

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: **МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В
БАСЕЙНІ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ В УМОВАХ НЕСТІЙКОГО КЛІМАТУ**

Виконала студентка 2 курсу групи МГ- 61
спеціальності 8.04010503 Гідрологія,
Пількевич Ірина Миколаївна

Керівник: к.геогр.н., доцент
Овчарук Валерія Анатоліївна

Консультант _____

Рецензент д.геогр.н., професор
Лобода Наталія Степанівна

Одеса 2017

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра гідрології суші
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 8.04010503 «Гідрологія»
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри гідрології суші
д.геогр.н., проф. Гопченко Є.Д.
“ ___ ” _____ 20__ року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пількевич Ірині Миколаївні

1. Тема роботи: Максимальний стік весняного водопілля в басейні р.Південний Буг в умовах нестійкого клімату

керівник роботи: к.геогр.н., доцент Овчарук Валерія Анатоліївна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “ ___ ” _____ 20__ року №__

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: максимальні витрати та шари стоку весняного водопілля, тривалість водопілля, максимальні снігозапаси, опади, гідрографічні та морфометричні характеристики території.

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

1) вивчення фізико-географічних умов формування стоку в басейні р.Південний Буг;

2) проведення аналізу сучасного стану в області розрахунку максимального стоку весняного водопілля;

3) статистична обробка рядів максимальних витрат води, шарів стоку та максимальних снігозапасів;

4) обґрунтування параметрів розрахункової методики;

5) науково-методичні підходи до врахування глобальних змін клімату при розрахунках максимального стоку річок.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Фізико-географічна карта басейну р. Південний Буг, схема ландшафтно-гідрологічного районування України, ґрунтове районування території, карта рослинності, гідрометеорологічна вивченість території, карто-схеми розподілу шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Південний Буг У1%, розподіл середньобогаторічних максимальних запасів води в сніговому покриві, карта-схема тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі

р. Південний Буг, залежність коефіцієнту русло-заплавного регулювання та водообміну від площі водозбору, карто-схеми розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за різними сценаріями.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Вивчення фізико-географічних умов формування стоку в басейні р.Південний Буг.	31.10.2016-15.11.2016	98	відм
2	Просторове узагальнення характеристик максимального стоку весняного водопілля річок досліджуваної території.	16.11.2016-27.11.2016	97	відм
3	Рубіжна атестація	28.11.2016-04.12.2016	95	відм
4	Визначення розрахункових параметрів в структурі операторної формули.	05.12.2016-15.12.2016	96	відм
5	Перевірні розрахунки характеристик максимального стоку весняного водопілля з урахуванням можливих змін клімату.	16.12.2016-30.12.2016	96	відм
6	Оформлення магістерської роботи.	17.01.2017-26.01.2017	98	відм
7	Підготовка презентації та доповіді.	27.01.2017-05.02.2017	98	відм
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)		97	відм

Студент _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

(підпис)

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

до магістерської роботи І.М.Пількевич

«Максимальний стік весняного водопілля в басейні р.Південний Буг в умовах нестійкого клімату»

Актуальність теми. Сучасні зміни кліматичних характеристик ставлять важливі задачі по визначенню ймовірних змін у водному режимі річок. Актуальність вибраної теми полягає в оцінці сучасного стану та майбутніх змін у водному режимі однієї з найбільших водних артерій нашої країни - річки Південний Буг.

Мета і задачі дослідження. Розробка регіональної формули для розрахунку максимального стоку весняного водопілля для річки Південний Буг та оцінка його можливих змін у майбутньому.

Об'єкт і предмет дослідження. Максимальний стік весняного водопілля річок басейну Південного Бугу з метою отримання можливості розрахунку величин цього стоку виняткової ймовірності перевищення.

Використана методика дослідження. Операторна модель максимального стоку, заснована на теорії руслових ізохрон, науково-методичні підходи до оцінки змін клімату на максимальний стік річок.

Вихідні дані. Використовуються багаторічні матеріали спостережень мережі гідрометслужби України (максимальні витрати води та шари стоку), дані Центральної геофізичної обсерваторії та Українського Гідрометцентру, що отримані при використанні автоматизованої системи АРМгідро (запаси води в сніговому покриві).

Структура і обсяг роботи:

Структура: робота складається з 5 розділів, вступу і висновків.

Об'єм – 116 стор.

Рисунків – 30

Таблиць – 14

Кількість використаної літератури – 31

Ключові слова: *максимальний стік, весняне водопілля, снігозапаси, операторна модель, зміни клімату, репрезентативні траєкторії концентрації.*

SUMMARY

To masters work I.M.Pilkevych

« The maximal runoff of spring flood in the basin of the Southern Bug in unstable climate conditions»

Actuality of theme. The modern changes of climatic conditions put important tasks by estimation of possible changes in the water mode of the rivers. Actuality of the chosen theme consists in the estimation of the modern state and future changes in the water mode of one of largest water artery of our country - river South Bug.

The purpose and objectives of the study. An aim of work is development of regional formula for the calculation of maximal runoff of spring flood for the river South Bug and estimation of possible it changes in the future.

The object and subject of research. The object of study is a maximal runoff of spring flood of the rivers of basin South Bug with the aim of receipt of possibility of calculation of it values of exceptional probability of exceeding.

Used methodology of research : the operator model of maximal flow, based on the theory of river-bed isochrones, scientifically-methodical approaches to the estimation of changes of climate on the maximal runoff of the rivers.

The initial data. Long-term materials of observations of network of hydrometeorological service of Ukraine (maximal discharges of water and layers of flow), data of the Central geophysical observatory and Ukrainian hydrometeorological center, are used, using workstation of hydrologist ARM-hydro (supplies of water in the snow-cover).

The structure and scope of work:

Structure: work consists of five chapters, introduction and conclusion.

Volume – 116 pages.

Figures – 30

Tables – 14

Amount of the used references – 31

Keywords: maximal runoff, spring flood, snow supplies, statement model, changes of climate, representative trajectories of concentration.

ЗМІСТ

Вступ.....	8
1 Коротка фізико-географічна характеристика басейну р. Південний Буг.....	10
1.1 Географічне положення і рельєф.....	11
1.2 Ґрунти і рослинність.....	15
1.3 Клімат.....	18
1.4 Особливості водного режиму річок досліджуваної території....	31
1.5 Гідрометеорологічна вивченість басейну р. Південний Буг.....	35
2 Аналіз сучасного стану в області розрахунку максимального стоку весняного водопілля.....	39
2.1 Формули, які опираються на геометричну схематизацію схилового і руслового гідрографа.....	40
2.1.1 Редукційні формули.....	40
2.1.2 Об'ємні формули.....	44
2.2 Методи, засновані на гідромеханічних теоріях стоку.....	49
2.2.1 Генетичні моделі.....	49
2.3 Формули СНіП 2.01.14.83, СП 33-101-2003.....	54
2.4 Регіональна методика.....	56
2.5 Методика, яка пропонується для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля для річок басейну Південного Бугу.....	57
3 Статистична обробка рядів максимальних витрат води, шарів стоку та максимальних снігозапасів.....	60
3.1 Найбільш поширені криві розподілу, які застосовуються в гідрології.....	60
3.2 Методи визначення статистичних параметрів.....	63
3.2.1 Метод моментів.....	63
3.2.2 Метод найбільшої правдоподібності.....	69

3.3	Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води.	70
3.4	Статистична обробка рядів максимальних шарів стоку та максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля.....	73
3.5	Розрахунок максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля заданої вірогідності перевищення.....	76
3.6	Оцінка точності початкової інформації по максимальному стоку весняного водопілля.....	77
3.7	Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля та максимальних снігозапасів в межах досліджуваної території..	79
3.8	Сумарне надходження води у басейн р. Південний Буг в період весняного водопілля.....	82
4	Обґрунтування параметрів розрахункової методики.....	87
4.1	Визначення характеристик схилового припливу в басейні р.Південний Буг.....	87
4.1.1	Обґрунтування коефіцієнтів нерівномірності схилового припливу.....	87
4.1.2	Розрахунок та узагальнення за територією тривалості схилового припливу.....	89
4.2	Коефіцієнти стоку весняного водопілля.....	91
4.3	Трансформаційні функції максимального стоку.....	94
4.4	Коефіцієнт русло-заплавного регулювання і водообміну.....	97
4.5	Перевірочні розрахунки.....	99
5	Науково-методичні підходи до врахування глобальних змін клімату при розрахунках максимального стоку річок.....	102
	Висновки.....	112
	Література.....	114
	Додатки	

ВСТУП

Серед характеристик гідрологічного режиму річок максимальному стоку відведено особливе місце, внаслідок того виключного значення, яке він має при проектуванні та експлуатації гідротехнічних споруджень на річках.

Сучасні зміни кліматичних характеристик ставлять важливі задачі по оцінці ймовірних змін у водному режимі річок. Актуальність вибраної теми полягає в оцінці сучасного стану та майбутніх змін у водному режимі однієї з найбільших водних артерій нашої країни - річки Південний Буг.

Метою роботи є розробка регіональної формули для розрахунку максимального стоку весняного водопілля для річки Південний Буг та оцінка його можливих змін у майбутньому.

На території басейну Південного Бугу основну частку річного стоку річок складають талі води, що визначають значну роль весняного водопілля в дослідженнях загального режиму річок. Особливо велика увага приділяється дослідженням формування та розрахунку максимальних витрат, шарів та тривалості стоку. Всі ці характеристики порівняно легко визначити по матеріалам безпосередніх спостережень. При відсутності спостережень розрахунки їх базуються на вивчені загальних процесів формування весняного водопілля та факторів, що визначають його характеристики, які враховуються відповідними параметрами розрахункових формул.

У даній магістерській роботі досліджуються процеси формування максимального стоку річок басейну р.Південний Буг з метою отримання можливості розрахунку величин цього стоку виняткової ймовірності перевищення.

Перший розділ присвячений короткому фізико-географічному опису досліджуваної території.

У другому приводиться огляд сучасних методів розрахунку максимального стоку весняного водопілля.

У третьому розділі наводяться результати статистичної обробки вихідної інформації по максимальному стоку весняного водопілля і результати узагальнення її в межах басейну р.Південний Буг.

У четвертому розділі обґрунтовуються та узагальнюються параметри розрахункової методики.

У п'ятому розділі приводяться науково-методичні підходи до врахування глобальних змін клімату при розрахунках максимального стоку.

Тема магістерської роботи є складовою частиною науково-дослідної тематики кафедри гідрології суші ОДЕКУ «Розрахункові характеристики гідрологічного режиму річок України» (№ДР 0113U005797, 2013-2017 рр.).

Результати дослідження доповідались на науковій конференції молодих вчених ОДЕКУ 12 травня 2016 р., тези доповіді надруковані в матеріалах XIV наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Автор роботи стала переможцем у першому турі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт за напрямом «Гідрометеорологія» (посіла III місце) у 2015 році, була учасником 2-го туру, за результатами якого зайняла IV місце та отримала диплом «За високий науковий рівень», тези доповіді надруковані в матеріалах науково-практичної конференції з підведення підсумків II туру всеукраїнського конкурсу наукових робіт з напрямку «Гідрометеорологія».

В 2016 році наукова робота за результатами магістерського дослідження стала переможцем у першому турі Всеукраїнського конкурсу студентських наукових робіт за напрямом «Гідрометеорологія», рекомендована до участі у фіналі, який відбудеться у березні 2017р.

Магістерська робота була виконана на замовлення ГМЦ Чорного та Азовського морів (лист 18-05/93).

1 КОРОТКА ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА БАСЕЙНУ Р. ПІВДЕННИЙ БУГ

Південний Буг - річка на південному заході України, що протікає по території п'яти українських областей - Хмельницької, Вінницької, Кіровоградської, Одеської та Миколаївської. Це третя за величиною річка України, довжина якої - 806 км, площа басейну - 63700 км² [1].

Свій початок Південний Буг бере від витоків в Поділлі, на схід від Волочиська і в 90 км на захід Хмельницького. Витікає річка з боліт на Подільській височині і тече на схід через Вінницю, поблизу якої змінює напрямок на південний схід; разом з Дніпром утворює Дніпро-Бузький лиман і у міста Очаків впадає в Чорне море (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 - Географічне положення басейну р. Південний Буг.

Водозбір Південного Бугу охоплює річки Подільської та Придніпровської височини. Він налічує біля 300 річок. Найголовніші

притоки: Ров, Соб, Синюха з Гірським і Гнилим Тікичами, Ятрань, Чорний Ташлик, Мертвовод, Інгул [2].

Діапазон водозбірних площ охоплює басейни за розміром від 92,5 км² (р. Соб - с. Зозов) до 46200 км² (р. Південний Буг - смт Олександрівка).

Озерність та заболоченість басейну дуже незначні, і у більшості випадків складають не більше 1%. Коефіцієнт лісистості не перевищує 19 % (табл. 1.1).

Характеристика фізико-географічних умов формування району досліджень здійснена за літературними джерелами [1,3,4].

