)$$

де $\bar{q}^{a}{}_{N}$, $C_v{}^{a}$- статистичний параметр річного стоку річки-аналога за багаторічний період; $\bar{q}_{N}$, C_v- статистичний параметр приведеного ряду.

Помилка розрахункової норми мінімального стоку, отримана шляхом приведення короткого ряду спостережень до багаторічного періоду по графікам зв'язку, складається із помилки середньої величини ряду спостережень в опорному пункті на річці-аналогу і помилки кореляції, яка виникла в наслідок розсіювання точок на графіку зв'язку.

Згідно теорії помилок, сумарна помилка для приведеного ряду дорівнює

$$\sigma_{\overline{Q}_N} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \qquad (2.14)$$

де σ_1- похибка визначає норми мінімального стоку річки - аналога; σ_2- похибка кореляції стоку за період сумісних спостережень, визначається по формулі:

$$\sigma_2 = \frac{C_v\sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} \cdot 100\%, \qquad (2.15)$$

де C_v- коефіцієнт варіації стоку для розрахункового створу.

Графоаналітичний метод Г.А.Алексєєва. При використанні графоаналітичного методу статистичних параметрів короткого ряду $\bar{q}_N, C_v, C_s$, розраховується через характерні ординати загладжуваної кривої забезпеченості (5%, 50%, 95%) на основі кореляційної залежності за сумісний період спостережень [20].

Приведення починається з того, що значення мінімального стоку річки за багаторічний період спостережень по річці-аналогу розміщується в порядку зменшення і визначає їх забезпеченість по формулі:

$$P = \frac{m}{N+1}100\%, \qquad (2.16)$$

де m – порядковий номер ранжируваного ряду; N – довжина ряду.

На основі цих даних на клетчатці ймовірності будується емпірична крива забезпеченості стоку річки-аналога, яка згладжується. З неї знімають опорні ординати $q^a_{5\%}, q^a_{50\%}, q^n_{95\%}$. По графіку залежності мінімальних модулів стоку розрахункової річки і річки-аналога знаходять відповідно ординати кривої забезпеченості досліджуваної річки: $q^a_{5\%}, q^a_{50\%}, q^n_{95\%}$.

Статистичні параметри короткого ряду розраховують по відновленим ординатам. Спочатку розраховується коефіцієнт скошеності

$$S = \frac{q_5 + q_{95} - 2q_{50}}{q_5 - q_{95}}, \qquad (2.17)$$

Коефіцієнт асиметрії C_s визначається в залежності від величини коефіцієнта скошеності S із спеціальної таблиці.

Середнє квадратичне відхилення σ_q розраховується за формулою:

$$\sigma_q = \frac{q_5 - q_{95}}{\Phi_5 - \Phi_{95}}, \qquad (2.18)$$

де Φ_5, Φ_{95} - ординати нормованої кривої біноміального розташування, які визначаються в залежності від коефіцієнту скошеності S по спеціальним таблицям.

Норма мінімального стоку річки визначається рівнянням:

$$\bar{q} = q_{50} - \sigma_q \Phi_{50}, \qquad (2.19)$$

Коефіцієнт варіації знаходиться за співвідношенням:

$$C_v = \frac{\sigma_q}{\bar{q}}, \qquad (2.20)$$

Аналітичний метод. В аналітичному методі приведення норми мінімального стоку річки коротких рядів до багаторічного періоду, виконується на основі рівняння лінійної регресії. При цьому необхідно мати наступне:

- період сумісних спостережень повинен бути не менше 10-15 років;
- коефіцієнт кореляції мінімального стоку річки, яка досліджується і річки-аналога *r* не повинен бути менше 0.7 ($r \geq 0.7$).
- відношення коефіцієнта регресії *k* до його середньоквадратичної помилки σ не повинне бути менше 2 ($k/\sigma \geq 2$).

Коефіцієнт регресії визначається за формулою:

$$k = \frac{\sigma}{\sigma_a}, \qquad (2.21)$$

де σ, σ_a - середнє квадратичне відхилення значення стоку досліджуваної річки і річки-аналога за сумісний період спостережень.

Похибка коефіцієнта регресії дорівнює

$$\sigma_n = \frac{\sigma}{\sigma^a} \frac{1 - r^2}{\sqrt{n-1}}, \qquad (2.22)$$

Рівняння лінійної регресії для норми мінімального стоку річки має вигляд:

$$\bar{q}_N = \bar{q}_n + k\sigma_q(\bar{q}_N^a - \bar{q}_n^a)/\sigma_{qa}, \qquad (2.23)$$

де $\bar{q}_N, \bar{q}_N^a$ - середні багаторічні значення модулів мінімального стоку досліджуваної річки і аналога; $\bar{q}_n, \bar{q}_n^a$ - відповідні значення стоку за період загальних спостережень *n*. Коефіцієнт кореляції розраховується за формулою (2.12).

Середньоквадратичне відхилення стоку, значення стоку σ, σ^a встановлюється за відповідними формулами:

$$\sigma_q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q_i - \bar{q})^2}{n-1}} \qquad (2.24)$$

і

$$\sigma_q^a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(q^a{}_i - \bar{q}^a)^2}{n-1}} \qquad (2.25)$$

Коефіцієнт варіації C_v приведеного ряду визначається за виразом

$$C_v = \frac{\sigma}{q_N}\sqrt{1 + r^2\left(1 - \frac{\sigma^a}{\sigma_N^a}\right)}, \qquad (2.26)$$

де σ_N^a - середньоквадратичне відхилення модуля мінімального стоку річки-аналога за тривалий період спостережень N років.

Середня квадратична помилка приведеного значення норми стока оцінюється по формулі:

$$\varepsilon_{\bar{q}_N} = \frac{100\sigma}{\bar{q}_N \cdot \sqrt{n}} \sqrt{1 + r^2 \left(\frac{n}{N} \frac{\sigma_N^a}{\sigma^a} - 1 \right)} \tag{2.27}$$

Метод коефіцієнтів. Для розрахунку за цим методом, спочатку визначається коефіцієнт кореляції між значеннями короткого ряду і ряду-аналога за період сумісних спостережень, за формулою (2.12). Якщо значення $r \geq 0.7$, то досліджується синхронність коливань стоку на двох постах. Для цього будуються хронологічні графіки коливань мінімального стоку. Якщо коливання синхронні, то можна записати

$$\frac{\bar{q}_N^a}{\bar{q}_n^a} = \frac{\bar{q}_N}{\bar{q}_n}, \tag{2.28}$$

де $\bar{q}_N^a$ та $\bar{q}_N$ - середнє багаторічне значення мінімального стоку (норма) річки-аналога і короткого ряду, відповідно, а $\bar{q}_n^a$ та $\bar{q}n$ - середнє значення стоку річки-аналога і короткого ряду за період сумісних спостережень n.

Відзначимо відношення $\frac{\bar{q}_N^a}{\bar{q}_n^a}$ як K_N, тоді для короткого ряду, який досліджуємо можна розрахувати норму мінімального стоку за виразом:

$$\bar{q}_N = K_N \bar{q}_n \tag{2.29}$$

2.8 Розрахунок норми ґрунтового стоку за відсутності спостережень

Усі способи визначення ґрунтового стоку при відсутності гідрометричних даних зводяться до:

а) визначення мінімальних витрат води за аналогією з вивченими річками;

б) розрахунку за емпіричними формулами, що показують залежність мінімальних витрат води від площі водозбору або від площі водозбору і норми річного стоку.

До першого способу відносять і визначення мінімальних модулів стоку за картами ізоліній. Карти ізоліній застосовують для визначення ґрунтового стоку середніх річок з розміром площі водозбору (не більше 75000 км^2), при якому зональні фактори формування ґрунтового стоку перевищують вплив азональних факторів. Ґрунтовий стік за емпіричними формулами розраховують для малих річок того району, для якого рекомендується формула, або, коли формула має загальний характер, її параметри визначають для даного району [20].

Загалом ґрунтовий стік підлягає географічній зональності. Відхилення на окремих водозборах розрахункових значень ґрунтового стоку від зональних пов’язані, головним чином, з неповнотою дренування ґрунтових вод (мала річки), гідрогеологічними особливостями території, зарегульованість стоку великими водоймищами (озера, водосховища) проточного типу. Тому географічна зональність в розподілі ґрунтового стоку характерна лише для водозборів певних розмірів у кожній природній зоні.

Для побудови карти мінімального стоку у СНиП 2.01.14-83 [18] використані значення витрат фіксованої забезпеченості – мінімальні 30-денні витрати 80%-ої забезпеченості. Відповідно до СНиП 2.01.14-83 [18] значення мінімального 30-добового модуля стоку щорічної ймовірності перевищення

слід знімати з карт ізоліній мінімального 30-добового зимового [СНиП, аркуш 17] або ізоліній літньо-осіннього стоку річок ймовірністю перевищення 80% [СНиП, аркуш 18] для центрів тяжіння басейну шляхом інтерполяції між ізолініями стоку. Якщо водозбір перетинає декілька ізоліній, то значення ґрунтового стоку визначаються як середні зважені за площею

$$\bar{q}_{80\%N} = \frac{\bar{q}_{80\%1} f_1 + \bar{q}_{80\%2} f_2 + ... + \bar{q}_{80\%n} f_n}{f_1 + f_2 + ... + f_n}, \qquad (2.30)$$

де $\bar{q}_{80\%1} + \bar{q}_{80\%2} + ... + \bar{q}_{80\%n}$ - середні значення модулів ґрунтового стоку між сусідніми ізолініями; $f_1 + f_2 + ... + f$ - площі між відповідними ізолініями стоку, які визначаються за допомогою палетки.

Точність визначення мінімального стоку за картами ізоліній змінюється від ±10% - у зволожених районах до ±20% - у районах недостатнього зволоження та гірських областях [18].

Карти ізоліній не можливо використовувати для визначення ґрунтового стоку річок, у межах водозборів яких знаходяться озера, що регулюють значну частину стоку, а також річок, в басейнах яких є ділянки вираженого карсту. Перехідні коефіцієнти від 30-добових (середньомісячних) мінімальних витрат води щорічної ймовірності перевищення 80% для мінімальних витрат інших ймовірностей перевищення визначають за даними річок-аналогів.

Тоді

$$q_p = \lambda_p q_{80\%}, \qquad (2.31)$$

де λ_p - перехідний коефіцієнт.

Для малих річок з площею водозбору менше за 2000 км^2 нормативним документом рекомендується $q_{80\%}$ визначати за формулою, розробленою А.М. Владимировим:

$$q_{80\%} = 10^{-3} a \cdot (F \pm f)^n, \qquad (2.32)$$

де f - середня по району площа з відсутністю стоку (-) або середня площа підземного басейну, який забезпечує додаткове живлення річок даного району (+) внаслідок карсту; a і n параметри, які характеризують зволоженість даного району і інтенсивність зміни стоку із зростанням площі водозбору.