1.1 Географічне положення і рельєф

Річка Південний Буг належить до великих річок басейну Чорного моря, бере початок в піднесеній частині вільного подільського плато в 2 км на північний захід від с. Холодець Волочиського району Хмельницької області. Впадає в лиман Дніпро-Бугський, утворюючи нижче гирло р.Інгул (м.Миколаїв).

Відповідно до ландшафтно-гідрологічного районування, виконаного в Київському національному університеті імені Тараса Шевченка В.В.Гребенем в 2010 р. [3], розглядувана територія відноситься до лісостепової недостатньо зволоженої ландшафтно-гідрологічної зони (верхня і середня частина басейну Південного Бугу, до впадіння р.Савранки), Дністровсько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції (Подільсько-Придніпровський височинний ландшафтно-гідрологічний район, III-1-а), степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони (нижня частина басейну, нижче впадіння р.Савранки) і водозбори річок міжріччя Дністра і Південного Бугу), до Нижньобузько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції IV-1 і лише в крайній південній частині розглядуваної території – до Причорноморсько-Приазовської ландшафтно-гідрологічної провінції.

Таблиця 1.1 - Основні гідрографічні характеристики р. Південний Буг

№ п/п	Назва поста	F, км ²	L, км від витоку	I, ‰ річки	Hcp, м	fоз, %	fб, %	fl, %	fp, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Південний Буг - с. Пирогівці	827	76	0,7	320	<1	3	8	75
2	Бужок - смт Меджибож	698	72	0,8	320	<1	7	1	70
3	Іква - смт Стара Синява	439	45	1,2	310	1	4	5	70
4	Південний Буг - с. Лелітка	4000	152	0,6	320	<1	5	8	
5	Згар - смт Літин	692	59	1	320	3	11	13	65
6	Південний Буг - с. Сабарів	9010	235	0,4	310	<1	6	11	
7	Рів - с. Демидівка	1130	97	0,9	310	1	4	12	65
8	Соб - с. Зозів	92,5	13	3,2	290	2	0	3	75
9	Південний Буг - с. Тростянчик	17400	436	0,3	310	<1	4	11	
10	Савранка - с. Осички	1740	91	1,7	200	<1	2	15	65
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	753	67	2,3	190	<1	<1	8	70
12	Південний Буг - с. Підгір'я	24600	587	0,4		<1	3	14	
13	Кодима - с. Катеринка	2390	137	1,4	170	<1	1	11	75
14	Кодима - с. Обжила	145	12	5,6	230	<1	2	19	70
15	Синюха - с. Синюхін Брід	16700	99	1,3	190	<1	1	5	
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	117	1,3	200	<1	<1	2	75
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брід	1830	66	1,8	200	<1	<1	2	75
18	р.Циганка-с.Краснопілля	248	16	4,9	180	<1	1	12	75

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
19	Ятрань - с. Покотилове	2140	99	1,5	200	<1	<1	7	75
20	Велика Вись - с. Ямпіль	2820	156	0,7	180	<1	1	3	70
21	Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	82	1,4	210	<1	<1	5	70
22	Південний Буг - смт Олександрівка	46200	674	0,5		<1	2	9	
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	252	26	4,8	190	<1	<1	2	70
24	р.Чичиклія-с.Василівка	436	42	2,4	140	<1	0	<1	70
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	1190	93	2,1	110	<1	<1	<1	70
26	Тилігул - с. Нова-Українка	810	57	2,9	170	<1	0	<1	65
27	Громоклія - с.Михайлівка	1410	93	2	100	<1	<1	2	70
28	Інгул - с. Новогорожене	6670	236	0,6	150	<1	<1	1	
29	Інгул - с. Седнівка	4770	149	0,6	160	<1	<1	2	
30	Інгул - м. Кіровоград	840	38	1	170	<1	<1	2	75

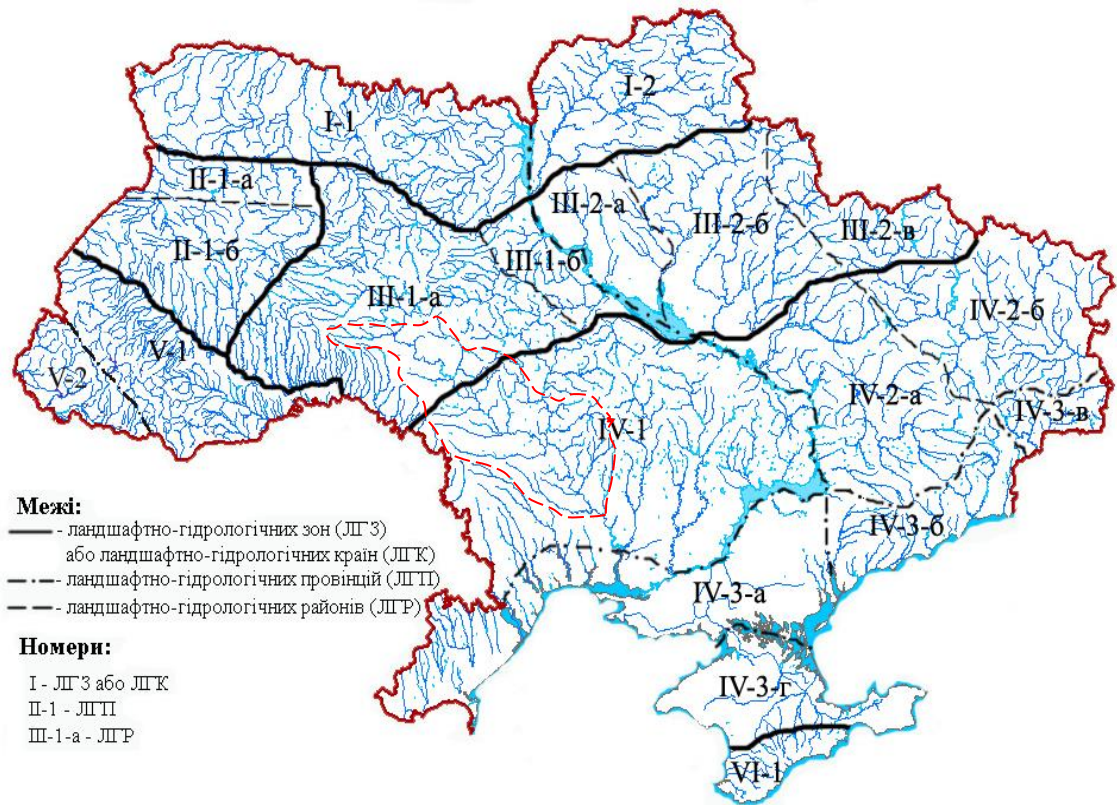


Рисунок 1.2 - Схема ландшафтно-гідрологічного районування України [3]

Територія відрізняється як за кількістю і співвідношенням тепла і вологи, характером атмосферної циркуляції (для ландшафтно-гідрологічних зон), так і за регіональними характеристиками кліматичного фону й орографічних елементів рельєфу та морфоструктури річкових басейнів (для ландшафтно-гідрологічних провінцій і районів). Так, для Дністровсько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції, району III-1-а (верхня і середня течії р. Південний Буг) характерним є чередування розвинутих підвищених ландшафтів (в межах Подільської і Придніпровської височин) з рівнинно-хвилястим рельєфом місцевості, добре розвинута річкова мережа (0,43-0,48 км/км²), невеликі похили річок (0,5-2,0 м/км), незначна залісеність водозборів, що в основному не перевищує 15% від площ басейнів, і невелика заболоченість території – до 10% (за винятком р.Згар – смт Літин) [1,3].

Територія Нижньобузько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції (нижня течія Південного Бугу та верхні і середні течії річок північно-західного Причорномор'я) характеризується поширенням

хвилястих рівнин і лесових височин, розвинутою яружно-балковою мережею при зменшенні з півночі на південь густоти річкової мережі та похилів річок, залісеністю басейнів – більшою в північній і північно-західній частині – в межах 5-19 % (рр. Синюха з притоками, Савранка, Кодима), меншою – в південних частинах (до 2%) та практичною відсутністю заболоченості [1,3].

До Причорноморсько-Приазовської ландшафтно-гідрологічної провінції (в межах району IV-3-а) належать пригирлові ділянки Південного Бугу і Причорноморські лимани, що розташовані на площах з плоским рівнинним рельєфом, який часто порушується великими замкненими пониженнями – блюдцями і подами. Річкова мережа слабо розвинута, а долини річок врізані на глибину лише 10-15 м. При плоских вододілах схили берегів перерізані яруго-балковою мережею [4].

У басейні Південного Бугу в межах Українського Кристалічного щита значно поширені відкладення полтавської свити – піски з лінзами і прошарками глин, що залягають на глауконітових пісках Харківського ярусу або більш старих відкладеннях.

У Причорномор'ї в гирлі Південного Бугу відомі вапняки, що залягають значно нижче за базис ерозії. Контур розподілу меотичних піщано-глинистих відкладень ще більше зміщується на південь, на північ від Білгород - Дністровського і на північ від Миколаєва. З північного кордону вони представлені піщано-глинистими відкладеннями, південніше – переважно глинистими.

1.2 Ґрунти і рослинність

Характеристика ґрунтового та рослинного покриву виконана за літературними джерелами [1,5].

Ґрунт. Ґрунти в верхній частині басейну представлені сірими лісовими суглинками. Центральну частину басейну вкривають опідзолені та типові

чорноземи. У нижній частині басейну знаходяться звичайні та південні чорноземи (рис.1.3).

У ґрунтово-кліматичному відношенні рівнинна територія р. Південний Буг відноситься до Лісостепової зони. До ґрунтоутворюючих порід зони Лісостепу в межах даного басейну відносяться четвертинні відкладення і продукти вивітрювання крейдових мергелів, що виходять на поверхню, третинних вапняків, піщаників, піски і щільні глини, а також продукти вивітрювання магматичних порід в межах поширення Українського кристалічного щита.

З четвертинних відкладень найбільш поширені леси, лесовидні породи різного генезису, механічного складу і різної міри карбонатності. Леси залягають двома-трьома ярусами на лесових рівнинах. По механічному складу вони бувають пиловато - легко суглинисті.

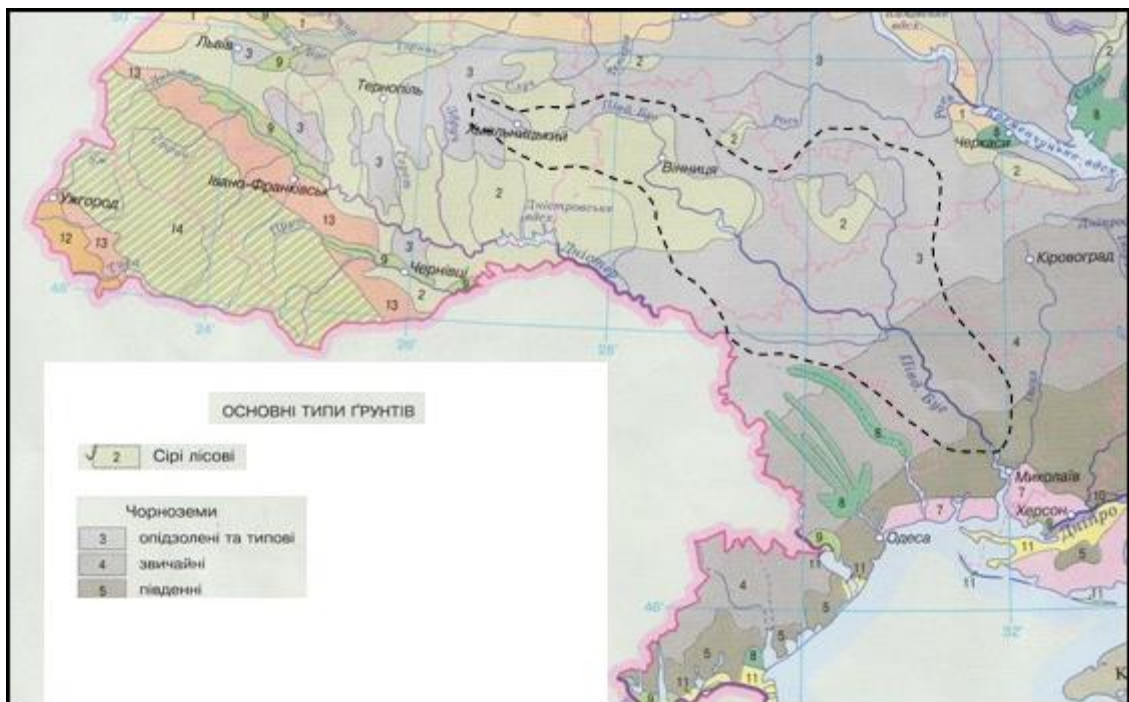


Рис. 1.3 - Карта ґрунтового покриття басейну р. Південний Буг [5]

З четвертинних відкладень, як ґрунтоутворюючі породи, поширені також делювіальні і алювіальні відкладення.

Делювіальні відкладення розвинені по долинах балок і річкових долинах. Алювіальні відкладення поширені в заплавах терасах, де вони часто мають легкий (піщаний, супіщаний) механічний склад, особливо на Українському Кристалічному щиті.

У долинах Південного Бугу ґрунти формуються на сучасних і старих алювіальних відкладеннях механічного складу.

Серед старих відкладень переважають піски і сучасний алювій переважно суглинний. У заплавах Південного Бугу значне поширення мають піщані і супіщані алювіальні відкладення. Пануючими ґрунтами в південних районах басейну річки (лісостепова зона) є чорноземи.

Карбонатність ґрунтоутворюючих порід в умовах не промивного водного режиму зумовили високу насиченість чорноземів кальцієм.

Рослинність. В межах лісостепової зони знаходиться велика частина басейну Південного Бугу. По географічному районуванню ця територія включає наступні округи: Дніпровсько - Бугський з дубовими лісами і луговими степами, правобережно-південно-західний з дубовими і грабово-дубовими лісами, лугові степи. Центральнo-подільський з грабово-дубовими, степові ділянки майже не збереглися Правобережно-центральної (з дубовими і грабовими лісами і луговими степами). Правобережно-північно-західний (з грабово-дубовими і дубовими лісами, лугами і луговими степами) (рис.1.4).

Територія характеризується сильною рослинністю, поширенням крутосхилових поверхонь, переважанням великих площ зернових культур, стрімким таненням снігів і частковими льодовиками. Природна рослинність займає лише 12% всієї площі, 11% доводиться на ліси, близько 1% на луки і 0,5% на болота. Степи збереглися лише на дуже незначних, непридатних ділянках ґрунту.

Грабово-дубові ліси поширені переважно в північних округах і складають близько 30% всіх лісів. Займають вони вододіли і пологі схили з ясно сірими ґрунтами.

Дубові ліси з округу Дніпровсько - Бугського складають близько 15% всіх лісів. Відносяться ці ліси до південних схилів і вододілів.

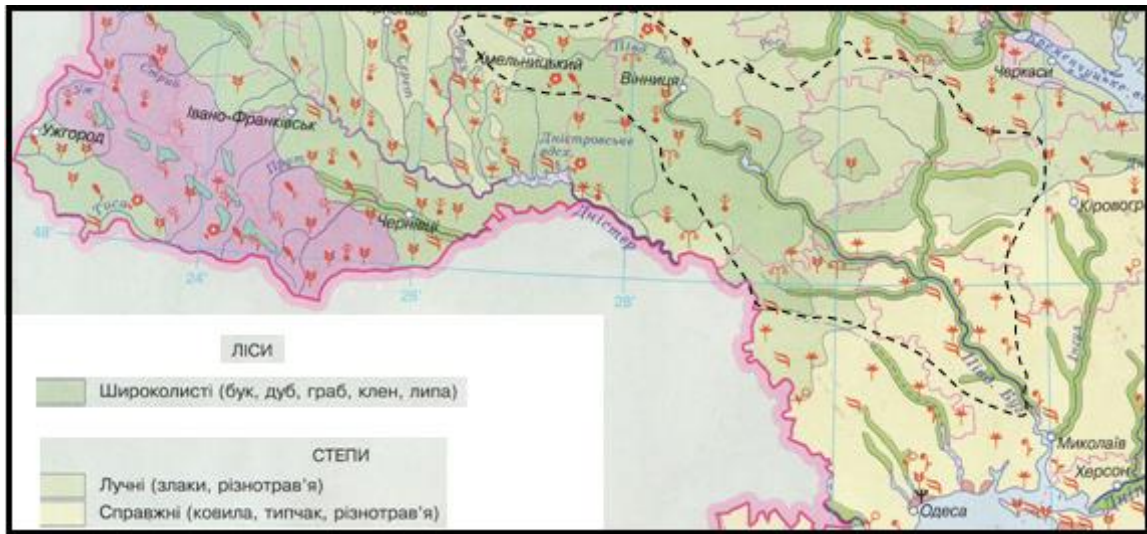


Рис. 1.4- Карта рослинного покриття басейну річки Південний Буг [5]

1.3 Клімат

Кліматична характеристика досліджуваної території надана за матеріалами Ресурсів поверхневих вод [1] та монографічних видань [6,8,9], а всі статистичні величини наведені як кліматична норма (1961-1990 рр.) за даними «Кліматичного кадастру» [7].

Територія описуваного району представляє дуже складну в кліматичному відношенні місцевість. У формуванні клімату велику роль грають Карпати, що займають південно-західну частину України. Висота над рівнем моря, велика пересіченість місцевості, напрям і експозиція схилів - все це сприяє своєрідному розподілу метеорологічних елементів у горах.

Описувана територія басейну Південного Бугу підпадає під дію теплих повітряних мас, які надходять з Середземного моря, а також частим входженням повітря з Атлантичного океану [1,4,6].

У холодний період посилюється роль циркуляційного чинника. У вересні - жовтні починає виявлятися дії відрогів підвищеного тиску, орієнтованих зі сходу. Тут вони обумовлюють похмуру погоду біля 0°C . Циклони, що переміщуються з Середземного і Чорного морів взимку, викликають інтенсивні снігопади і завірюхи на навітряних південно-західних і західних схилах Карпат. Північно-західні і західні циклони та улоговини проходять по північним ділянкам території, обумовлюючи інтенсивні снігопади, завірюхи і сильний поривчастий вітер.

Перехід до теплого сезону характеризується ослабленням відрогів східних антициклонів, поступовим припиненням арктичних дій і посиленням відрогів Азовського антициклону. У зв'язку з частою зміною повітряних мас весна тут не стійка - суха тепла погода змінювалася дощовою і прохолодною.

Влітку найбільшого розвитку досягають відроги і ядра Азовського антициклону, з яким зв'язані періоди сухої жаркої погоди. Над рівнинними районами території відбувається при цьому інтенсивна трансформація повітря.

Восени здійснюється перехід від літніх процесів до зимових. З другої половини жовтня і в листопаді через Україну часто проходять циклонні утворення північного заходу, заходу і південного заходу, обумовлюючи опади, ожеледь і сильний вітер.

Південні райони омиваються Чорним морем, яке впливає на клімат прибережних районів: влітку температура повітря тут нижче, взимку - вище, ніж в північних районах.

Температура повітря. Середня річна температура на даній території змінюється від $7,1^{\circ}\text{C}$ на півночі до $9,4^{\circ}\text{C}$ на півдні. Найхолодніший місяць січень. Його середня температура вагається від $-5,7^{\circ}\text{C}$ до $-3,6^{\circ}\text{C}$ (табл. 1.2).

Весна починається з переходом температури повітря через 0°C і руйнування стійкого снігового покриву. Весна настає близько 11.03 на півдні, потім просувається на північ, де настає близько 16-17.03. Найбільш жарка частина літа з середньою добовою температурою вище 15°C

Таблиця 1.2 – Середня місячна та річна температура повітря, °С [7]

<i>Хмільник</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середня	-5,7	-4,3	0,2	7,8	14,0	16,9	18,0	17,4	13,3	7,6	2,0	-2,6	7,1
Середнє квадратичне відхилення	3,8	3,4	3,0	1,8	1,6	1,5	1,3	1,2	1,3	1,5	2,1	2,2	0,9
Найбільш низька	-14,4	-14,1	-7,4	4,1	10,6	14,6	15,7	14,9	10,2	3,3	-4,1	-7,5	5,0
Рік	1963	1956	1952	1955	1980	1984	1979	1987	1959	1946, 1947	1993	1969	1940
Найбільш висока	0,4	3,0	6,0	11,1	16,6	21,5	21,9	20,8	15,8	11,4	5,6	2,8	8,8
Рік	1975	2002	1990	1950	1975	1964	1959	1946	1975	1966	1969	1960	1990

<i>Гайсин</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середня	-5,5	-3,9	0,7	8,6	14,8	17,7	19,0	18,2	13,9	7,9	2,4	-2,1	7,6
Середнє квадратичне відхилення	3,9	3,5	3,0	1,9	1,5	1,5	1,3	1,3	1,2	1,5	2,1	2,2	1,0
Найбільш низька	-15,4	-13,5	-6,9	4,2	11,6	15,7	16,8	15,6	11,1	4,0	-4,4	-7,2	5,7
Рік	1963	1954	1952	1955	1941	1949, 1984	1979	1976	1959	1946, 1947	1993	1963	1940
Найбільш висока	1,1	2,9	6,7	11,7	17,6	22,0	24,8	22,6	16,5	11,1	5,9	3,4	9,5
Рік	1936	2002	1990	1950	1958	1964	1936	1946	1975	1966	1990	1960	1989

<i>Сербка</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середня	-3,6	-2,2	2,2	9,6	15,8	19,5	21,3	20,9	16,3	9,8	4,0	-0,5	9,4
Середнє квадратичне відхилення	3,4	3,2	2,7	1,9	1,5	1,4	1,4	1,4	1,3	1,7	2,1	2,1	0,9
Найбільш низька	-11,9	-13,3	-4,1	5,5	13,0	16,7	19,2	17,6	13,3	5,5	-3,2	-7,0	7,3
Рік	1963	1954	1987	1933	1933	1933	1984	1976	1959	1947	1993	1933	1933
Найбільш висока	2,2	4,0	8,1	12,5	18,9	22,8	27,1	24,7	19,6	13,6	7,6	5,6	11,0
Рік	1936	2002	1990	1972	1958	1946	1936	1946	1937	1966	1990	1960	1989, 1990

продовжується 3-4 місяці, приблизно з другої декади (на півдні) до останньої декади серпня.

Настання осені пов'язане з переходом температури через 10°C . Триває осінь 2-3 місяці. У другій половині осіннього періоду можливі потепління, для пізньої осені характерна похмура погода. Протягом другої половини листопада осінь переважає нестійкою погодою, частими туманами, ожеледями та короткочасними утвореннями снігового покриву.

Перехід температури повітря через 0°C восени на півночі території відбувається у другій-третьій декадах листопада, а на півдні – у другій-третьій декадах грудня. При цьому, як і весною, відзначається поступове зміщення дат переходу через 0°C до більш ранніх строків. Перший сніговий покрив майже на всій території з'являється в листопаді, і лише на півдні – в першій декаді грудня.

Найбільш холодна частина зими збігається з переходом температури повітря через -5°C , що зазвичай відбувається в першій декаді січня. Зима триває 2-3 місяці. Найбільш низькі температури спостерігаються дуже рідко, у виключно холодні зими і, як правило, поширюються на велику територію.

Абсолютний мінімум температури повітря більшою мірою, чим середні місячні і навіть середні мінімальні температури, залежить від місцевих умов, особливо від форми рельєфу. У замкнених пониженнях рельєфу абсолютні мінімуми в зимові місяці можуть бути на декілька градусів нижче, ніж на поруч розташованих підвищеннях рельєфу. Абсолютні мінімуми доводяться на січень і лютий місяць і досягають на півночі -32°C (табл. 1.3).

У теплий період року подібні відмінності зменшуються унаслідок меншої тривалості вихолодження в короткі літні ночі.

Абсолютні максимальні температури змінюються від року до року в меншій мірі, чим мінімальні. Абсолютний максимум температури досягає $38,7^{\circ}\text{C}$ (табл. 1.4).