Тривалість періодів перемерзання й пересихання визначається за регіональними залежностями мінімальної 30-денної (середньомісячної) витрати води. Для оцінки відсутності стоку протягом 30 діб може використовуватись формула (2.32). У зв'язку з цим розрахунок $q_{80\%}$ для деяких значень площ, і та із них, для якої модуль стоку, обчислений із формули (2.32), буде вище 0.001 м^3/с, береться за площу пересихання або перемерзання.

Формулу (2.32) не можливо використовувати для розрахунку ґрунтового стоку річок зі значним озерним регулюванням, які протікають у районах локального впливу карсту, а також при значно виражених впливах господарчої діяльності на стік річок.

Для окремих районів [СНиП, додаток 1, аркуші 19,20] рекомендовано визначати мінімальні 30-добові витрати щорічної ймовірності перевищення P=80% за формулою:

$$q_{80\%} = a\overline{H}_в, \qquad (2.33)$$

де $q_{80\%}$ - модуль мінімального стоку 80%-ої забезпеченості, $\overline{H}_в$ - середня висота водозбору.

Мінімальні витрати інших ймовірностей перевищення встановлюють відповідно до [СНиП, додаток 1, аркуш 21].

Для гірських територій мінімального стоку припускається визначити по залежності модуля ґрунтового стоку від середньої висоти басейну річки. Залежності будуються для однорідних за гідрогеологічними умовами рядів.

Якщо треба оцінити мінімальний середньодобовий модуль стоку *P%*-ної забезпеченості, то його визначають по залежності з 30-денними (середньомісячними) модулями стоку [18]:

$$q_{p,c} = K_c q_p = K_c \lambda_p q_{80\%}, \qquad (2.34)$$

де $q_{p,c}$ - мінімальний середньодобовий модуль стоку забезпеченістю $P\%$;

q_p - мінімальний 30-денний модуль стоку тієї ж забезпеченості;

K_c - перехідний коефіцієнт [СНиП, додаток 1, аркуш 22].

3 РОЗРАХУНОК СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ҐРУНТОВОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

3.1 Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку за методом моментів

В основі цього методу лежить визначення статистичних параметрів кривих розподілу *y* через статистичні моменти. Поняття моментів прийшло в статистику з механіки, де воно використовується для опису розподілу мас. У статистиці значення дискретної випадкової величини представляється у вигляді матеріальної крапки з масою пропорційної вірогідності появи цієї випадкової величини [22].

Тоді сума добутків усіх можливих значень випадкової величини x на вірогідність цих значень p являє собою абсцису центру тяжіння всієї системи N матеріальних крапок (математичне очікування):

$$m_x = \sum_{i=1}^{n} p_i x_i \ , \tag{3.1}$$

або середньозважене із значень x, причому кожне із значень під час осереднення враховується з вагою, пропорційною вірогідності появи цього значення

$$m_x = \frac{x_1 p_1 + x_2 p_2 + \ldots + x_n p_n}{p_1 + p_2 + \ldots + p_n} = \frac{\sum\limits_{i=1}^{n} x_{ip_i}}{\sum\limits_{i=1}^{N} p_i}, \qquad (3.2)$$

де

$$\sum_{i=1}^{N} p_i = 1. \qquad (3.3)$$

При описі властивостей, статистичній сукупності використовуються моменти двох видів: початкові α_i' центральні μ

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^{N} x_i^3 p_i, \qquad (3.4)$$

$$\mu_i = \sum_{i=1}^{N} (x_i - m_x)^5 p_i, \qquad (3.5)$$

де S - порядок моменту.

Перший початковий момент α_i' дорівнює математичному очікуванню m_x. Другий центральний момент називають дисперсією і позначають σ_x^2. З них найбільше застосування в статистиці знайшли статистичні моменти $\alpha_i', \mu_1, \mu_2, \mu_3, \mu_4$ і їх безрозмірні характеристики (нормовані моменти). Останні мають такий вигляд:

• коефіцієнт варіації

$$C_v = \frac{\sqrt{\mu_2}}{m_x} \text{ або } C_v = \frac{\sigma_x}{m_x}; \qquad (3.6)$$

• коефіцієнт асиметрії

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3}; \tag{3.7}$$

• ексцес

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} - 3. \tag{3.8}$$

Кожен з цих моментів містить в собі певну інформацію про характер розподілу випадкової величини. Перший початковий момент α_i' або математичне очікування m_x, з центром розподілу випадкової величини.

Нормовані статистичні моменти C_v і C_s можна виразити через модульні коефіцієнти k_i

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^2}{n}}, \tag{3.9}$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^3}{nC_v{}^3}, \tag{3.10}$$

$$k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}. \tag{3.11}$$

Оцінки центральних статистичних моментів другого, третього і більш вищих порядків не відповідають вимогам незміщеності. Отже, при використанні розрахункових формул, приведених вище, ми будемо

обчислювати моменти з систематичною погрішністю. Для уникнення цього у формули вводяться поправочні коефіцієнти:

для другого центрального моменту

$$\frac{n}{n-1}, \tag{3.12}$$

для третього

$$\frac{n^2}{(n-1)(n-2)}. \tag{3.13}$$

В результаті розрахункові формули мають такий вигляд:

$$\hat{\sigma}_{\ddot{y}}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n-1}, \tag{3.14}$$

або

$$\hat{C}v = \frac{\hat{\sigma}_x}{\bar{x}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^2}{n-1}}, \tag{3.15}$$

$$\hat{C}_s = \frac{\sum_{i=n}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{\hat{\sigma}_x^3} \frac{n}{(n-1)(n-2)}, \tag{3.16}$$

або

$$\hat{C}_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^3}{\hat{C}_v^3} \frac{n}{(n-1)(n-2)}. \qquad (3.17)$$

Що стосується ексцесу, то ця характеристика розподілу не використовується в гідрологічних розрахунках, тому що навіть при довгих рядах стоку вона є недостовірною.

Слід зазначити, що введення поправочних множників допомагає усунути зміщеність з параметрів стокових рядів лише при $C_v < 0{,}5$. При $C_v > 0{,}5$ застосування методу моментів в гідрологічних розрахунках не рекомендується.

3.2 Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку за методом найбільшої правдоподібності

Походження назви цього методу пов'язане із застосуванням функції правдоподібності до визначення статистичних параметрів три параметричного гамма – розподілу С.М. Крицького і М.Ф. Менкеля [23].

З одного боку, функція правдоподібності це вірогідність сумісної появи вибірки в цілому, з іншою, вірогідність сумісної появи події - це добуток вірогідності появи кожної з подій. Отже, це добуток щільності вірогідності всіх елементів вибірки, які містять в собі невідомий параметр, який необхідно оцінити.

Метод найбільшої правдоподібності - метод математичної статистики, в якому за оцінку невідомого значення параметра щільності вірогідності береться те його значення, при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкової величини, звідки і пішла назва — метод найбільшої правдоподібності.

Математичний вираз для функції правдоподібності з невідомим параметром і має такий вигляд:

$$L(x_1, x_2, ..., x_n, \theta) = f(x_1, \theta), f(x_2, \theta), ..., f(x_n, \theta) \qquad (3.18)$$

Відповідно до правил диференціального числення для того, щоб знайти оцінку , необхідно вирішити рівняння

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \qquad (3.20)$$

З метою спрощення розрахунків функції правдоподібності її логарифмують і розглядають рівняння

$$\frac{1}{L}\frac{\partial L}{\partial \theta} = \frac{\partial \ln L}{\partial \theta} \qquad (3.21)$$

Таким чином, якщо для деякого параметра θ існує його ефективна оцінка, то вона є єдиним в цьому випадку вирішенням рівняння.

Метод найбільшої правдоподібності приводить до обґрунтованих оцінок з незначним зсувом. Але вид розрахункових формул статистичних параметрів залежать від вибраного закону розподілу випадкової величини. Е.Г. Блохінов застосував метод найбільшої правдоподібності до трьохпараметричного гамма – розподілу С.М. Крицькогоі М.Ф. Менкеля [23].

Рішення приводить до складних трансцендентних рівнянь. У зв'язку з цим був запропонований спрощений спосіб оцінки параметрів. В результаті отримані такі статистики

$$\hat{\lambda}_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n} \qquad (3.22)$$

$$\hat{\lambda}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n} \tag{3.23}$$

$$\hat{\lambda}_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\bar{x}} \lg \frac{x_i}{\bar{x}}}{n} \tag{3.24}$$

Перша із статистик λ, дорівнює середньоарифметичному значенню випадкової величини *X*. Дві інші (λ_2, λ_3) функціонально пов'язані з коефіцієнтом варіації C_v і коефіцієнтом асиметрії C_s. Для переходу від λ_2 і λ_3 до C_v і C_s/C_v побудовані спеціальні номограми.

Деяка зміщенність параметрів λ_2 і λ_3 може бути усунена за рахунок поправочного множника $\frac{n}{n-1}$ тоді

$$\hat{\lambda}_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \lg k_i}{n-1} \tag{3.25}$$

$$\hat{\lambda}_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i \lg k_i}{n-1} \tag{3.26}$$

3.3 Точність оцінок статистичних параметрів ґрунтового стоку розрахованих за методом моментів і методом найбільшої правдоподібності

Як вже відзначалось вище, оцінка параметра може відрізнятися від значення цього ж параметра генеральної сукупності. Якість оцінок визначається їх систематичними і випадковими погрішностями.

Систематичні погрішності можна усунути, а випадкові лише оцінити. Вичерпне уявлення про випадкові погрішності оцінок параметрів дає знання їх закону розподілу, але оскільки ряди стоку підкоряються розподілу, який відрізняється від нормального, встановити закон розподілу вибіркових оцінок іноді неможливо.

У гідрологічних розрахунках встановлюють середньоквадратичну погрішність оцінок, яка є основним показником випадкових погрішностей. Оцінювання середньоквадратичного відхилення вибіркових оцінок параметрів проводилося на основі методу статистичних випробувань (Монте Карло) по такому алгоритму:

1. Генерація генеральної сукупності стокових величин по вибраній функції розподілу і заданих статистичних параметрів, яка розбивається на вибірки менші за об'ємом.
2. Розрахунки зміщених оцінок параметрів по вибірках.
3. Усунення зміщенності оцінок.
4. Розрахунки середньоквадратичного відхилення незміщених оцінок від значення параметрів генеральної сукупності.

Саме таким шляхом були розроблені формули середньоквадратичного відхилення параметрів C_s і C_v. Що стосується оцінки математичного очікування, то його середньоквадратичне відхилення розраховується по формулі розробленою для величин, які підкоряються нормальному закону розподілу, тобто

$$\sigma_{\overline{x}} = \frac{\sigma_n}{\sqrt{n}}, \qquad (3.27)$$

допустивши при цьому припущення, що нормальний закон розподілу вибіркових середніх, зберігається і для вибірок, які відхиляються від нормального розподілу.

Для рядів, які не мають внутрішньорядного зв'язку (r = 0), стандарт вибіркових параметрів, оцінених по методу моментів і найбільшої правдоподібності розраховується за формулами. (табл. 3.1).

Стандарт відношення C_s/C_v, встановленого за методом найбільшої правдоподібності, також можна знайти, використовуючи зв'язок у C_s/C_v і C_v.