Таблиця 1.3 – Абсолютний мінімум місячної та річної температури повітря, °С [7]

<i>Хмільник</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-8,6	-7,2	-2,9	3,5	8,8	11,8	13,1	12,5	8,8	3,9	-0,4	-5,0	3,2
Середнє квадратичне відхилення	4,4	3,9	3,0	1,5	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,6	2,3	2,4	0,9
Середній з абсолютних	-19,6	-18,4	-12,6	-2,6	1,7	6,4	8,5	6,6	2,1	-4,0	-8,8	-16,6	-22,8
Середнє квадратичне відхилення	5,6	6,1	6,7	1,8	1,9	1,9	1,4	1,9	2,2	1,9	4,5	4,8	4,2
Абсолютний	-33,2	-29,7	-24,6	-7,7	-1,9	2,9	5,9	2,1	-4,3	-11,3	-20,3	-27,4	-33,2
Рік	1950	1956	1962	1963	1947	1990	1984	1966	1977	1947	1965	1969	1950
Дата	11	11	21	4	5	1	5	30	29	27	19	31	11.I

<i>Гайсин</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-8,7	-7,0	-2,7	3,7	8,8	12,0	13,3	12,4	8,4	3,6	-0,4	4,8	3,2
Середнє квадратичне відхилення	4,6	4,1	3,0	1,6	1,3	1,0	1,1	1,1	1,0	1,7	2,2	2,6	1,0
Середній з абсолютних	-20,0	-18,3	-12,3	-2,5	1,9	6,1	8,4	6,2	1,2	-4,9	-8,3	-16,0	-22,8
Середнє квадратичне відхилення	5,5	6,5	6,2	2,1	2,3	2,1	1,5	1,9	2,4	2,0	4,0	4,5	4,7
Абсолютний	-31,3	-30,5	-24,5	-10,4	-2,9	2,0	5,6	2,7	-5,4	-10	-22,2	-25,3	-31,3
Рік	1950	1937	1964	1963	1965	1951	1976, 1987	1966	1977	1988	1942	1969	1950
Дата	11	1	9	4	5	1	8,7	30	29	27	16	31	11. I

<i>Сербка</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-6,5	-5,1	-1,3	4,5	9,8	13,5	15,4	14,8	10,6	5,2	0,9	-3,3	4,9
Середнє квадратичне відхилення	3,6	3,4	2,3	1,3	1,2	1,0	1,1	1,2	1,0	1,8	2,1	2,4	0,8
Середній з абсолютних	-17,7	-14,4	-9,8	-1,8	2,9	7,8	10,4	8,7	2,9	-3,8	-7,5	-13,4	-19,6
Середнє квадратичне відхилення	4,8	5,2	4,9	1,8	2,2	1,7	1,4	1,7	2,4	2,2	4,2	4,4	3,8
Абсолютний	-28,9	-28,0	-22,0	-8,0	-1,6	2,9	8,0	4,9	-5,4	-9,5	-15,7	-23,3	-28,9
Рік	1940	1954	1985	1965	1940	1937	1964	1970	1977	1946	1983	1969	1940
Дата	11	23	2	4	1	1	4,9	29	29	26	25	31	11. I

Таблиця 1.4 – Абсолютний максимум місячної та річної температури повітря, °С [7]

<i>Хмільник</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-2,6	-1,1	4,0	13,0	19,7	22,5	23,6	23,2	19,0	12,4	4,9	0,0	11,6
Середнє квадратичне відхилення	3,1	3,1	3,5	2,3	1,8	1,8	1,5	1,5	1,9	1,7	2,3	1,9	1,0
Середній з абсолютних	4,8	6,5	14,1	22,6	26,5	29,3	30,2	29,9	26,6	20,7	13,0	7,4	31,1
Середнє квадратичне відхилення	2,6	4,0	4,9	2,8	2,0	2,3	1,8	2,0	2,3	2,2	2,9	2,4	1,8
Абсолютний	9,9	17,7	22,7	29,0	31,0	35,4	34,2	35,2	31,4	27,7	19,5	13,7	35,4
Рік	1990	1990	1974	1950	1950	1963	1951	1952	1944	1952	1963	1947	1963
Дата	28	26	22	22	27	29	13	17	8	2	4	3	29.VI

<i>Гайсин</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-2,0	-0,5	5,0	14,5	21,3	23,9	25,2	24,9	20,5	13,5	5,7	0,8	12,7
Середнє квадратичне відхилення	3,3	3,1	3,6	2,5	1,8	1,7	1,6	1,6	1,9	1,8	2,3	2,0	1,0
Середній з абсолютних	5,9	7,5	15,6	23,8	28,8	30,7	31,8	31,4	27,9	22,1	13,7	8,4	32,8
Середнє квадратичне відхилення	3,2	4,3	5,0	2,7	2,4	1,8	1,9	1,7	2,3	2,1	3,0	2,9	1,5
Абсолютний	13,2	19,1	23,1	28,4	33,0	35,5	38,0	37,6	33,0	26,7	19,3	13,9	38,0
Рік	1984	1990	1968	1950	1985	1963	1936	1946	1944, 1946	1952	1962	1986	1936
Дата	4	26	31	22	9	29	30	20	9,7	2	1	6	30.V II

<i>Сербка</i>	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	рік
Середній	-0,4	1,1	6,6	15,5	21,9	25,6	27,5	27,3	22,5	15,2	7,7	2,4	14,4
Середнє квадратичне відхилення	3,2	3,3	3,5	2,6	1,9	1,9	1,8	1,8	1,7	1,9	2,4	2,0	1,1
Середній з абсолютних	8,4	9,0	17,2	23,8	28,7	31,8	33,7	33,2	30,0	23,2	16,1	10,5	34,8
Середнє квадратичне відхилення	3,2	4,7	4,0	2,5	2,0	2,2	2,1	2,2	2,5	2,3	3,1	2,6	1,6
Абсолютний	14,0	20,8	24,7	27,7	34,2	36,3	39,0	37,9	34,6	28,2	22,7	15,5	38,7
Рік	1984	1990	1947	1968	1969	1975	1936	1938	1968	1932, 1952	1963	1960, 1989	1936
Дата	4	26	31	23	17	22	29	1	17	1	17	17,1	29.VII

В період крутого підйому температури (березень — травень) абсолютні її максимуми спостерігаються зазвичай у кінці місяця, а в періоди пониження температури восени — на початку місяця.

Абсолютний максимум в північній частині водозбору спостерігався в серпні - 35,4°C, в центрі - 38°C, в липні, а в південній частині - 39°C в серпні.

Настання першого морозу в ґрунті значно запізнюється, порівняно з повітрям. Восени ж морози в ґрунті припиняються раніше, ніж у повітрі.

Опади. Однією з найважливіших складових формування гідрологічного режиму річок є *опади*. Територія, що досліджується, характеризується недостатнім режимом зволоження. Атмосферні опади, у тому числі й у вигляді снігу, відрізняються значною мінливістю (як по роках, так і у просторі).

Річні суми опадів вагаються від 373 мм на півдні до 506 мм на півночі (табл.1.5). В окремі періоди можуть спостерігатися засухи.

Таблиця 1.5 – Середня місячна і річна кількість рідких (Р), твердих (Т) і змішаних (З) опадів (мм) [7]

Вид опадів	I	II	III	IV	X	XI	XII	Рік
Хмільник								
Р	5	5	9	38	31	30	7	506
Т	22	17	13	4	1	7	21	85
З	12	11	8	7	2	6	14	62
Гайсин								
Р	5	6	11	34	28	28	7	448
Т	23	21	14	4	1	6	22	91
З	13	13	10	6	2	7	14	67
Сербка								
Р	11	9	7	30	22	28	20	373
Т	14	8	8	1		2	7	40
З	6	12	11	3	1	4	10	47

На даній території в перебігу всього року атмосферні опади визначаються головним чином циклонною діяльністю. У літній період істотну роль грають і внутрішньо масові опади, пов'язані з розвитком конвекції. На побережжі Чорного моря випадає найменша кількість опадів.

У Південному степу за рік випадає 400 мм опадів, а на самому побережжі Чорного моря - близько 300 мм.

Південно-західні схили отримують приблизно на 100 мм більше, ніж північно-східні на тих же висотах.

З річної кількості опадів на фактичний холодний період доводиться приблизно 20 - 25%, а на теплий 75 - 80% річної суми опадів. У теплий період кількість опадів змінюється від 200 мм на крайньому півдні до 400 - 500 мм на заході, тобто кількість опадів зменшується з північного заходу на південний схід більш ніж у два рази. На західному і частково південному навітряних схилах Волино - Подільської височини опадів випадає помітно більше, ніж в навколишніх районах. На Україні спостерігається континентальний тип річного ходу опадів з максимумом влітку. У місяць максимуму опадів, їх кількість по території вагається в межах 40-160 мм, у місяць мінімуму переважає кількість опадів 20-100 мм. Середня річна амплітуда опадів (різниця між максимальною і мінімальною середньою місячною сумою) вагається від 20 до 120 мм. Зміна місячних сум опадів по території в холодний період року менше, ніж у теплий.

У рівнинній частині України кількість опадів, що випали за добу, складає 150-175 мм в різних фізико-географічних зонах. На побережжі абсолютні максимуми за добу складають найменші суми в порівнянні з іншими районами України, а саме 110 - 150 мм.

Розподіл опадів по території залежить не лише від загально циркуляційних чинників, але й від підстильної поверхні. На розподіл опадів впливають висота місця, форми наявності лісових масивів, водоймищ і річкових долин.

Сніговий покрив. Сніговий покрив у межах досліджуваної території характеризується значною нестійкістю. Строки випадіння і сходу снігового покриву, тривалості його накопичення значною мірою залежать від погодних умов і з року в рік можуть сильно варіювати, помітно відрізняючись від середніх багаторічних значень.

Перший випавший сніг лише в окремих випадках зберігається всю зиму; найчастіше він сходить повністю, а потім утворюється новий.

Перший сніговий покрив з'являється в листопаді, а на півдні – в першій декаді грудня. Стійкий сніговий покрив утворюється 26-28 грудня. На півдні території стійкий сніговий покрив спостерігається менше як в 25% зим. Середнє число днів зі сніговим покривом становить 69 – 79 днів, на півдні – 33 дні, але в окремі роки може досягати 108-122 днів, на півдні - 70 днів.

Найменша тривалість снігового покриву становить 27-38 днів, на півдні – 6 днів (Сарата, 1982-1983 рр.). При переході температури повітря через 0°C навесні починається сніготанення (табл.1.6). Дати початку сніготанення на півдні території припадають на початок березня; на півночі - на кінець першої – другу декаду березня.

Таблиця 1.6 - Дати переходу температури повітря через 0°C (1961-2000 рр.)

Природні Райони	1961-1970		1971-1980		1981-1990		1991-2000	
	весна	осінь	весна	осінь	весна	осінь	весна	осінь
Лісостепова зона								
Дністровсько-Дніпровський Лісостеп	19.ІІІ	1.ХІІ	12.ІІІ	26.ХІ	12.ІІІ	23.ХІ	7.ІІІ	13.ХІ
Степова зона								
Дністровсько-Дніпровський Північний Степ	18.ІІІ	29.ХІ	14.ІІІ	26.ХІ	14.ІІІ	19.ХІ	10.ІІІ	9.ХІ
Середній і Південний Степ	4.ІІІ	25.ХІІ	2.ІІІ	1.І	3.ІІІ	31.ХІІ	28.ІІ	16.ХІІ

Руйнування стійкого снігового покриву в середньому по території відбувається 1-5 березня, хоча в окремі роки дата руйнування стійкого снігового покриву може коливатися від 14 січня до 2 квітня.

Глибина промерзання ґрунтів визначається, головним чином, тривалістю морозного періоду і мінімальними мінусовими значеннями температур повітря. Поряд із цим й інші чинники, які діють у комплексі, також мають суттєвий вплив на ступінь промерзання ґрунтів. До них відносяться висота і тривалість залягання снігового покриву, характер покриття місцевості снігом.

На описуваній території промерзання ґрунтів можливе вже в листопаді і на деяких станціях може досягати 5-8 см. Проте на більшості території промерзання їх починається в грудні. Найбільших значень глибина промерзання ґрунтів досягає у першій-другій декаді лютого, а іноді спостерігається вже у січні (1984, 1989, 1999, 2008, 2009рр.). У березні промерзання ґрунтів можливе лише в окремі роки (наприклад, 1982, 1985, 1983, 2001, 2003 рр.).

Відтанення ґрунтів частіше усього починається в березні - після сходу снігового покриву. Іноді в теплі зими ґрунти відтають під сніговим покривом.

Фактором проникності ґрунтів на водозборі в період весняного сніготанення є максимальна глибина промерзання ґрунту. Найбільші глибини промерзання ґрунтів в середньому спостерігаються в верхніх і центральних частинах басейну Південного Бугу – 43-59 см, при найбільших своїх величинах (до 89-124 см, наприклад, взимку 1969, 1972, 1976, 1978, 1979, 1985 рр.). Дещо меншими середні з максимальних глибин промерзання відмічаються в південній частині території (30-41 см, при найбільших значеннях – 65-88 см). В роки останніх десятиріч при регіональному підвищенні зимових температур повітря максимальні глибини промерзання ґрунтів на водозборах, навіть у холодні зими (1996-1998, 2003, 2006 рр.), не перевищують 40- 60 см.

Вологість ґрунтів на водозборі визначається їх осіннім зволоженням (зазвичай у шарі 0-100 см) і наявністю зимових відлиг, що супроводжуються сніготаненням, випадінням дощу та снігу, створенням іноді крижаної кірки на поверхні ґрунту, яка зменшує водопроникність річкового басейну. Зазвичай у зонах недостатнього зволоження (при незначному осінньому насиченні ґрунтів) під час відлиги тало-дошова вода встигає проникнути в ґрунти і поповнює їх вологозапаси.

1.4 Особливості водного режиму річок досліджуваної території

Водний режим визначається кліматичними, гідрогеологічними, орографічними і гідрографічними особливостями території [1,3,10]. 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, маловодністю і значною тривалістю; осінні підйоми спостерігаються після обложних дощів. Інколи межінь порушується невеликими дощовими паводками. Річний хід рівня на річках різних гідрологічних районів неоднаковий.

Ранні терміни початку підйому рівня весняного водопілля випереджають середні на 1 – 1.5 місяця, а пізні запізнюються всього на один-два тижні. Водопілля не рідко проходить декількома хвилями, особливо при ранньому скресанні річки і поверненнях холодів. Інколи водопілля ускладнюється і посилюється весняними дощами, і в таких випадках другий пік водопілля значно перевищує перший. Найчастіше найвищими за рік є рівні дощових паводків, і лише в роки із значними снігозапасами і в посушливі роки, коли влітку опадів випадає менше норми, весняний максимум перевищує максимум дощових паводків. Найвищі рівні на малих річках зазвичай у другій - третій декаді березня, на середніх і великих — у

кінці березня - початку квітня. Середня інтенсивність підйому рівня при високому водопіллі на великих і середніх річках досягає 40-150 см/добу, на малих річках - 10-15 см/добу, а при низькому водопіллі всього 5-10 см/добу, весняним водопіллям, що продовжується в середньому близько 1,5-2 місяці, слідує літні паводки.

Водність водопілля по роках різна і коливається у великих межах. Виключно висока повинь спостерігалася в 1932, 1941 і 1956 роках, виключно низьке - в 1936, 1954, 1972, 1975 та 2007 роках [3]. За остаточним спадом рівнів настає період стійкої межені, переривається підйомом рівнів під час проходження літньо-осінніх зливових паводків. В басейні річки Південний Буг спостерігаються зимові паводки, які є наслідком сніготанення та розтину річок під час зимових відлиг. Підйом рівнів у період літніх паводків в окремі роки перевищує їх підйоми в період весняного водопілля.

Для ілюстрації поточного водного режиму на рис.1.5 представлені гідрографи середньодекадних витрат на посту Олександрівка за 2003-2014 роки .

Аналізуючи гідрографи за останнє десятиріччя, можна відмітити що останнє значне водопілля спостерігалася в 2003 році, а в інші роки, крім 2005 та 2006, водопілля практично не спостерігалася.

Річки басейну верхньої і середньої течії Південного Бугу (в межах Дністровсько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції лісостепової недостатньо зволоженої ландшафтно-гідрологічної зони [9]) характеризуються вираженим весняним водопіллям і низькою меженню, яка у різних ступенях порушується літніми та зимовими паводками внаслідок випадіння дощів влітку і танення снігу під час відлиг. Головним джерелом живлення річок у весняний період є сніготанення, але ж не виключено випадіння дощів.

Водопілля в верхів'ї і середній частині Південного Бугу (до впадіння р.Савранки) та його притоках в середньому за багаторічний період починається 2-4 березня. Найбільш рання із середніх дат початку водопілля

відзначена в пункті Південний Буг – с. Тростянчик (1 березня), а найбільш пізня (6 березня) – в пункті Південний Буг – с.Пирогівці. В деякі роки дати початку водопіль на річках спостерігалися у січні (1948, 1955, 2002 рр.), а найбільш пізні – в перших числах квітня (1980, 1996 рр.).

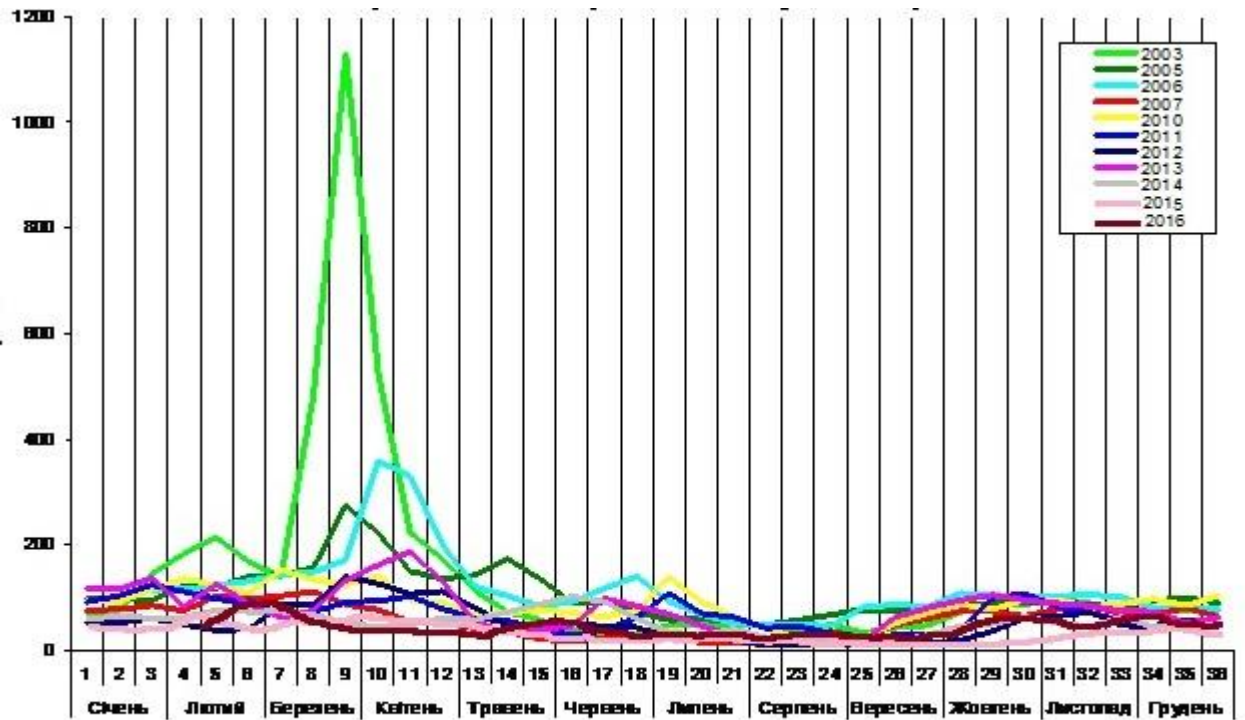


Рисунок 1.5 - Гідрографи середньодекадних витрат по гідропосту Олександрівка за 2003-2016 роки

Проходження максимальних витрат води в середньому по басейну в межах лісостепової зони спостерігається в другій декаді березня, у верхів'ї Південного Бугу – 19-21 березня, нижче за течією та його притоках – 15-18 березня. Триває водопілля, у середньому за багаторічний період, від 38-43 до 51-59 діб.

Закінчення водопілля в басейні р. Південний Буг залежить від площ водозборів річок але в середньому припадає на другу-третю декади квітня.

Річки нижньої течії Південного Бугу та Інгулу протікають в межах Нижньобузько-Дніпровської ландшафтно-гідрологічної провінції степової посушливої ландшафтно-гідрологічної зони, яка характеризується

посушливим кліматом, несталим зимовим режимом з нестійким сніговим покривом (у зв'язку з частими відлигами), які призводять до часткового або повного танення снігу і формуванню зимових паводків різної інтенсивності та водності. За рахунок таких умов весною часто формуються невисокі водопілля з максимальними витратами води, часто нижчими за зимові паводки у січні-лютому.

Початок весняних водопілля в басейнах нижньої течії Південного Бугу й Інгулу відноситься в різні роки до другої-третьої декад лютого-першої декади березня, при середніх строках – 24-28 лютого.

Тривалість водопілля спостерігається порядку 1,5-2 місяців (42-60 діб), за винятком замикаючого створу р.Півенний Буг – смт Олександрівка, де водопілля в середньому продовжується до 68 діб. Пік водопілля на річках припадає на середину березня, а на півдні - й першу декаду цього місяця. Водопілля нерідко проходять декількома хвилями. У періоди зимових відлиг спостерігаються паводки висотою до 1,5 м і більше.

Річки південної частини Причорномор'я та деякі лівобережні притоки нижньої течії Південного Бугу (рр.Чичиклія, Гнилий Єланець та ін.), що розташовані в межах Нижньобузько-Дніпровської і Причорноморсько-Приазовської ландшафтно-гідрологічних провінцій степової посушливої зони, характеризуються періодичним стоком під час сніготанення і випадання інтенсивних дощів. Весняне водопілля буває майже щорічно. Частка його у річному стоці становить 40-61% і, навіть, 90% (на р. Гнилий Єланець – с. Женево-Криворіжжя, табл.5). Початок водопілля на річках припадає в середньому на третю декаду лютого, а вищий весняний рівень води спостерігається найчастіше в першій декаді - середині березня. Тривалість водопілля становить 40-45 днів, але в окремі роки може досягати 70-89 днів.

Басейн Інгулу характеризується добре вираженим весняним водопіллям, яке починається в середньому в третій декаді лютого. Найбільш ранні дати початку водопілля приходяться на першу декаду січня, а

найпізніші – на третю декаду березня. Тривалість водопілля в басейні складає 40-51 діб [11]. Весняний пік проходить в період 6 – 13 березня, але часто гідрографи водопіль мають декілька хвиль.

Після проходження водопілля малі річки, як правило, пересихають, причому пересихання нерідко триває до наступного сніготанення.

1.5 Гідрометеорологічна вивченість басейну р. Південний Буг

Форма басейну неправильна, грушовидна у верхів'ї різко звужена; у середній і нижній частині басейн різко асиметричний. Середня висота водозбору у верхів'ях 500 – 320 м, в пониззі 50 - 20 м. Річкова мережа має видний рисунок; середня густина її близько 0,35 км/км², в басейнах деяких річок перевищує 0,6 – 0,7 км/км².

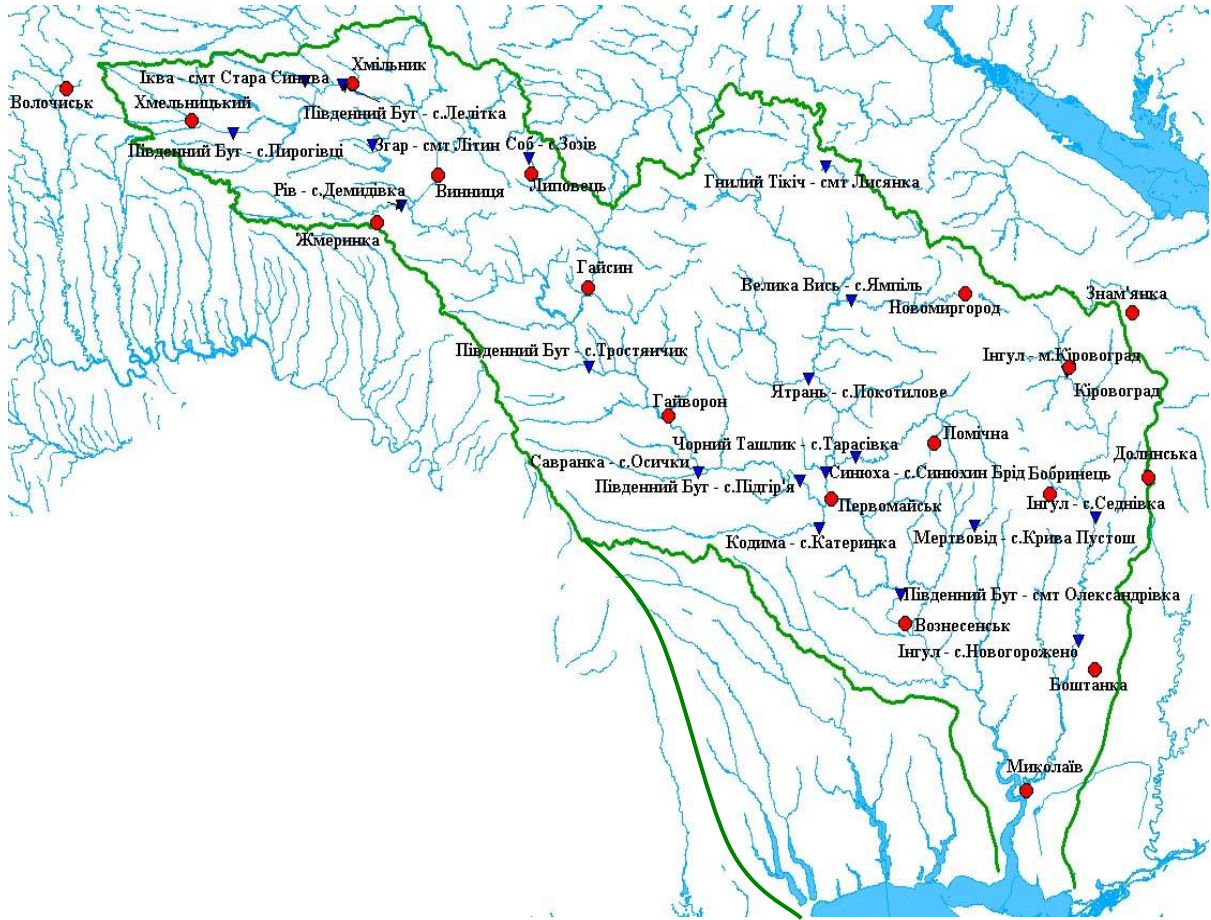
Більше 97% водоймищ є неглибокими озерами, водосховищами і ставками невеликих розмірів з площею повного дзеркала в межах 0,1 - 0,5 км². Заплавні озера в основному малих розмірів, проте, зустрічаються, але великі в десятки і сотні гектарів; одні з них округлі, вальні, інші — вузькі, витягнуті. Залежно від фази водного режиму глибина їх піддається істотним змінам. Найбільш повноводні вони навесні, влітку сильно усихають. Проте в окремих водоймищах навіть влітку зберігаються глибини, що перевищують 10 - 12 м. Дно їх переважно піщане, покрите мулом різної потужності. Фізико-географічні умови не сприяють розвитку боліт в описуваному районі.

Гідрологічна вивченість території в загальному задовільна.