Відношення стандарту вибіркової оцінки до самого значення вибіркового параметру, вираженого у відсотках, називається відносним середньоквадратичним відхиленням вибіркового параметру від параметру генеральної сукупності [24, 25].

Таблиця 3.1 – Формули для оцінки випадкових погрішностей розрахунків статистичних параметрів

Параметр	Середньоквадратичне відхилення	
	Метод моментів	Метод найбільшої правдоподібності
$\overline{X}$	$\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$	$\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}$
C_v	$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n+4C_v^2}\sqrt{\frac{n\left(1+C_v^2\right)}{2}}$	$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{\sqrt{2n}}\sqrt{\frac{3}{3+C_v^2}}$
C_s	$\sigma_{C_s} = \sqrt{\frac{6}{n}\left(1+6C_v^2+5C_v^4\right)}$	
C_s/C_v	$\sigma_{C_s/C_v} = \frac{1}{C_v}\sqrt{\frac{6}{n}}$	

$$\varepsilon_{\bar{x}} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} 100\% = \frac{Cv\bar{x}}{\sqrt{n\bar{x}}} 100\%; \qquad (3.28)$$

$$\varepsilon_{Cv} = \frac{\sigma c_v}{Cv} 100\%; \qquad (3.29)$$

$$\varepsilon c_v = \frac{\sigma c_s}{Cs} 100\%. \qquad (3.30)$$

Відносні середньоквадратичні відхилення або відносні погрішності визначення параметрів вибірки використовується, як критерій якості розрахунків або, як критерій достатньої або недостатньої тривалості спостережень за стоком.

Наприклад, при розрахунках річного стоку тривалість періоду спостережень за стоком визначається достатньою, якщо ε_x < 5-10%, ε_{Cv}<15%. У протилежному випадку ці оцінки статистичних параметрів уточнюються за даними річок-аналогів з набагато більшим періодом спостережень. Метод уточнення має назву методу приведення рядів стоку до тривалого періоду за методом аналогії. Вибіркові значення коефіцієнту асиметрії, як правило, мають великі середньоквадратичні відхилення і його відносне значення (ε_{c_v}) досягає 50-70% від вибіркового значення самого параметру. У зв'язку з цим оцінки параметра C_s, або співвідношення C_s/C_v осереднюються в межах, однорідних за умовами формування стоку, гідрологічних районах.

З формул розрахунків середньоквадратичних відхилень оцінок статистичних параметрів видно, що випадкові погрішності ростуть у міру збільшення годинної мінливості стоку, яка характеризується коефіцієнтом варіації C_v. Але, зростання випадкових погрішностей розрахунків статистичних параметрів при застосуванні методу моментів інтенсивніше,

ніж при застосуванні методу найбільшої правдоподібності. Ця різниця стає особливо помітною при $C_v > 0,5$.

3.4 Оцінка однорідності рядів

Аналіз однорідності рядів гідрологічної інформації проводиться прийнятими в практиці гідрологічних розрахунків способами і прийомами [26]. Однорідність гідрологічних рядів спостережень за стоком може встановлюватися як для середніх річних величин річкового стоку, так і за окремі сезони, в першу чергу для межені. Подібний аналіз може проводитися для наявних рядів спостережень за ґрунтовим стоком.

Зміна водного режиму окремих територій в результаті впливу на нього широкого комплексу різних водогосподарських заходів призводять до того, що ряди спостережень за загальним річковим стоком, стоком весняного водопілля, а також ґрунтовим стоком часто виявляються неоднорідними і являють для пунктів з досить великим періодом спостережень дві сукупності чисел, одна з яких відноситься до періоду природного режиму поверхневих і ґрунтових вод, інша - до порушеного.

Завдання аналізу однорідності рядів спостережень за стоком передбачає вирішення двох основних завдань.

Перше з них полягає у встановленні моменту порушення водного режиму, починаючи з якого наступні значення гідрологічних характеристик можуть бути не однорідними [26].

Друге завдання включає визначення істотності (значущості) розбіжностей в однорідності вибірок при заданому рівні значущості, тобто власне перевірку початкової гідрологічної інформації відносно гіпотези однорідності [25].

Сюди також можна віднести рішення задачі кількісної оцінки виявлених порушень річкового стоку під впливом різних водогосподарських заходів.

Встановлення моменту порушень водного режиму на водозборі під впливом господарської діяльності може здійснюватися такими методами:

а) за фактичними даними. При цьому найбільш простим способом є встановлення моменту порушення водного режиму, який спирається на збір і аналіз фактичного матеріалу про терміни введення в експлуатацію окремих об'єктів і про початок впровадження різних водогосподарських заходів, що впливають на режим поверхневих і підземних вод;

б) методом гідрологічної аналогії. Суть цього методу полягає в порівнянні стоку досліджуваної річки за весь період спостережень зі стоком рік-аналогів, що знаходяться в природних умовах, шляхом побудови графічних зв'язків послідовно підсумовуваних (інтегральних) значень стоку, вираженого у витратах, шарах, модульних коефіцієнтах і т. д.

Такі інтегральні криві послідовно підсумовуваних величин для порівнюваних річок дозволяють графічно встановити момент початку порушень, тобто кордон періодів з порушеним і природним стоком. Крім того, цей метод дає можливість виявити початок істотних змін в однорідності рядів гідрологічної інформації не тільки для середнього річного стоку, а й для різних фаз водного режиму (максимального стоку, мінімального зимового, літнього і т.д.);

в) статистичними методами. За допомогою широко відомих в математичній статистиці параметричних і непараметричних критеріїв можна встановити кордон періодів з порушеним і природним стоком при заданому рівні значимості, аналізуючи кілька варіантів розчленування ряду вихідних даних на окремі вибірки і послідовно порівнюючи їх між собою.

Аналіз однорідності рядів гідрологічної інформації статистичними методами, або, іншими словами, статистична перевірка гіпотези про

однорідність рядів гідрологічної інформації, може бути здійснена на основі використання стандартних (параметричних) і непараметричних критеріїв.

Для оцінки точності результатів розрахунків вибірка (вихідний ряд спостережень) повинна бути репрезентативною.

Під репрезентативністю розуміють дві умови:

1) вибірка повинна бути однорідною;

2) елементи вибірки повинні відображати основні властивості генеральної сукупності [20].

Аналіз однорідності вибірки проводився на основі критеріїв Гнеденко - Королюка при обсязі вибірки і критерію Колмогорова - Смирнова [26].

Обидва методи засновані на аналізі інтегральних емпіричних функцій розподілу ймовірностей або кривих забезпеченості.

Узагальнення критеріїв Стьюдента і Фішера на випадок корільованих в часі і просторі і асиметричних послідовностей значень гідрологічних величин. Якщо вибіркові середні і дисперсії виявляться однорідними, а також будуть однорідними вибіркові коефіцієнти асиметрії, то можна стверджувати про однорідність функції розподілу (кривою Пірсона III типу або кривої три параметричного гамма-розподілу Крицького С.Н. – Менкеля М.Ф.) [23].

Перевірка однорідності рядів гідрологічних характеристик починається з оцінки однорідності вибіркових дисперсій за критерієм Фішера. Для цього на підставі наявних даних спостережень обчислюється статистика Фішера і визначається її критичне значення при прийнятому рівні значущості, коефіцієнтах асиметрії та автокореляції.

Нульова гіпотеза про рівність емпіричних дисперсій приймається, якщо статистика Фішера менше критичного значення і відкидається зі статистичною надійністю, де - рівень значущості, якщо має місце протилежне нерівність.

Критичне значення статистики Фішера при оцінці однорідності асиметрично розподілених рядів, що мають достовірну кореляцію, визначається за спеціально розробленими таблицями [20].

Статистика Стьюдента при оцінці однорідності двох вибіркових середніх розраховується за рівнянням

$$t = \frac{(\hat{x}_1 - \hat{x}_2)}{\sqrt{n_1\sigma_1^2 + n_2\sigma_2^2}} \sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 - 2)}{n_1 + n_2}} \ , \qquad (3.31)$$

де $\hat{x}_1, \hat{x}_2$ - вибіркові середні порівнюваних рядів; σ_1^2, σ_2^2 - дисперсії порівнюваних рядів; n_1, n_2 - довжина першого і другого ряду.

Критичні значення статистики Стьюдента при наявності кореляції між суміжними членами ряду розраховуються за рівнянням [20]

$$t'_{кр} = c_1 t_0 \ , \qquad (3.32)$$

де c_1- перехідний коефіцієнт, що є функцією $r(1)$; t_0 - Критичне значення статистики Стьюдента при $r(1) = 0$.

Статистична неоднорідність параметрів порівнюваних вибірок найчастіше пов'язана з існуванням деякої тенденції розвитку процесу. При впливі антропогенного чинника, зростаючого або зменшується в часі, має сенс припустити існування лінійного зв'язку між спостерігається величиною стоку і часом [20]

$$y_i = b_0 + b_1 t_i, \qquad (3.33)$$

де b_0, b_1 - коефіцієнти рівняння лінійної регресії; t_i - рік спостереження або порядковий номер елемента в часі ряду; y_i - спостережене значення досліджуваної характеристики в момент.

Отримане рівняння регресії перевіряється на надійність. Надійність визначається тим, наскільки значима кореляційний зв'язок між розглянутими

випадковими величинами, значимістю параметрів, що входять в рівняння регресії, а також шириною довірчого інтервалу, в який вкладаються оцінки зазначених параметрів [25].

Процедура перевірки значимості параметрів рівняння лінійної регресії полягає в порівнянні розраховуємо характеристики t_C з критичним значенням t_{Ckp}. Якщо $t_C > t_{Ckp}$, нульова гіпотеза про незначущості параметра відкидається [25].

3.5 Аналіз статистичної обробки ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

Для аналізу були залучені дані всіх постів, а результати наведені у табл. 3.2. Аналізуючи отримані результати по оцінці однорідності, слід відмітити, що для більшості постів басейну річки Південний Буг ряди є неоднорідні у часі [27].

Аналіз отриманих результатів представлений на рис. 3.1.

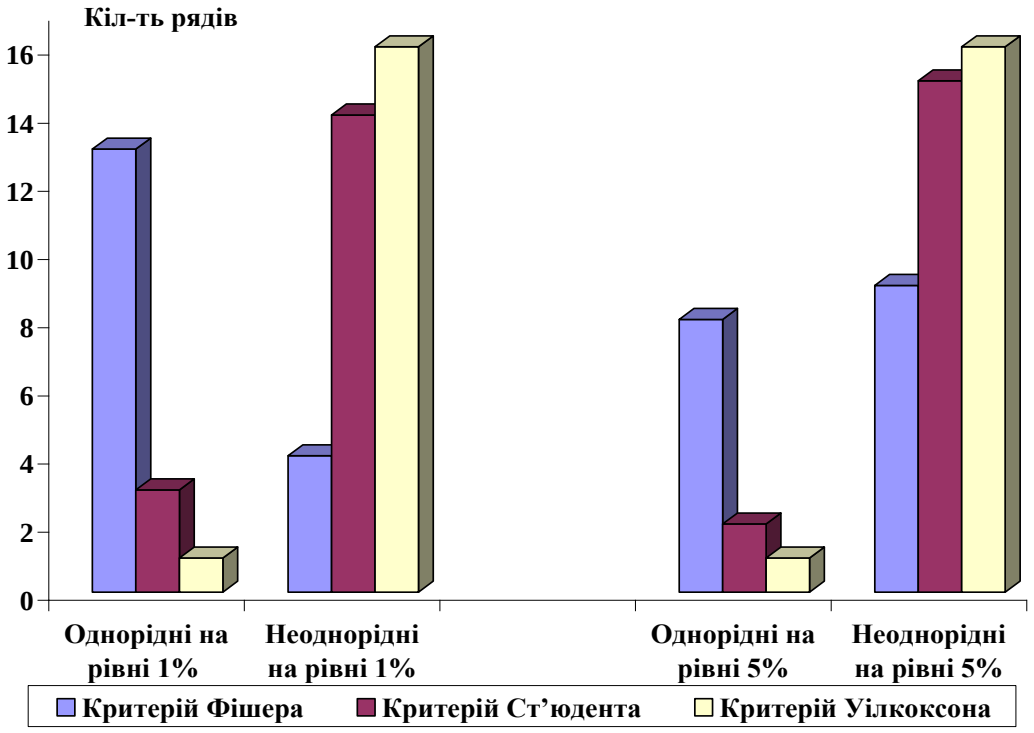


Рисунок 3.1 - Оцінка однорідності по трьом критеріям для басейну р. Південний Буг

Таблиця 3.2 - Перевірка рядів ґрунтового стоку на однорідність

Річка-пост	Рівень значущості, %	Критерій Фішера		Висновок	Критерій Стьюдента		Висновок	Критерій Уілкоксона	Висновок
		F	$F_{кр}$		t	$t_{кр}$			
р. Південний Буг - с. Летки	1%	2,09	2,64	так	3,03	2,66	ні	ні	ні
	5%		2,08	ні		2,00	ні	ні	ні
р. Південний Буг - с. Сабаров	1%	3,40	2,87	ні	6,03	2,68	ні	ні	ні
	5%		2,21	ні		2,01	ні	ні	ні
р. Південний Буг - с. Підгір'я	1%	1,27	2,58	так	3,35	2,66	ні	ні	ні
	5%		2,04	так		2,00	ні	ні	ні
р. Південний Біг - смт Олександрівка	1%	1,89	2,15	так	6,54	2,63	ні	ні	ні
	5%		1,79	ні		1,99	ні	ні	ні
р. Бужок – смт Меджибож	1%	2,26	4,64	так	2,76	2,77	так	ні	так
	5%		3,09	так		2,05	ні	ні	ні
р. Іква - с. Стара Синява	1%	2,21	2,64	так	1,79	2,66	так	ні	так
	5%		2,08	ні		2,00	так	ні	ні
р. Згар - смт Літин	1%	1,53	2,45	так	2,96	2,65	ні	ні	ні
	5%		1,96	так		2,00	ні	ні	ні
р. Ров - с. Демидівка	1%	3,45	4,64	так	2,90	2,77	ні	ні	ні
	5%		3,09	ні		2,05	ні	ні	ні
р. Савранка - с. Осички	1%	2,50	2,71	так	1,45	2,67	так	так	так
	5%		2,12	ні		2,00	так	так	так

Продовження табл. 3.2

р. Кодима - с. Обжила	1%	2,46	4,40	так	4,52	2,76	ні	ні	ні
	5%		2,97	так		2,05	ні	ні	ні
р. Кодима - с. Катеринка	1%	3,20	2,48	ні	6,78	2,65	ні	ні	ні
	5%		1,98	ні		2,00	ні	ні	ні
р. Синюха - с. Синюхин Брід	1%	1,12	2,29	так	2,35	2,11	ні	ні	ні
	5%		1,88	так		1,62	ні	ні	ні
р. Велика Вись - с. Ямполь	1%	1,23	2,29	так	6,45	2,11	ні	ні	ні
	5%		1,88	так		1,62	ні	ні	ні
р. Ятрань - с. Покотилово	1%	4,14	2,73	ні	3,13	2,21	ні	ні	ні
	5%		2,15	ні		1,66	ні	ні	ні
р. Чоний Ташлик - с. Тарасівка	1%	1,62	2,40	так	5,27	2,14	ні	ні	ні
	5%		1,95	так		1,63	ні	ні	ні
р. Інгул - с. Середнєвка	1%	1,60	1,57	ні	4,02	0,87	ні	ні	ні
	5%		1,39	ні		0,64	ні	ні	ні
р. Інгул - м. Новогорожено	1%	1,02	1,48	так	3,62	0,86	ні	ні	ні
	5%		1,34	так		0,64	ні	ні	ні

За критерієм Стьюдента однорідними можна вважати на 5%-м рівні значущості тільки 2 ряда (12%), а на 1%-м – 3 (18%). По критерію Фішера однорідними виявилися 8 рядів з 17 (47%), а на 1%-м – 13 (76%). За критерієм Уілкоксона на 1%-м та 5%-м рівнях значущим виявився лише один ряд – 6%.

Отже в цілому по території часові ряди ґрунтового стоку у своєї більшості є неоднорідними. Тим не менш, коли виявлена статистична неоднорідність, корисним є дослідження трендів та циклічності досліджуваних рядів [27].

В роботі для виявлення наявності трендів у рядах ґрунтового стоку були побудовані хронологічні графіки ходу ґрунтового стоку (рис. 3.2).

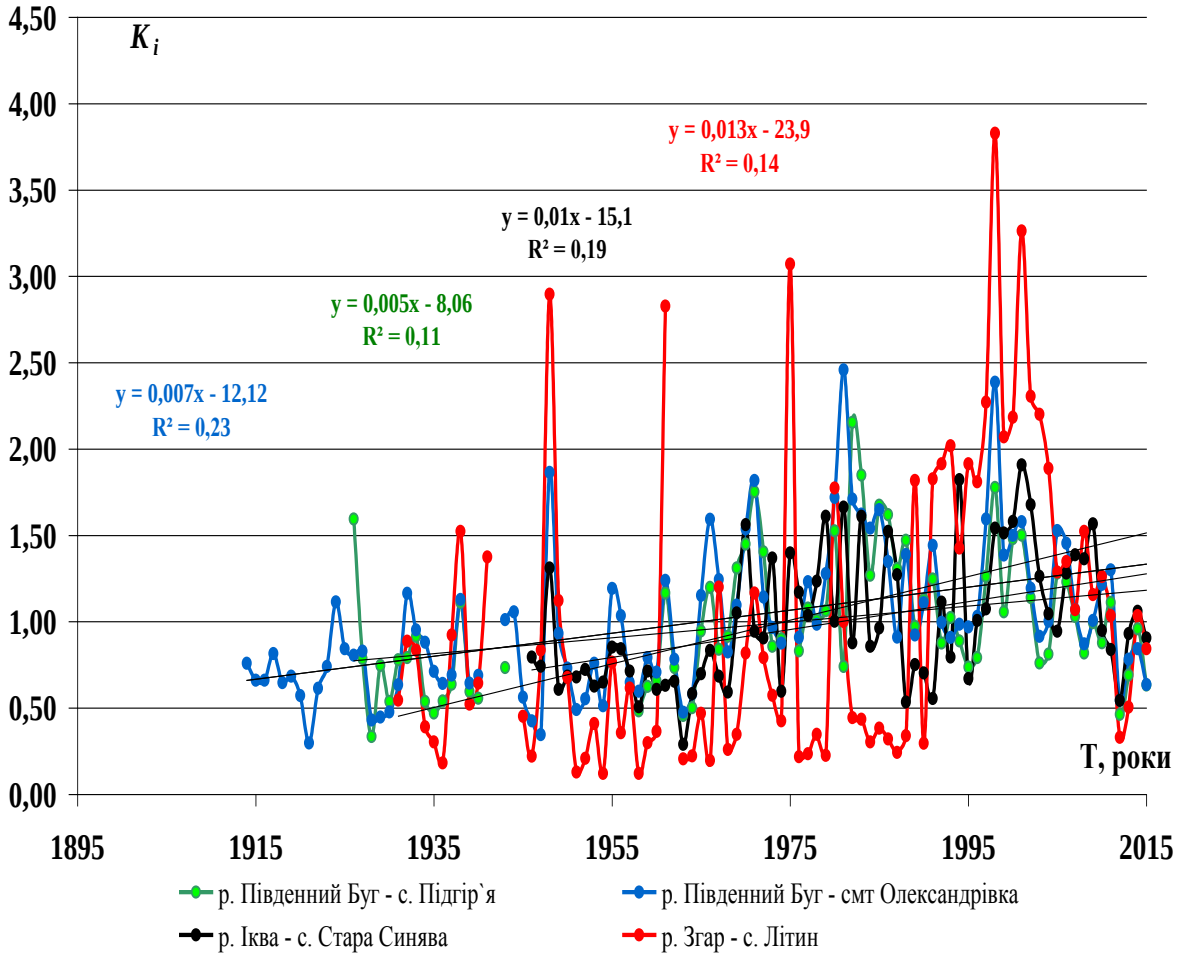


Рисунок 3.2 - Хронологічний графік ходу ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

Проаналізувавши графіки, можна зробити висновок, що тренд є незначущим для р. Південний Буг - с. Лелітки, р. Савранка - с. Осички, р. Синюха - с. Синюхин Брід (табл.3.3).

Таким чином, слід відмітити, що на території басейну Південного Бугу спостерігаються значущі тренди в бік збільшення практично для всіх рядів, причиною таких трендів у режимі ґрунтових вод можуть бути глобальні зміни клімату, а також водогосподарська діяльність.

Таблиця 3.3 – Розрахунок значущості трендів в рядах ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

№з/п	Річка - пост	Рівняння тренду	R^2	r	σr	$2\sigma r$	Висновок
1	р. Південний Буг - с. Лелітка	y = 0,002x - 2,94	0,001	0,03	0,12	0,24	**ні**
2	р. Південний Буг - с. Сабаров	y = 0,03x - 55,2	0,55	0,74	0,06	0,12	так
3	р. Південний Буг - с. Підгір'я	y = 0,005x - 8,06	0,11	0,33	0,10	0,21	так
4	р. Південний Буг - смт Олександрівка	y = 0,007x - 12,2	0,23	0,48	0,08	0,16	так
5	р. Бужок - смт Меджибож	y = 0,04x - 73,2	0,21	0,46	0,14	0,27	так
6	р. Іква - с. Стара Синява	y = 0,01x - 15,1	0,19	0,44	0,10	0,20	так
7	р. Згар - смт. Літин	y = 0,013x - 23,9	0,14	0,37	0,10	0,19	так
8	р. Рів - с. Демидівка	y = -0,03x + 52,34	0,47	0,69	0,09	0,18	так
9	р. Савранка - с. Осички	y = 0,01x - 9,10	0,04	0,20	0,12	0,24	**ні**
10	р. Кодима - с. Обжила	y = 0,03x - 58,28	0,41	0,64	0,10	0,19	так
11	р. Кодима - с. Катеринка	y = 0,02x - 34,6	0,15	0,39	0,10	0,19	так
12	р. Синюха - с. Синюхин Брід	y = 0,002x - 3,83	0,02	0,14	0,11	0,21	**ні**
13	р. Велика Вись - с. Ямпіль	y = 0,01x - 23,56	0,25	0,50	0,08	0,16	так
14	р. Ятрань - с. Покотилове	y = -0,01x + 13,01	0,07	0,26	0,13	0,25	так
15	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	y = 0,01x - 26,11	0,23	0,48	0,09	0,18	так
16	р. Інгул - с. Седнівка	y = 0,01x - 28,29	0,29	0,54	0,09	0,19	так
17	р. Інгул - с. Новогорожене	y = 0,01x - 23,69	0,13	0,36	0,10	0,20	так

В магістерській роботі були досліджені ряди даних на циклічність коливання ґрунтового стоку. З цією метою побудовані різницеві інтегральні криві для найбільш тривалих рядів спостережень. Як добре видно з рис.3.3, різницеві інтегральні криві ґрунтового стоку синхронні, а досліджувані річки можна віднести до одного гідрологічного району за циклічністю коливань ґрунтового стоку.