Важливим показником гідрологічної вивченості території є тривалість стокових спостережень на річках, яка змінюється (станом на 2010 р.) в діапазоні від 7 років (рр.Гірський Тікич – Юрпольська ГЕС) до 97 років (р.Південний Буг – смт Олександрівка).

Діапазон водозбірних площ охоплює басейни за розміром від 36,5 км² (р.Південний Буг – с.Чорнява) до 46200 км² (р.Південний Буг – смт Олександрівка).

Гідрологічна вивченість території в загальному задовільна, про що можна судити за рис.1.5 і табл.1.7.



▼ – гідрологічний пост; ● – метеорологічна станція

Рисунок 1.6 – Гідрометеорологічна мережа спостережень в басейні р.Південний Буг

В цілому на досліджуваній території на 21 постах ряди спостережень більше 50 років; на 9 постах гідрологічні ряди також достатньо тривалі і становлять 30-50 років. Ряди тривалістю 21-30 років є на 5 постах, а менше 20 років – на 17 постах (табл. 1.7).

Вихідними матеріалами по характеристиках весняного водопілля були прийняті багаторічні дані по 30 гідрологічних постах, які мають тривалі часові ряди стокових спостережень. Перелік гідропостів у басейні річки Південний Буг вказані у додатку А.1.

Таблиця 1.7 – Розподіл водозборів по тривалості спостережень
і величині їх площ

Площа водозбору, км ²	Кількість гідрологічних постів з періодом спостережень						Всього
	≤10	11 - 20	21 - 30	31 - 40	41 - 50	≥ 50	
≤ 100	-	2	1	-	-	1	4
101 – 1000	3		1	3	2	5	14
1001 – 5000	2	3	3	-	3	9	20
5001 – 10000	1	-	-	-	-	2	3
10001 – 20000	1	2	-	-	-	2	5
20001 – 50000	1	2	-	1		2	6
Всього	8	9	5	4	5	21	52

Замикаючим створом на Південному Бузі є гідрологічний пост Олександрівка, на якому спостереження ведуться з 1914 року. Середня багаторічна витрата води тут становить 91м³/с або 2870 млн.м³/рік. Максимальна витрата води зафіксована 08.04.1932 – 5320 м³/с.

Спостереження за метеорологічними та агрометеорологічними характеристиками весняного водопілля (температурою повітря, опадами, запасами води в сніговому покриві, глибиною промерзання ґрунтів, запасами продуктивної вологи в шарі ґрунту) здійснюють 29 метеостанцій, список яких надається у табл.1.8, а схема розташування – на рис.1.5. Снігозйомки відбуваються також на 11 метеопостах, причому 9 з них ведуть й вимірювання опадів.

Таблиця 1.8 – Список метеорологічних станцій і постів

№ з/п	Індекс	Пункт
1	2	3
1	33429	Хмельницький
2	33439	Хмельник
3	33446	Білопілля
4	33562	Вінниця

Продовження таблиці 1.8

1	2	3
5	33564	Жмеринка
6	33577	Гайсин
7	33581	Жашків
8	33586	Звенигородка (Озерна)
9	33587	Умань
10	33593	Сміла
11	33598	Новомиргород
12	33686	Гайворон
13	33699	Первомайськ
14	33705	Помічна
15	33761	Любашівка
16	33777	Вознесенськ
17	53201	Крижопіль
18	53202	Липовець
19	33717	Бобринець
20	33719	Долинська
21	33788	Баштанка
22	81446	Кіровоград
23	33759	Затишшя
24	33833	Сербка
25	33834	Роздільна
26	33837	Одеса
27	33887	Болград
28	33889	Ізмаїл
29	33896	Сарата
30	81346	Пирогівці
31	81363	Підгір'я
32	81381	Стара Синява
33	81386	Літин
34	81417	Синюхін Брід
35	81430	Ямпіль
36	81433	Покотилове
37	81801	Олександрівка
38	81803	Прибужани
39	81449	Седнівка
40	81450	Новогорожено

2 АНАЛІЗ СУЧАСНОГО СТАНУ В ОБЛАСТІ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

Соколовський Д.Л. узагальнив розрахункові формули максимальних витрат весняного водопілля, та поділив їх на дві основні групи за областю застосування [12]:

1) редуційні формули, що відображають в явній формі редуцію (зменшення) модулів максимального весняного стоку із збільшенням площі водозбору;

2) об'ємні формули, що виражають максимальну витрату як функцію об'єму водопілля, її тривалості і геометричної форми.

Редуційні формули максимальних витрат весняного водопілля засновані на емпірично поміченому факті убування максимальних модулів весняного стоку із збільшенням площі водозбору і являються серед формул максимальних витрат весняного водопілля найбільш поширеними. Їх можна розбити на дві підгрупи:

а) емпіричні формули загального вигляду, які відображають зворотну степенну залежність модулів максимального весняного стоку від одного аргументу – площі водозбору або від багатьох аргументів (багатофакторні емпіричні формули);

б) напівемпіричні формули, що визначають максимальний модуль стоку залежно від максимальної інтенсивності сніготанення, шару і площі водозбору, або часу добігання.

Редуційні формули є однофазовими, так як відображають лише одну фазу весняного водопілля – фазу максимуму.

Об'ємні формули враховують всі фази і хід водопілля, і редуція максимальних модулів весняного стоку враховується ними в неявному вигляді через тривалість водопілля.

Всі сучасні методи, формули і розрахункові схеми Гопченко Є.Д. [13] пропонує умовно розділити на дві групи. До першої відносяться ті з них, які

побудовані на основі схематизації схилового і руслового гідрографів. Другу групу складають методи, що опираються на спрощену гідромеханічну теорію формування максимального стоку. І ті, і інші підходи в однаковій мірі застосовні як для весняного водопілля, так і для дощових паводків. На практиці при розрахунках максимальних витрат весняного водопілля найбільше поширення знайшли формули першої групи.

2.1 Формули, які спираються на геометричну схематизацію схилового і руслового гідрографа

2.1.1 Редукційні формули

Формули Д. І. Кочеріна. У роботі “Про норми найбільших витрат води для басейнів Європейської частини СРСР по фактичним даним” опублікованої в 1928 р. Д.І. Кочерін на підставі зібраних з різних джерел даних по максимальним витратам весняних і зливових паводків для 134 пунктів, розробив схему загального ландшафтного районування Європейської території СНД за умовами максимального весняного стоку і рекомендував розрахункові норми максимального весняного стоку у вигляді таблиць модулів залежно від площі водозборів по районам [12].

Норми розрахунку максимального весняного стоку Д.І.Кочеріна відіграли значну роль як в практичних розрахунках, так і в розвитку методів розрахунку максимального весняного стоку в цілому.

Кочерін писав, що для всієї межі площ логарифмічний зв'язок між модулями і площами у жодному випадку не є лінійним і не може бути виражена простим рівнянням вигляду:

$$q_{\max} = \frac{A}{F^n}, \quad (2.1)$$

і тому прийняв для аналітичного вираження зв'язку максимальних модулів весняного стоку з площею водозбору степенну формулу вигляду:

$$q_{\max} = \frac{A}{F^n} - B, \quad (2.2)$$

зі змінними параметрами A , B і n по районам.

Кочерін вважав, що ці формули відображають граничні випадки максимального стоку і “для деяких басейнів можуть виявитися перебільшеними”.

Формула Д. Л. Соколовського 1937 р. Формула, розроблена в 1933-1937 рр. з метою розвинути і уточнити формулу Д.І. Кочеріна, була заснована на узагальненні даних по максимальному весняному стоку приблизно в 600 гідрометричних пунктах на річках Європейської і Азіатської території СНД з періодом спостережень від 5 до 60 років [12].

В результаті аналізу дослідних даних і фізичної сутності явища редукції максимального весняного стоку і з врахуванням невисокої точності вихідних даних була прийнята проста структура редукційної формули степенного виду:

$$q_{\max} = \frac{k_p A_{\max, \epsilon}}{(F + 1)} \delta, \quad (2.3)$$

де $A_{\max, \epsilon} = q_{\max}$ при $F \rightarrow 0$ (при $k_p = 1,0$ и $\delta = 1,0$) - максимальний модуль елементарного стоку, або максимальна інтенсивність водовіддачі зі схилів в руслову мережу;

n – кутовий коефіцієнт прямих залежностей $\lg q = f(\lg F)$, або показник степені редукції максимального стоку;

δ – узагальнений коефіцієнт, що враховує зарегульованість максимального стоку під впливом озер, боліт, лісу, карсту і інших акумуляторів стоку;

K_p – коефіцієнт розмірності, рівний одиниці при вираженні $A_{\max,в}$, в м³/сек і рівний 0,28 при вираженні $A_{\max,в}$, в мм/годину.

Формула К. П. Воскресенського. З інших редуційних формул необхідно згадати як найбільш обґрунтовану матеріалами спостережень і аналізом факторів формування максимального весняного стоку формулу К.П.Воскресенського в подальшому уточнену і розвинену А. А. Соколовим,

$$q_{\max} = \frac{k_g h_g}{(F + c)^n}, \quad (2.4)$$

де k_g - відношення максимальної інтенсивності водовіддачі до шару водовіддачі $\frac{A_{\max,г}}{h_g}$;

h_g - шар весняного стоку;

c - добавка до площі, я враховує нелінійність кривої $\lg q_{\max} = f(\lg F)$ в діапазоні малих площ.

Формули Г. А. Алексєєва. З інших редуційних формул розглянемо формулу Г. А. Алексєєва, що має в останній редакції вигляд:

$$q_{\max} = \frac{rP_{\max}}{1 + \frac{p_{\max}L}{hv}}, \quad (2.5)$$

де r – коефіцієнт, який враховує зарегульованість озерами і водосховищами;

P_{\max} – максимальний модуль (або інтенсивність) притоку в руслову мережу зі схилів водозбору;

h – шар паводочного стоку в мм,

L – довжина головного водотоку в км;

V – розрахункова швидкість добігання води по довжині річки, яка визначається в залежності від максимальної витрати Q_{\max} та схилу I по формулі:

$$V = aI^{1/3}Q_{\max}^{1/4} \text{ м/с}, \quad (2.6)$$

де $a = 0,15 (20 n)^{-3/4}$ м/с;

n - коефіцієнт шорсткості русла і заплави.

Формула (2.5), на думку Алексеева, є основною для розрахунку максимальних витрат як для весняного водопілля, так і для дощових паводків. За наявності в басейні боліт і лісів формула (2.6) пишеться у вигляді:

$$q_{\max} = \frac{rP_{\max}}{\delta + \frac{p_{\max} L}{hv}}, \quad (2.7)$$

де

$$\delta = 1 + \alpha(f_l + f_b), \quad (2.8)$$

де f_l – лісистість басейну в долях від площі водозбору;

f_b – заболоченість басейну;

α - коефіцієнт, який враховує склад лісонасаджень і рівний від одиниці для лісостепової і степової зон до двох для хвойних лісів лісової зони.

Основний параметр формули P_{\max} рекомендується визначати при розрахунках максимальних витрат весняного водопілля по формулі:

$$P_{\max} = \gamma h, \quad (2.9)$$

де $\gamma = \frac{P_{\max}}{h}$ - названий Алексеевим коефіцієнтом дружності водопілля

і прийнятий для Європейської території СРСР постійним і рівним 0,003 при розмірності P_{\max} в $\text{м}^3/\text{с}$ з 1 км^2 і 3,0 при розмірності в л/с з 1 км^2 .

Враховуючи, що час добігання $\tau = \frac{L}{v}$ або $\tau = \frac{L}{86.4v}$ діб, формулу (2.5)

можна записати у виді

$$q_{\max} = \frac{\gamma h_p r}{\delta + 86.4 \gamma \tau} \quad (2.10)$$

в якому вона приводиться у ряді робіт.

2.1.2 Об'ємні формули

Структура об'ємної формули має вигляд при коефіцієнті редукції шару припливу за площею $k_y=1.0$:

$$q_{\max} = \frac{m+1}{m} \frac{Y_{\max}}{T_n}, \quad (2.11)$$

де Y_{\max} – загальний шар припливу води з схилів в руслову мережу;

T_n – основа руслового гідрографу.

Вираження (2.11) є лише одним з редакційних варіантів об'ємної формули. При одномодальній формі руслового гідрографу в загальному випадку :

$$q_{\max} = k_{\phi} \frac{Y_{\max}}{T_n} \quad (2.12)$$

де k_{ϕ} – коефіцієнт нерівномірності руслового стоку.

З рівняння (2.11) і (2.12) видно, що:

$$k_{\phi} = \frac{m+1}{m} \quad (2.13)$$

Для території України ще в 1938 році А. В. Огієвський застосував структуру (2.12) для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля, прийнявши $k_{\phi} = 2$, а $T_n = T_0 + t_p$.

У подальшому розвитку схема А.В.Огієвського отримала в роботах В.І.Мокляка [14]. В результаті багатолітніх досліджень він для річок України розробив формулу максимальних витрат від талих вод об'ємного типу, яка в остаточному варіанті має вигляд:

$$Q_{\max} = \frac{\delta W}{T_n} = \frac{0.0116 \delta Y_{\max} F}{m t_c + t_k + t_{np}} \quad (2.14)$$

де Q_{\max} – максимальна витрата 3% – вої забезпеченості;

δ – коефіцієнт форми гідрографу;

W – сумарний об'єм стоку;

T_n – тривалість водопілля.