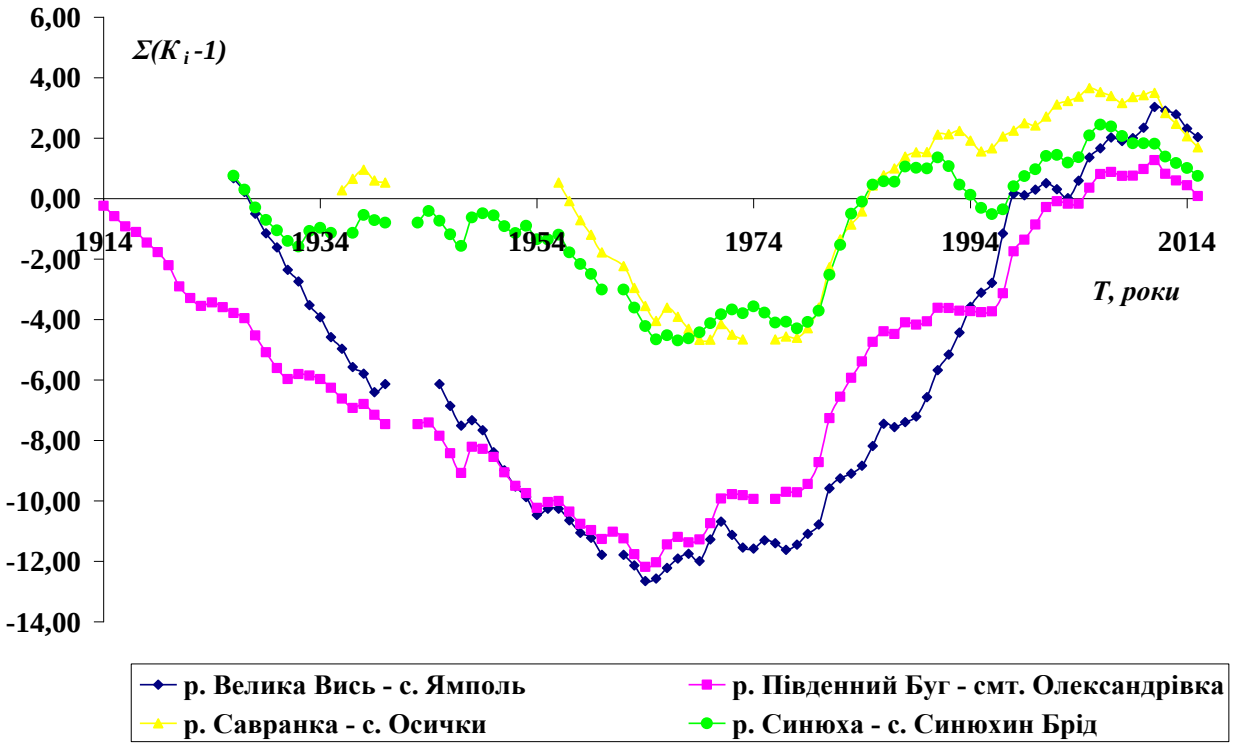


Рисунок 3.3 - Різницеві інтегральні криві ґрунтового стоку річок в басейні Південного Бугу.

Аналізуючи ці криві, можна відмітити, що починаючи з 1910-х років до 1970 років, спостерігалася маловодна фаза, потім практично на протязі наступних 10 років – до 1980 р. мав місце перехідний період, після чого, починаючи з 1980 року і по 2010 рік на річках досліджуваної території спостерігається багатоводна фаза, але вже з 2011 по теперішній час різницеві інтегральні криві переходять знову у маловодну фазу.

Такий хід стоку, на нашу думку, є цілком природнім, а отже вихідні дані підлягають статистичні обробці.

Статистична обробка проводилась з використанням двох методів (метод моментів та метод найбільшої правдоподібності) [28,29].

Аналізуючи статистичні характеристики грунтового стоку (табл.3.4) можно відмітити, що коефіцієнти варіації, розраховані за методом моментів, коливаються в межах від 0,36 (р. Ятрань - с. Покотилово) до 0,91 (р. Кодима - с. Катеринка). Що стосується коефіцієнтів асиметрії, то коливання досягають діапазону - від 0,38 (р. Савранка - с. Осички) до 1,46 (р. Кодима - с. Катеринка). Як відомо, на практиці значення коефіцієнтів асиметрії зазвичай окремо не використовують, а нормують їх по відношенню до коефіцієнтів варіації. Значення співвідношення C_s / C_v для річок розглядуваної території змінюється також в досить широких межах - від -0,90 (р. Інгул - с. Седнівка, р. Савранка - с. Осички) до 2,40 (р. Рів - с. Демидівка).Похибка визначення середнього багаторічного значення грунтового стоку не перевищує 15% [30].

Значення основних статистичних характеристик, отриманих за методом найбільшої правдоподібності, практично співпадають з відповідними величинами по методу моментів (рис.3.4).

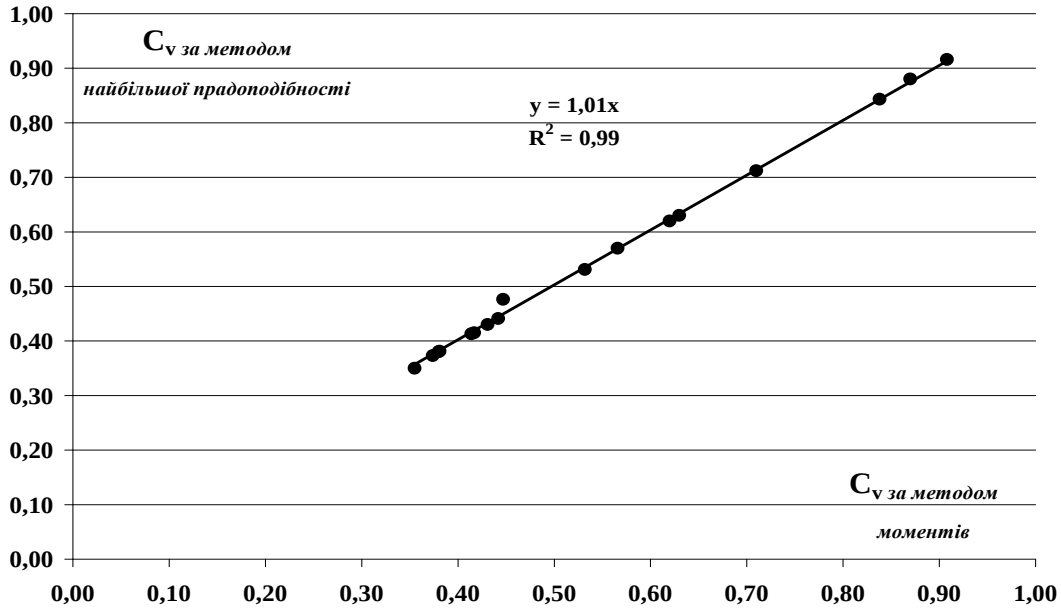


Рисунок 3.4 – Порівняння коефіцієнтів варіації за двома методами

Таблиця 3.4 – Статистичні обробка рядів ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

№ з/п	Річка-пост	$\sigma_{\overline{Q}}$	*F*,км²	*Q* сер, м³/с	*r(1)*	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
						Cv	*Cs*	*Cs/Cv*	*Cv*	*Cs*	*Cs/Cv*
1	р. Південний Буг – с. Лелітка	5,73	4000	7,10	0,63	0,45	0,88	1,80	0,48	0,92	1,90
2	р. Південний Буг – с. Сабаров	8,49	9010	12,5	0,74	0,63	0,86	1,40	0,63	0,90	1,40
3	р. Південний Буг – с. Підгір'я	4,45	24600	31,1	0,51	0,38	0,70	1,80	0,38	0,73	1,90
4	р. Південний Буг – смт Олександрівка	4,17	46200	42,7	0,58	0,42	1,01	2,40	0,42	1,04	2,50
5	р. Бужок – смт Меджибож	14,87	698	0,77	0,53	0,87	1,56	1,80	0,88	1,93	2,20
6	р. Іква – с. Стара Синява	4,46	439	1,04	0,40	0,37	0,59	1,60	0,37	0,61	1,60
7	р. Згар – смт. Літин	9,37	692	0,58	0,44	0,84	1,26	1,50	0,84	1,34	1,60
8	р. Рів – с. Демидівка	6,44	1130	2,44	0,66	0,38	0,92	2,40	0,38	1,02	2,70
9	р. Савранка – с. Осички	5,33	1740	1,32	0,64	0,43	0,38	0,90	0,43	0,40	0,90
10	р. Кодима – с. Обжила	9,25	145	0,07	0,47	0,57	1,17	2,10	0,57	1,33	2,30
11	р. Кодима – с. Катеринка	10,31	2390	0,61	0,55	0,91	1,46	1,60	0,92	1,59	1,70
12	р. Синюха – с. Синюхин Брід	4,45	16700	10,9	0,50	0,41	0,71	1,70	0,41	0,73	1,80
13	р. Велика Вись – с. Ямпіль	5,73	2820	1,20	0,60	0,53	0,59	1,10	0,53	0,61	1,10
14	р. Ятрань – с. Покотилове	4,68	2140	2,16	0,76	0,36	1,12	3,20	0,35	1,23	3,50
15	р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка	7,07	2230	1,08	0,74	0,62	0,69	1,10	0,62	0,71	1,10
16	р. Інгул – с. Седнівка	5,74	4770	3,15	0,64	0,44	0,39	0,90	0,44	0,42	0,90
17	р. Інгул – с. Новогорожене	7,96	6670	2,45	0,74	0,71	1,01	1,40	0,71	1,05	1,50

4. НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ГРУНТОВОГО СТОКУ В БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

4.1 Дослідження впливу зональних та інтрозональних факторів на норму грунтового стоку та узагальнення його за територією

Стік річок формується під впливом складної взаємодії фізико-географічних факторів, що поділяються на дві групи: кліматичні та фактори підстильної поверхні. До основних кліматичних факторів (зональні фактори) відносяться атмосферні опади, випаровування, температура повітря.

До факторів підстильної поверхні відносять інтразональні фактори, які пов'язані із зональними умовами, але змінюються в залежності від зони (рослинність, ґрунти, озерність, заболоченість, густота річкової мережі) та азональні фактори не пов'язані з географічними положенням басейну (площа водозбору, середня висота басейну, довжина річки, звивистість та інші морфометричні характеристики басейну) [20].

Як відомо, мінімальний стік річок підкоряється географічний зональності, але слід враховувати, що вплив на його величину можуть чинити гідрогеологічні умови водозборів. Також приступаючи до узагальнення характеристик мінімального в нашому випадку ґрунтового стоку по території, необхідно проаналізувати вплив місцевих чинників – висоти водозбору, залісеності та заболоченості річкових басейнів.

На рисунку 4.1 показана залежність ґрунтового стоку ($q_{гр}$) від географічної широти геометричних центрів водозборів, на якому спостерігається доволі чітка залежність $q_{гр}$ від широтного положення водозборів з однаковими значущими коефіцієнтами кореляції (r=0,77). Наявність такої залежності є підставою для узагальнення ґрунтового стоку за допомогою карти.

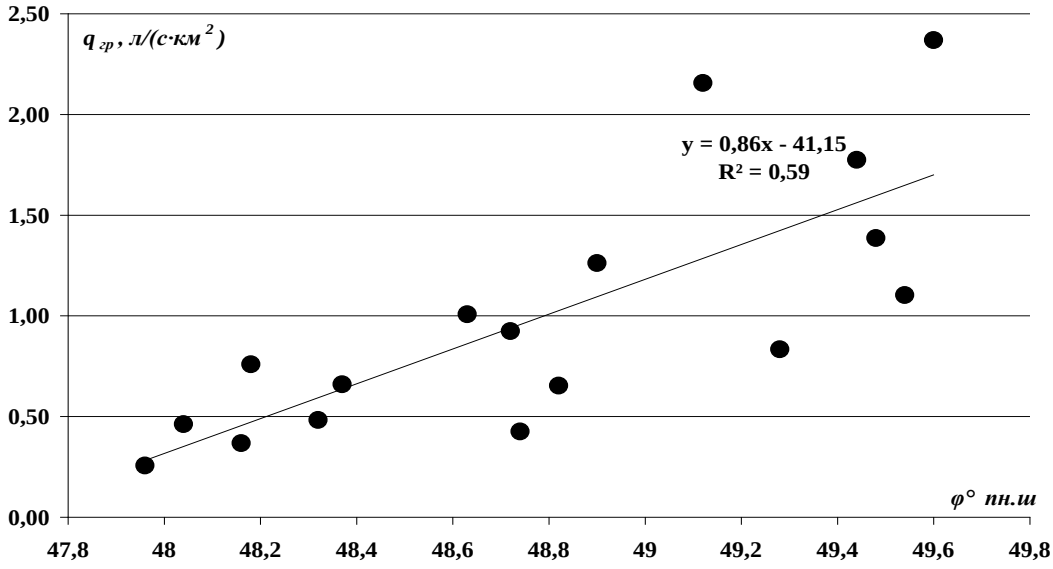


Рисунок 4.1 - Залежність ґрунтового стоку від географічної широти геометричних центрів водозборів річок Південного Бугу

Але необхідно також дослідити можливий вплив інших фізико-географічних чинників формування стоку. З цією метою отримані наступні залежності на рисунках 4.2, 4.3. Але оскільки коефіцієнти кореляції при дослідженні ґрунтового стоку від залісення та заболочення водозборів річок Південного Бугу є незначущими, то у подальших розрахунках їх вплив можна не враховувати.

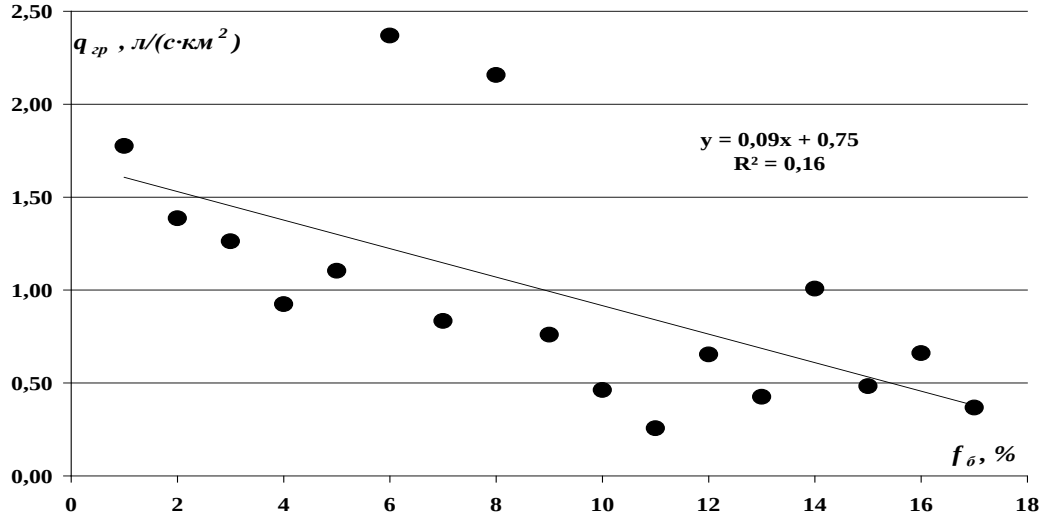


Рисунок 4.2 - Зміна ґрунтового стоку від заболоченості водозборів річок Південного Бугу

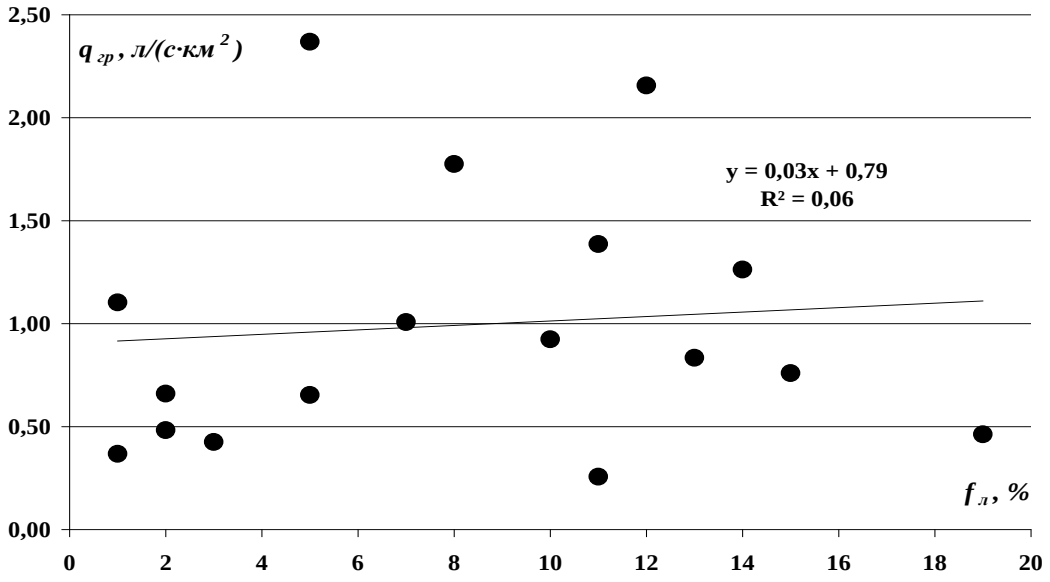


Рисунок 4.3 - Зміна ґрунтового стоку від залісення водозборів річок Південного Бугу

Також була побудована залежність модулів ґрунтового стоку від розмірів водозборів, які є непрямою, але об'єктивною характеристикою ерозійного врізу русел. Тому що, із збільшенням ерозійного врізу збільшується ступінь дренування ґрунтових запасів вологи. Коефіцієнти кореляції отриманої залежності ґрунтового стоку від розмірів водозборів річок Південного Бугу практично дорівнюють нулю, що є свідченням відсутності впливу розмірів водозборів.

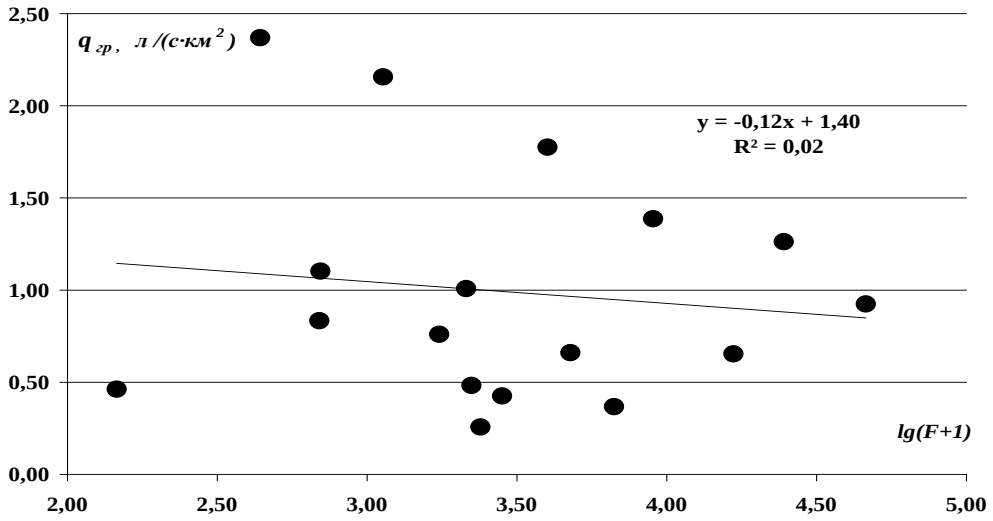


Рисунок 4.4 - Зміна ґрунтового стоку від розмірів водозборів річок Південного Бугу