У формулі В.І.Мокляка перш за все уточнено поняття розрахункової тривалості водопілля T_n , яка дорівнює сумі:

$$T_n = T_c + t_p + t_{ск} + t_{np}, \quad (2.15)$$

де $t_{np} = T_n - T_p$ - неодночасність танення снігу за рахунок переміщення фронту сніготанення відносно напрямку течії води в річці. В
(2.15)

$$T_c + t_{ck} = T_0, \quad (2.16)$$

Тому

$$T_n = T_0 + t_p + t_{np} \quad (2.17)$$

Цікавими також є дослідження В.І.Мокляка в частині розрахунку коефіцієнта форми руслових гідрографів δ (у наших позначеннях k_ϕ та $\frac{m+1}{m}$) від розміру водозбірної площі. При цьому:

а) при $(t_p + t_{ck}) < 11$ діб

$$\delta = \frac{2.8}{\sqrt{t_p + t_{ck}}}; \quad (2.18)$$

б) при $(t_p + t_{ck}) > 11$ діб

$$\delta = 2.8 + 0.05(t_p + t_{ck} - 11); \quad (2.19)$$

в) в діапазоні $1 \text{ діб} < (t_p + t_{ck}) < 11 \text{ діб}$

$$\delta = 2.8. \quad (2.20)$$

В.І.Мокляк справедливо звернув увагу і на той факт, що в більшості формул облік залісненої і заболоченості виробляється через поправочні коефіцієнти безпосередньо до максимальної витрати, а не до параметрів стоку, які в тій чи іншій мірі обумовлені залісеністю і заболоченістю.

На цій підставі він розробив рекомендації відносно розрахунку тривалості водовіддачі на залісених і заболочених водозборах в наступному варіанті:

$$T_c(f_l, f_b) = m_c T_c, \quad (2.21)$$

де m_c - емпіричний коефіцієнт, який дорівнює:

$$m_c = 1 + \alpha_l \frac{f_l}{F} + \frac{f_b}{F} \quad (2.22)$$

для листяних лісів $\alpha_l = 0.7$, для хвойних – 1.0.

При повній залісеності та заболоченості водозбору тривалість водовіддачі з снігу збільшується майже в 3 рази.

Формула А.В.Огієвського-В.І.Мокляка рекомендується для практичного використання і зараз, нарівні з методикою СНП 2.01.14–83. Більшу популярність здобула формула, обґрунтована Д.Л.Соколовським [12]. Рівняння одномодального гідрографа водопілля він записав у вигляді:

а) для кривої підйому:

$$Q_t = Q_{\max} \left(\frac{t}{t_n} \right)^{m'}; \quad (2.23)$$

б) для кривої спаду:

$$Q_t = Q_{\max} \left(\frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^{n'}; \quad (2.24)$$

де t_n та t_{cn} – час підйому і спаду водопілля, відповідно;

m та n – показники кривих підйому та спаду.

При інтегруванні (2.23) і (2.24) по t_n и t_{cn} , а також подальші нескладні процедури перетворення приводять до базових рівнянь:

$$q_{\max} = \frac{Y_{\max}}{t_n} f \quad (2.25)$$

та

$$q_{\max} = \frac{Y_{\max}}{T_n} f(1 + \gamma), \quad (2.26)$$

де f – коефіцієнт форми руслового гідрографа:

$$f = \frac{(m'+1)(n'+1)}{(n'+1) + \gamma(m'+1)}, \quad (2.27)$$

$$\text{а } \gamma = t_{cn} / t_n$$

Із зіставленням (2.11), (2.13) і (2.26), видно, що множником $f(1 + \gamma)$ є коефіцієнт нерівномірності руслового стоку k_ϕ в (2.12) або $\frac{m+1}{m}$ – в (2.11).

Найбільш прийнятним є рівняння (2.11), в якому всі параметри визначені і можуть бути порівняно просто отримані по матеріалах гідрологічних станцій і постів, особливо дня весняного водопілля.

З цією метою чисельник і знаменник (2.11) помножимо на $(T_0 + t_p)$ та запишемо його у вигляді:

$$q_{\max} = \frac{m+1}{m} \frac{Y_{\max}}{T_0 + t_p} \varepsilon_F, \quad (2.28)$$

де ε_F – є коефіцієнт, обумовлений русло-заплавним регулюванням і рівний:

$$\varepsilon_F = \frac{T_0 + t_p}{T_n} \quad (2.29)$$

Рішення (2.28) досягається шляхом послідовних наближень з накладенням деяких обмежень на k_n , наприклад, $k = 1.0$ при $F \rightarrow 0$.

2.2 Методи, засновані на гідромеханічних теоріях стоку

2.2.1 Генетичні моделі

Модель Бефані А.М. Руслові системи, окрім безпосереднього схилового притоку головної ріки, отримують живлення від різного порядку бічних припливів. Тому диференціальне рівняння стоку за русловою схемою записується таким чином [14]:

$$V_D \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = n_x Q'_t, \quad (2.30)$$

де ω – площа поперечного перерізу русла в площині ізохроні, видаленою на відстань x ;

Q'_t – ординати графіка припливу води зі схилу в руслову мережу;

n_x – число русел, що пересікаються в створі x , причому:

$$n_x = \frac{B_x}{2l} = \alpha B_x, \quad (2.31)$$

де B_x – ширина басейну по ізохроні руслового добігання, що є функцією відстані від витoku;

l – довжина схилу;

α – коефіцієнт густоти гідрографічної мережі.

Враховуючи (2.31), (2.30) набуде вигляду:

$$V_{Д} \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha Q'_t B_x, \quad (2.32)$$

Інтегрування (2.32) виконано за таких початкових і граничних умов: $t = 0, \omega = 0$ і $x = 0, \omega = 0$. Залежно від співвідношення між часом руслового добігання t_p і тривалістю припливу води з схилів в руслову мережу T_0 . Отримано два основних типу формування максимального стоку – розвиненого, коли $t_p < T_0$ сповільненого, коли $t_p \geq T_0$.

У першому випадку максимальна витрата формується частиною припливу схилу при площі живого перерізу:

$$\omega_{\max} = \alpha \int_{t_{кр} - t_p}^{t_{кр}} Q'_t B_x dt, \quad (2.33)$$

де $t_{кр}$ – час настання максимальної витрати.

Максимальний модуль стоку при цьому є:

$$q_{\max} = \frac{Y_{t_p}}{t_p} k_1, \quad (2.34)$$

де Y_{t_p} – коефіцієнт "діючого" шару схилового припливу;

k_1 – "перший" гідрографічний коефіцієнт:

$$k_1 = \frac{\int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} Q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_{t_{kp}-t_p}^{t_{kp}} Q'_t dt}, \quad (2.35)$$

де B_{cp} – середня ширина водозбору по ізохронах руслового добігання.

При сповільненому стоці, коли $t_p \geq T_0$, максимальний модуль формується всім шаром припливу Y_{max} , але тільки з частини площі водозбору. Площа живого перетину, яка обумовлює формування максимальної витрати Q_{max} , рівна:

$$\omega_{max} = \alpha \int_0^{T_0} Q'_t B_x dt, \quad (2.36)$$

Максимальний модуль стоку при цьому:

$$q_{max} = \frac{Y_{max}}{t_p} k_2, \quad (2.37)$$

де k_2 – "другий" гідрографічний коефіцієнт:

$$k_2 = \frac{\int_0^{T_0} Q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_0^{T_0} Q'_t dt}, \quad (2.38)$$

Зважаючи, що $Y_{t_p} / Y_{\max} = \varphi$, узагальнене рівняння для максимального модуля, об'єднуючи (2.34) і (2.37), запишеться таким чином:

$$q_{\max} = \frac{Y_{\max}}{t_p} \varphi k_{\Gamma}, \quad (2.39)$$

де k_{Γ} – гідрографічний коефіцієнт, який дорівнює k_1 – при $(t_p/T_0) < 1.0$ і k_2 , якщо $(t_p/T_0) \geq 1.0$.

Моделі Огієвського А.В. і Железняка І.А. Виходячи із загальних уявлень про процеси формування поверхневого стоку на основі методу ізохрон руслового добігання, Огієвський А.В. [15] в 1945г. запропонував формули вигляду:

а) при $t_p > T_c$

$$Q_{\max} = \rho \frac{Y_{\max}}{T_c} F_{\text{Д}} = \rho Y_{\max} b_{\text{Д}} V_{\text{Д}}, \quad (2.40)$$

де $F_{\text{Д}}$ – дієва площа водозбору;

$b_{\text{Д}}$ – середня ширина басейну в рамках дієвої площі водозбору;

ρ – коефіцієнт обліку нерівномірності розвитку басейну;

б) при $1 \text{ діб} < t_p < T_c$

$$Q_{\max} = \rho \frac{Y_{\max}}{T_c} k' F, \quad (2.41)$$

де k' – коефіцієнт обліку нерівномірності добової віддачі;

в) $t_p < 1$ діб

$$Q_{\max} = \rho \frac{Y_{\max}}{T_c} k' k'' F, \quad (2.42)$$

де k'' – коефіцієнт обліку нерівномірності усередині добової віддачі, при чому $k'' > 1.0$.

Розвиток теорії формування гідрографів весняного водопілля на основі схеми Огієвського А.В. здійснювалася Железняком І.А. і його учнями. У своїй концепції Железняк І.А.[15] спирається на один з варіант методу ізохрон і виводить формулу для визначення максимальної середньодобової витрати талих вод:

$$\tilde{Q}_{\max} = 0.0116 K_{M.G.M} Y_{\max} F, \quad (2.43)$$

де Y_{\max} – шар стоку за водопілля;

$K_{M.G.M}$ – метеоролого – гідравліко – морфометричний параметр, який дорівнює:

$$K_{M.G.M} = \frac{\varphi}{t_p} \varepsilon_F = \varphi' \varepsilon_F, \quad (2.44)$$

де φ – коефіцієнт повноти силового припливу;

φ' – трансформаційна функція, а

$$\tilde{Q}_{\max} = 0.0116 \frac{Y_{\max} \varphi}{t_p} F \varepsilon_F. \quad (2.45)$$

2.3 Формули СНіП 2.01.14-83, СП 33-101-2003

Розрахунок максимальних витрат весняного водопілля рекомендується розраховувати по формулі, схожій по структурі з рівнянням [16] :

$$Q_p = \frac{K_0 Y_p}{(F + F_0)^n} F \mu \delta_1 \delta_2 \delta_3, \quad (2.46)$$

де K_0 – коефіцієнт дружності водопілля, визначається за даними річок-аналогів шляхом зворотних розрахунків;

Y_p – розрахунковий шар сумарного весняного стоку щорічної ймовірності перевищення $P\%$ (встановлюється залежно від коефіцієнта варіації C_v і відношення C_s / C_v цієї величини, а також середнього багаторічного шару стоку Y_{\max} , який визначається по річках-аналогах по карті або знаходиться інтерполяцією, мм;

μ - коефіцієнт, що враховує нерівність статистичних параметрів шару стоку і максимальних витрат води (що приймається залежно від розрахункової забезпеченості і географічного положення об'єкту);

$\delta_1 \delta_2 \delta_3$ – коефіцієнти, що враховують зниження максимальних витрат води в залісених, заболочених і зарегульованих (ставками, водосховищами, озерами) басейнах; обчислюються по формулах [17]:

$$\delta_1 = \alpha / (1 + f_l)^n, \quad (2.47)$$

де α – параметр, що враховує розташування лісу на водозборі ;

f_l – відносна залісеність водозбору, %;

n – коефіцієнт редукції.

При залісеності менше 3% або озерності більше 20% Коефіцієнт δ_1 приймається рівним одиниці.

Коефіцієнт δ_2 враховуючий зміну максимальних витрат води на заболочених водозборах, розраховується за формулою:

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(1 + 0.1f_{\bar{\sigma}}), \quad (2.48)$$

де β – коефіцієнт, що враховує тип боліт та переважаючий механічний склад ґрунтів біля боліт та заболочених земель;

$f_{\bar{\sigma}}$ – відносна заболоченість водозбору, %.

За наявності внутрішньоболотяних озер, розосереджених по басейну і розташованих поза головного русла і основних припливів, останні слід включати у відносну площу боліт. При заболоченості менше 3% або при проточній озерності більше 20%, коефіцієнт приймається рівним одиниці. Коефіцієнт озерності обчислюється за формулою:

$$\delta_3 = 1 - \lg(1 + cf'_{oz}), \quad (2.49)$$

де c – коефіцієнт, який залежить від середнього багатолітнього шару весняного стоку Y_{\max} , змінюється від 0,2 при $Y_{\max} > 100$ мм до 0,4 при $Y_{\max} \leq 20$ мм та менше;

f'_{oz} – відносна озерність водозбору, %.