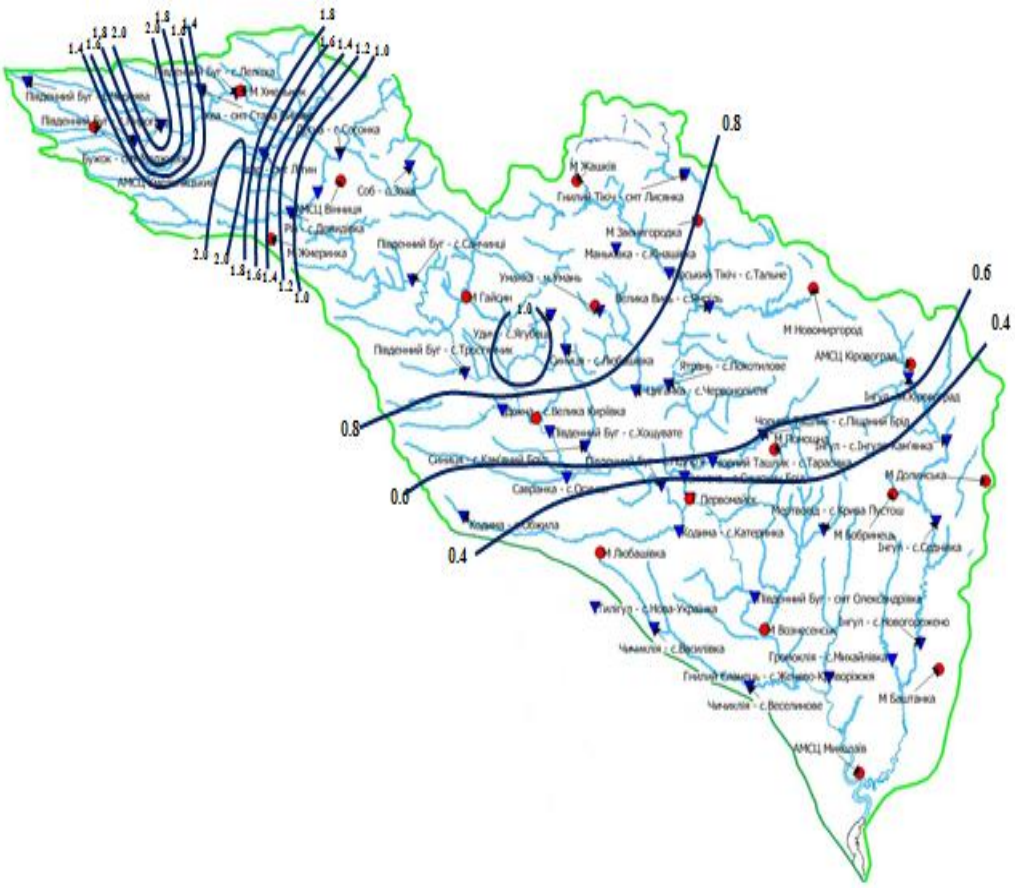


Рисунок 4.5 – Карта-схема розподілу ґрунтового стоку ($q_{гр}$, л/(с км^2))

Модулі ґрунтового стоку відносяться до геометричних центрів водозборів, ізолінії проведено через 0,2 л/с·км^2. В цілому спостерігається збільшення ґрунтового стоку ($q_{гр}$) у напрямку з південного сходу на північний захід від 0,40 до 2,00 л/(с км^2) (рис. 4.5).

Після побудови карти ґрунтового стоку необхідно визначити точність розрахунку, як відносне відхилення розрахованих значень від фактичних за формулою

$$\Delta = \left| \frac{\overline{q}_p - \overline{q}_ф}{\overline{q}_ф} \right| \cdot 100\%, \qquad (4.1)$$

де q_p - розрахункові величини ґрунтового стоку; $q_ф$ - фактичні величини ґрунтового стоку. Результати розрахунків представлені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 - Визначення точності карти зміни по території ґрунтового стоку для басейну річки Південний Буг

№з/п	Річка - пост	F, $км^2$	$q_{гр}$ $ф$	$q_{гр}$ $р$	Δ%
1	р.Південний Буг-с.Лелетки	4000	1,78	1,80	1,11
2	р.Південний Буг-с.Сабаров	9010	1,39	1,60	13,13
3	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	1,26	1,20	5,00
4	р.Південний Буг- смт Олександрівка	46200	0,92	1,00	8,00
5	р.Бужок-смт Меджибож	698	1,10	1,40	21,43
6	р.Іква-с.Стара Синява	439	2,37	2,00	18,50
7	р.Згар-смт Літин	692	0,83	0,90	7,78
8	р.Рів – с.Демидівка	1130	2,16	2,00	8,00
9	р.Савранка-с.Осички	1740	0,76	0,60	26,67
10	р.Кодима-с.Обжила	145	0,46	0,40	15,00
11	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,26	0,40	35,00
12	р.Синюха-с.Синюхін Брід	16700	0,65	0,60	8,33
13	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,43	0,50	14,00
14	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	1,01	0,90	12,22
15	р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,48	0,50	4,00
16	р.Інгул –с.Седнівка	4770	0,66	0,60	10,00
17	р.Інгул-м.Новогорожене	6670	0,37	0,40	7,50
		Середнє значення Δ = 12,69%			

4.2 Мінливість ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

При дослідженні мінливості ґрунтового стоку для даної території побудовано залежності коефіцієнта варіації від модулів ґрунтового стоку, від географічної широти геометричних центрів водозборів, а також від розмірів водозборів (рис.4.6-4.8) з незначущими коефіцієнтами кореляції.

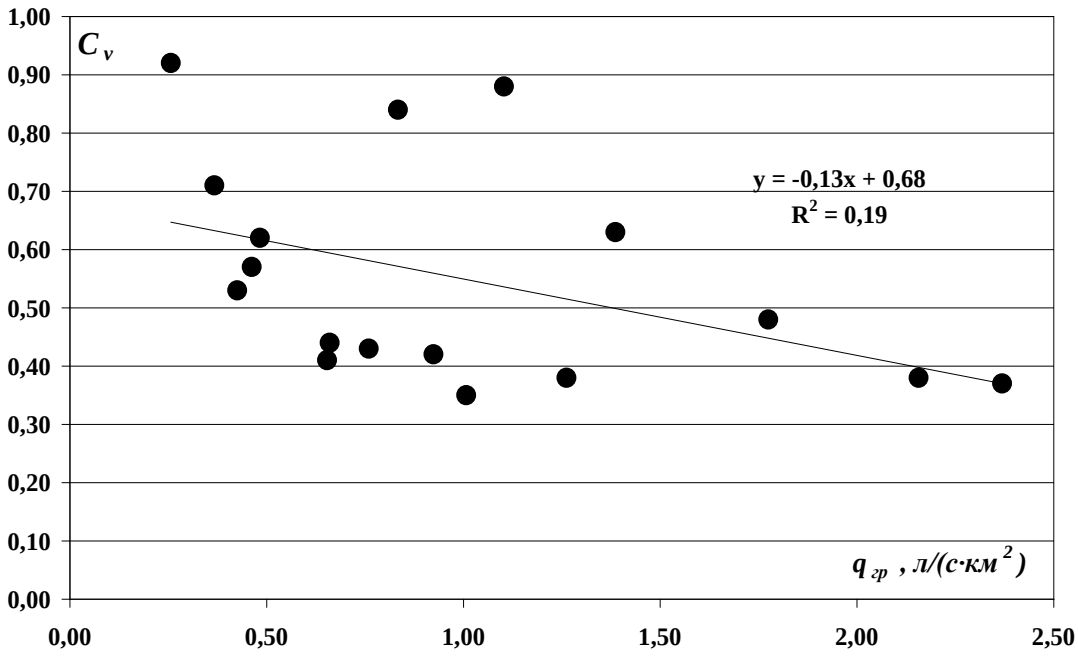


Рисунок 4.6 – Залежність коефіцієнта варіації ґрунтового стоку від модулів ґрунтового стоку

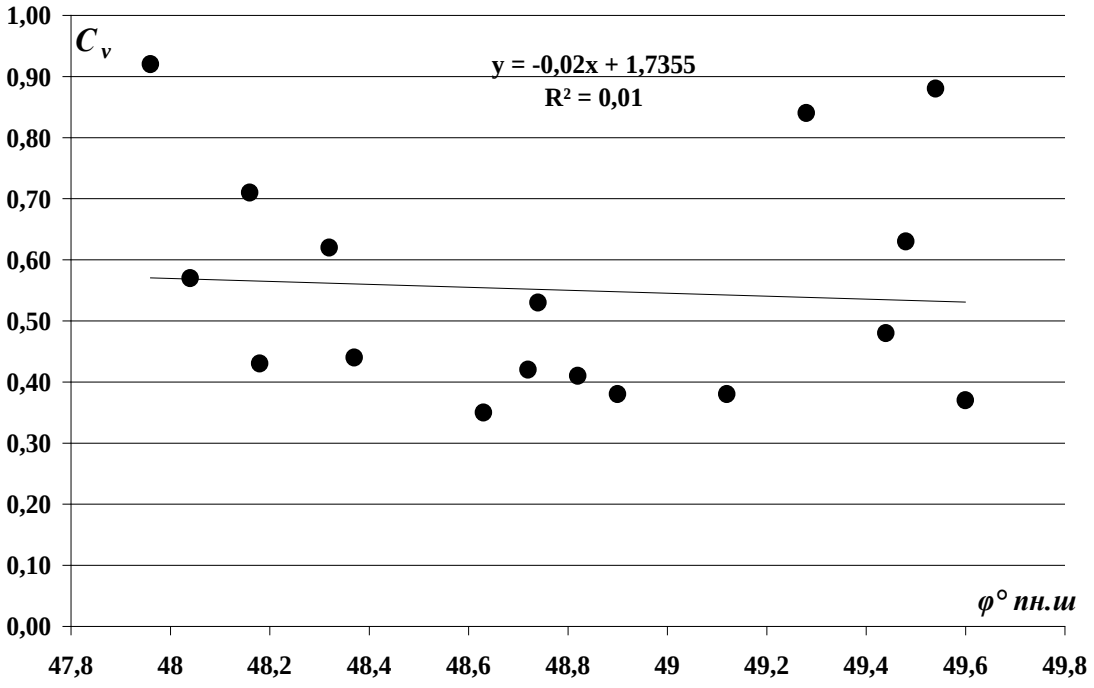


Рисунок 4.7 – Зміна коефіцієнта варіації ґрунтового стоку від географічної широти геометричних центрів водозборів

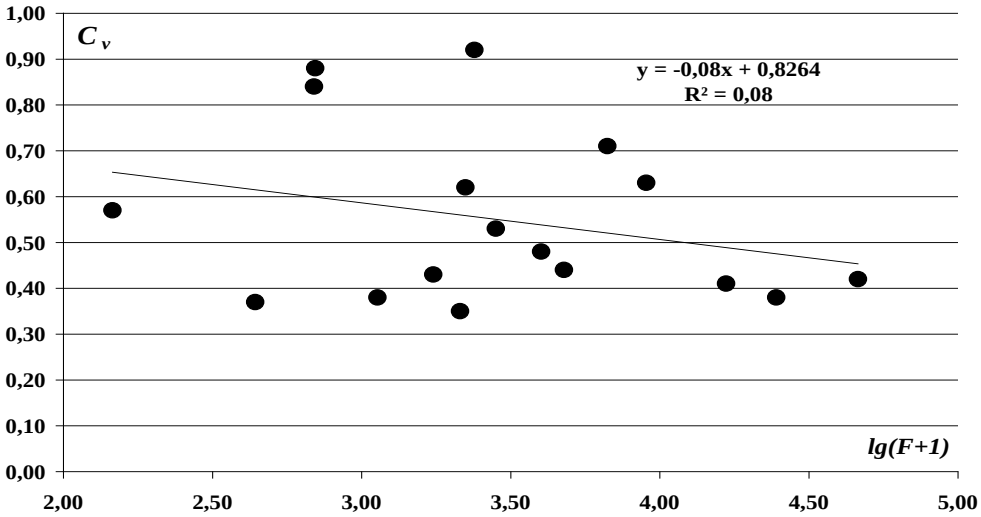


Рисунок 4.8 – Зміна коефіцієнта варіації ґрунтового стоку від розмірів водозборів

Для визначення коефіцієнта варіації для невивчених річок басейну річки Південний Буг побудована, яка представлена на рисунку 4.9.

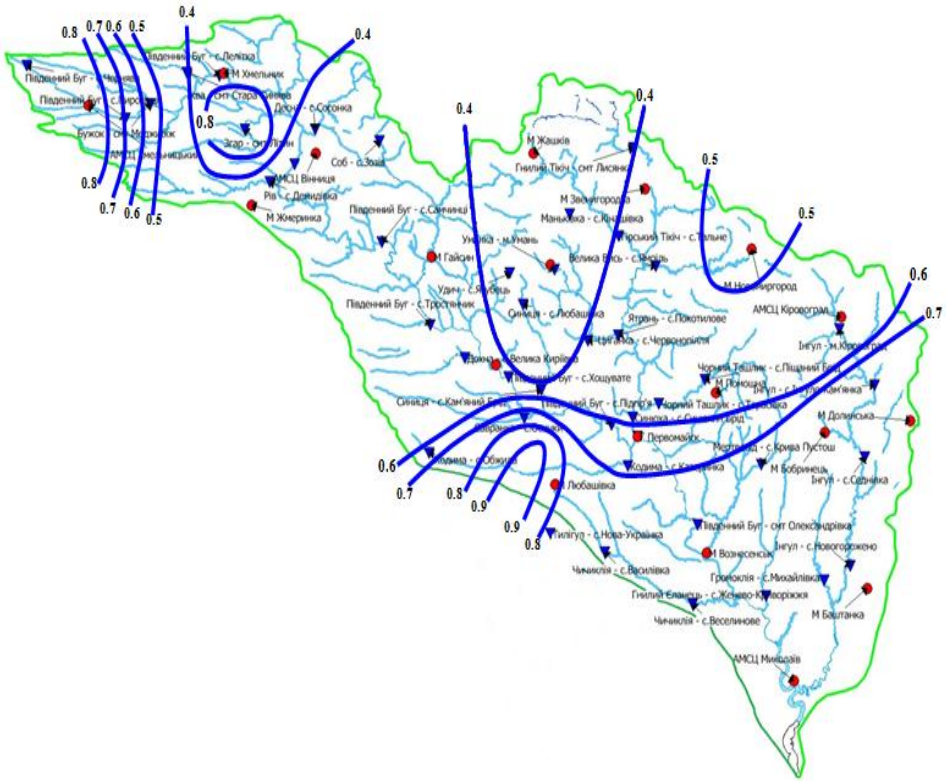


Рисунок 4.9 – Розподіл коефіцієнтів варіації ґрунтового стоку в басейні р. Південний Буг

Значення коефіцієнта варіації (C_v) ґрунтового стоку змінюються по території у досить широкому діапазоні від 0,9 до 0,4 у напрямку з півдня на північний захід. Точність карти становить ± 12,07 % (табл.4.2).

Таблиця 4.2 - Визначення точності карти зміни по території коефіцієнтів варіації для басейну річки Південний Буг

№з/п	Річка - пост	*F, км²*	C_v *ф*	C_v *р*	*Δ%*
1	р.Південний Буг-с.Лелетки	4000	0,48	0,60	20,00
2	р.Південний Буг-с.Сабаров	9010	0,63	0,80	21,25
3	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	0,38	0,40	5,00
4	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	0,42	0,40	5,00
5	р.Бужок-смт Меджибож	698	0,88	0,80	10,00
6	р.Іква-с.Стара Синява	439	0,37	0,50	26,00
7	р.Згар-смт Літин	692	0,84	0,90	6,67
8	р.Рів – с.Демидівка	1130	0,38	0,40	5,00
9	р.Савранка-с.Осички	1740	0,43	0,60	28,33
10	р.Кодима-с.Обжила	145	0,57	0,60	5,00
11	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,92	0,90	2,22
12	р.Синюха-с.Синюхін Брід	16700	0,41	0,40	2,50
13	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,53	0,50	6,00
14	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,35	0,40	12,50
15	р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,62	0,60	3,33
16	р.Інгул –с.Седнівка	4770	0,44	0,70	37,14
17	р.Інгул-м.Новогорожене	6670	0,71	0,65	9,23
		Середнє значення *Δ* =12,07%			

Висновки

Магістерська кваліфікаційна робота є закінченим дослідженням, у якому на регіональному рівні вирішена актуальна задача щодо нормування ґрунтового стоку річок басейну Південного Бугу.

1. Дослідження за ґрунтовим стоком річок в басейні Південного Бугу проводиться на 17 гідрологічних постах з діапазоном площ від 145 км^2 (р. Кодима - с. Обжила) до 46200 км^2 (р. Південний Буг-смт Олександрівка).

2. Вихідна інформація по ґрунтовому стоку в межах досліджуваної території є неоднорідною. За критерієм Стьюдента однорідними можна вважати на 5%-м рівні значущості тільки 2 ряда (12%), а на 1%-м – 3 (18%). По критерію Фішера однорідними виявилися 8 рядів з 17 (47%), а на 1%-м – 13 (76%). За критерієм Уілкоксона на 1%-м та 5%-м рівнях значущим виявився лише один ряд – 6%.

3. Аналіз хронологічних графіків показав, що на більшості постів спостерігаються значущі тренди, крім р. Південний Буг - с. Лелітки, р. Савранка - с. Осички, р. Синюха - с. Синюхин Брід

4. Різницеві інтегральні криві ґрунтового стоку синхронні, а досліджувані річки можна віднести до одного гідрологічного району за циклічністю коливань ґрунтового стоку.

5. Основні статистичні параметри (середні значення рядів, коефіцієнти варіації й асиметрії) визначались з використанням метода моментів та метода найбільшої правдоподібності.

6. Дослідження впливу зональних та інтрозональних факторів на ґрунтовий стік показав, що найбільший вплив має географічна широта геометричних центрів водозборів.

7. Для визначення ґрунтового стоку невивчених річок розглянутої території пропонується карта, точність розрахунку по карті становить 12,69%, що відповідає вимогам діючого нормативного документу СНиП 2.10.14-83.

8. Для визначення коефіцієнта варіації також запропонована карта-схема точність якої становить 12,07%.

Список використаних джерел

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Украина и Молдавия. Ленінград.: Гидрометеоиздат, 1966. Т.6, вып. 1. 884 с.
2. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. Київ: Ніка-Центр, 2003. 324 с.
3. Атлас України [Електронний ресурс]: Кер. проекту Л.Г.Руденко, В.С.Чабанюк, А.І.Бочковська / Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999 2000.
4. Клімат України / за ред.: В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Видавництво Раєвського, 2003. 343 с.
5. Кліматичний кадастр України. Державна гідрометеорологічна служба – К:2006, електронний ресурс.
6. Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єластратова Л.О., Адаменко Т.І., Гребенюк Н.П., Татарчук О.Г., Корж Т.В. Клімат України: у минулому … і майбутньому? / за ред. М.І. Кульбіди., М.Б. Барабаш.: Монографія. Київ: Сталь, 2009. 234 с.
7. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз). Київ: Ніка-Центр, 2010. 316 с.
8. United States Geological Survey (USGS). 2013. Groundwater depletion. USGS. January 4, 2014.
9. Water Quality Monitoring and Management.Daoliang Li Shuangyin Liu 12th October 2018. p.368
10. Groundwater and Surface Water Interaction at the Regional-scale – A Review with Focus on Regional Integrated Models. Roland Barthel, Stefan Banzhaf. Published: 4 November 2015.

11. Understanding Climate Change Impacts on Crop Productivity and Water Balance. S. Jalota B. B. Vashisht Sandeep Sharma Samanpreet Kaur. 21st February 2018. p.234

12. Evaluation of the influence of meteorological factors on the aeration zone and the groundwater regime using Gis and Mike Sheimitating models. Research Institute of Irrigation and Water Problems. Muradov Navruz, 2016. p.191-193

13. Морозов П.Н. Подземный сток и методы его определения: конспект лекций. Ленинград. 1975. 60 с.

14. Бефани А.Н. Пути генетического определения нормы стока. Научный ежегодник ОГУ. Одесса. 1957. 125 с.

15. Питання вивчення підземного стоку в річки/ під ред. Чеботарьова А. І. / Праці ГГИ, вип. 114. 1964. 180 с.

16. Дослідження підземного стоку / Під ред. Попова О. В. / Праці ГГИ, вип. 188, 1972, 319 с.

17. Куделін Б. І. / Принципи регіональної оцінки природних ресурсів підземних вод. Москва, вид. МДУ, 1960, 344 с.

18. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Ленінград: Гидрометеоиздат, 1984. –448 с.

19. Рождественский А. В., Лобанова А. Г. Приведение рядов речного стока к длительному периоду методом множественной корреляции. «Тр. ГГИ», 1968, вып. 163, С. 9 –18 .

20. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. / Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеський Державний екологічний університет. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.

21. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. - Л.: Гидрометеоиздат, 1974. – 424 с.

22. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Санкт-Петербург: ГГИ, 2007. 278 с.

23. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О некоторых приемах статистического анализа гидрологических рядов //Тр. ГГИ. 1968.вып.143. С. 110-133.

24. Рождественский А. В., Лобанова А. Г. Приведение рядов речного стока к длительному периоду методом множественной корреляции. – «Тр. ГГИ», 1968, вып. 163, с. 9 –18 .

25. Школьний Є.П., Лоєва І.Д., Гончарова Л.Д. Обробка та аналіз гідрометеорологічної інформації: навчальний підручник. - Київ.: Міносвіти України, 1999. - 600 с.

26. Рекомендации по статистическим методам анализа однородности пространственно - временных колебаний речного стока. - Л.: Гидрометеоиздат. - 1984.- 78 с.

27. Тодорова О.І., Майборода А.А. Ґрунтовий стік в басейні р. Південний Буг в умовах сучасних кліматичних змін // VII Всеукраїнська наукова конференція “ Проблеми гідрології, гідрохімії, гідроекології ”, 13-14 листопада 2018р., м. Київ. с. 66-67.

28. Майборода А.А., Шаменкова О.І. Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку річки Південний Буг // III Міжнародна наукова конференція молодих вчених на базі ОДЕКУ, на тему: «Сучасна гідрометеорологія: актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» с. 115-116.

29. Майборода А.А. Розрахунок статистичних параметрів ґрунтового стоку річки Південний Буг // Міжнародна науково-практична конференція на базі Громадської організації «Європейська народна платформа», на тему: «Актуальні питання сьогодення» від 18.04.2018р., м. Тернопіль с. 27-30.

30. Майборода А.А. Розрахункові характеристики ґрунтового стоку в басейні р. Південного Бугу // Міжнародна науково-практична конференція на базі Громадської організації «Європейська народна платформа», Збірник наукових праць «ЛУГО∑» матеріали міжнародної науково-практичної

конференції «Актуальні проблеми сьогодення» від 20.03.2018р., м. Вінниця с. 57-59.