Середній зважений коефіцієнт озерності f_{oz} (%) обчислюється за формулою:

$$f_{oz} = \sum_{i=1}^n (100S_i F_i / F^2) \quad (2.50)$$

де S_i – площа дзеркала озера;

F_i – площа водозбору озера;

F – площа водозбору річки в розрахунковому створі, км².

2.4 Регіональна методика

При відсутності спостережень за щорічними максимальними витратами води на річках та водотоках розрахункові значення максимумів зазвичай визначаються за формулами, параметри яких повинні відображати загальні особливості формування стоку водопілля на річках розглядуваного району. Для даної цілі можуть бути використані відомі в літературі загальні та регіональні формули. Більшість цих формул виходить з однакових теоретичних передумов і відрізняються одна від одної головним чином структурою, а в залежності від схематизації вихідної моделі формування максимального стоку. Проте ці формули не рівнозначні, так як їх параметри виведені у різний час за даними спостережень різної тривалості, часто без урахування високих водопіль, характеристики яких надають суттєвий вплив на числові значення параметрів формул.

Рекомендується розрахункова схема у вигляді [18]:

$$Q_p = q_p F = \frac{k_0 h_p \mu}{(F + 1)^{n_1}} \delta \delta_2 F, \quad (2.51)$$

де Q_p - розрахункова миттєва витрата води, ймовірність якої $P\%$, м³/с;

q_p - модуль максимальної розрахункової витрати води, м³/(с·км²);

h_p - розрахунковий шар сумарного (без зрізки ґрунтового живлення)

стоку водопілля ймовірністю перевищення $P\%$, мм;

F - площа водозборів, км²;

k_0 - параметр, який характеризує дружність водопілля;

n_1 - показник степеня редукції відношення $\frac{q_p}{h_p}$ в залежності від площі

водозборів;

δ - коефіцієнт для врахування регулюючого впливу на максимальний стік озер і водосховищ;

δ_2 - редукційний коефіцієнт для врахування впливу залісеності і заболоченості на водозборах;

μ - коефіцієнт, який враховує відмінність в статистичних параметрах шарів стоку і витрат води.

Значення параметрів n_1 і k_0 визначаються залежно від природних зон і категорії рельєфу.

2.5 Методика, яка пропонується для характеристик максимального стоку весняного водопілля для річок басейну Південного Бугу

У теоретичному плані найбільш обґрунтованим можна вважати описання процесів формування стоку за допомогою руслових ізохрон. Схему ізохрон у загальному вигляді можна представити наступним чином:

$$Q_t = q'_1 f_{t_p} \varepsilon_{t_p} + q'_2 f_{t_{p-1}} \varepsilon_{t_{p-1}} + \dots + q'_{t_p-1} f_2 \varepsilon_2 + q'_{t_p} f_1 \varepsilon_1, \quad (2.52)$$

де q'_i - модулі схилового припливу;

t_p - час руслового добігання;

f_i - між ізохронні площі;

ε_i - коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

Формування максимальної витрати залежить від співвідношення між t_p і тривалістю схилового припливу під час водопілля чи паводку T_0 , а саме:

а) при $t_p > T_0$

$$Q_m = \left(\sum_{t_p} q'_t f_i \varepsilon_i \right)_m ; \quad (2.53)$$

б) при $t_p < T_0$

$$Q_m = \left(\sum_{T_0} q'_t f_i \varepsilon_i \right)_m . \quad (2.54)$$

Після перетворень (2.53) та (2.54) можна отримати розрахункову формулу для максимального модуля q_m :

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi K_\Gamma \varepsilon_F, \quad (2.55)$$

де Y_m - максимальний шар стоку;

t_p - час руслового добігання;

φ - коефіцієнт повноти схилового припливу;

K_Γ - гідрографічний коефіцієнт;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання та водообміну.

Вперше структура (2.55) була обґрунтована проф. Бефані А.М., але її недоліком є те, що при $t_p \rightarrow 0$ (тобто на дуже малих водозборах) має місце невизначеність у вигляді $\frac{0}{0}$. Тому Гопченком Є.Д. запропоновано дещо інша структура, а саме [19]:

$$q_m = q'_m \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F r \lambda_p, \quad (2.56)$$

де r - коефіцієнт регулювання максимального стоку озерами, водосховищами та ставками; λ_p - коефіцієнт забезпеченості; K_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

q'_m - модуль схилового припливу, який дорівнює

$$q'_m = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}; \quad (2.57)$$

де 0,28 – коефіцієнт розмірності при $q_{1\%}$ з $\text{м}^3/\text{скм}^4$;

$\psi(t_p / T_0)$ - трансформаційна функція, причому:

а) при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n, \quad (2.58)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right], \quad (2.59)$$

де n і m – показники степені у рівняннях кривих припливу та ізохрон, відповідно.

На підставі (2.56)

$$\varepsilon_F = \frac{q_m}{q'_m / \psi(t_p / T_0)}. \quad (2.60)$$

3. СТАТИСТИЧНА ОБРОБКА РЯДІВ МАКСИМАЛЬНИХ ВИТРАТ ВОДИ, ШАРІВ СТОКУ ТА МАКСИМАЛЬНИХ СНІГОЗАПАСІВ

Відповідно до рекомендацій СНіП 2.01.14 – 83, статистичну обробку шарів стоку виконують з використанням кривих біноміального і трьохпараметричного гама – розподілу[16].

3.1. Найбільш поширені криві розподілу, які застосовуються в гідрології

Крива біноміального розподілу Пірсона III типу. Якщо початок відліку біноміальної кривої поєднати з модою, то її рівняння запишеться у вигляді

$$f(x) = y_0 e^{-x/d} (1 + x/a)^{a/d}, \quad (3.1)$$

де a – відстань від початку кривої до моди;

d – радіус несиметричності;

y_0 – модальна ордината.

Параметри рівняння (3.1) пов'язані з центральними моментами розподілу, причому:

$$a + d = 2\beta_2 / \beta_3, \quad (3.2)$$

де β_2 і β_3 – відповідно другий та третій центральні моменти.

З (3.2) простими перетвореннями можливо отримати одне з важливих властивостей біноміального розподілу, яке визначає область його застосування. Для цього β_2 та β_3 виразимо через статистичні параметри m_x , C_v і C_s . Приймаючи до уваги, що $\beta_2 = \sigma_x^2$, а $C_v = \sigma_x \sqrt{x}$, запишемо

$$\beta_2 = C_v^2 m_x^2. \quad (3.3)$$

Третій центральний момент пов'язаний з коефіцієнтом асиметрії C_s і середнім квадратичним відхиленням, звідки:

$$\beta_3 = C_s \sigma_x^3 = C_s C_v^3 m_x^3. \quad (3.4)$$

Підставляючи (3.3) і (3.4) в (3.2), отримуємо:

$$a + d = 2C_v^4 m_x^4 / (C_s C_v^3 m_x^3) = 2C_v m_x / C_s. \quad (3.5)$$

В загальному вигляді $a + d = m_x - x_{\min}$ можна записати :

$$m_x - x_{\min} = 2C_v m_x / C_s \quad (3.6)$$

або

$$C_s = 2C_v / (1 - k_{\min}), \quad (3.7)$$

де $k_{\min} = x_{\min} / m_x$ – модульний коефіцієнт мінімального значення ряду. При цьому необхідно розглянути три можливих випадки:

- 1) найменше значення ряду $x_{\min} = 0$;
- 2) $x_{\min} > 0$;

3) $x_{\min} < 0$.

В першому випадку $C_s = 2C_v$, в другому – $C_s \geq 2C_v$, і в третьому – $C_s < 2C_v$. Третій випадок суперечить природі стокових рядів, які мають фізичну межу нуля, а тому біноміальна крива може використовуватися лише при $C_s \geq 2C_v$.

Крива трьохпараметричного гама – розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля [20]. Дана крива представляє загальніший випадок розподілу, що задовольняє стоковим рядам при будь-яких співвідношеннях C_s і C_v . Така властивість трьохпараметричного гама – розподілу виключає область від’ємних значень при екстраполяції емпіричних кривих забезпеченості в нижній частині. Відмічена універсальність досягається за рахунок заміни ознаки розподілу x через нову змінну z :

$$z = bxc, \quad (3.8)$$

де b і c – параметри функції.

При $C_s = 2C_v$ криві Пірсона III типу і трьохпараметричного розподілу співпадають, причому новий закон називається гама – розподілом і описується рівнянням вигляду:

$$f(z) = \alpha^\alpha z^{\alpha-1} e^{-\alpha z} / \Gamma(\alpha), \quad (3.9)$$

де α – параметр рівний $1/C_v^2$, а $\Gamma(\alpha)$ – гама-функція, або інтеграл

Ейлера другого роду:

$$\Gamma(\alpha) = \int_0^{\infty} z^{\alpha-1} e^{-z} dz, \quad (3.10)$$

Відмінності (3.9) і (3.1) при $C_s = 2C_v$ пояснюються лише тим, що при виведенні рівняння (3.1) відлік ведеться не від модального значення, а від початку кривої розподілу, тобто при цьому ознака розподілу завжди знаходиться в області додатніх значень.

При C_s , який відрізняється від $2C_v$, (3.9) перетворюється у рівняння трьохпараметричного гама-розподілу:

$$f(z) = \alpha^\beta z^{\alpha-1} e^{-\beta z} / \Gamma(\alpha). \quad (3.11)$$

Параметри β і α пов'язані з параметрами C_v та C_s

$$\alpha = 4/C_{vz}^2 \quad \text{і} \quad \beta = 2/(C_{sz}C_{vz}), \quad (3.12)$$

При $\alpha = \beta$, що відповідає $C_s = 2C_v$, рівняння (3.12) зводиться до (3.9).

Основні гідрологічні характеристики – середні значення рядів \bar{Q}_m , \bar{Y}_m , \bar{S}_m , коефіцієнти варіації C_v та асиметрії C_s , а також коефіцієнт автокореляції RI , розраховуються за допомогою методів моментів і найбільшої правдоподібності.

3.2 Методи визначення статистичних параметрів

3.2.1 Метод моментів

Виділяють: початкові, центральні й абсолютні моменти [21,22].

Початкові моменти s -го порядку дискретної величини X являють собою суму

$$\alpha_s = \sum_{i=1}^N x_i^s p_i, \quad (3.13)$$

де α_s - початковий момент s -го порядку.

Для безперервної випадкової величини сума записується через інтеграл

$$\alpha_s = \int_{-\infty}^{\infty} x^s f(x) dx. \quad (3.14)$$

Таким чином, для дискретних випадкових величин оцінка початкових моментів s -того порядку розраховується за формулою

$$\hat{\alpha}_s = \sum_{i=1}^n x_i^s p_i^*, \quad \text{де } p_i^* = \frac{1}{n}. \quad (3.15)$$

Перший початковий момент ($s=1$) представляє собою математичне сподівання

$$\alpha_1 = m_x = \sum_{i=1}^N x_i p_i, \quad (3.16)$$

а його оцінка – середнє арифметичне значення \bar{x}

$$\hat{\alpha}_1 = \hat{m}_x = \bar{x} = \sum_{i=1}^n x_i p_i^* = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}. \quad (3.17)$$

Центральні моменти s -го порядку β_s дискретних випадкових величин описуються наступним виразом

$$\beta_s = \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^s p_i; \quad (3.18)$$

Для будь-якої випадкової величини центральний момент першого порядку дорівнює нулю.

Оцінка центрального моменту s -го порядку на основі вибірки довжиною n виконується в такий спосіб

$$\widehat{\beta}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^s . \quad (3.19)$$

При $s=1$

$$\beta_{s=1} = \sum_{i=1}^n (x_i - m_x) p_i = \sum_{i=1}^n x_i p_i - m_x \sum_{i=1}^n p_i = m_x - m_x = 0, \quad (3.20)$$

або

$$\widehat{\beta}_{s=1} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x}) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \bar{x} = 0. \quad (3.21)$$

Таким чином, перший центральний момент дорівнює нулю.

При $s = 2$

$$\beta_2 = \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2 p_i \quad (3.22)$$

або

$$\widehat{\beta}_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 . \quad (3.23)$$

Другий центральний момент характеризує розсіювання випадкової величини відносно її центра розподілу і носить назву дисперсії D_x

$$\beta_2 = D_x = \sigma_x^2. \quad (3.24)$$

Квадратний корінь із дисперсії називається середнім квадратичним відхиленням σ_x . Оцінка середнього квадратичного відхилення розраховується наступним чином

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}}. \quad (3.25)$$

Оцінки другого центрального моменту мають від'ємні зміщення (заниження). Для їх усунення в (3.25) вводиться поправковий коефіцієнт $\sqrt{n/(n-1)}$, з урахуванням якого (3.25) набуває вигляду

$$\hat{\sigma}_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}}. \quad (3.26)$$

З метою порівняння мінливості різномасштабних випадкових величин використовують безрозмірну характеристику $C_V = \sigma_x / m_x$, яка має назву коефіцієнта варіації і за даними спостережень оцінюється таким чином

$$\hat{C}_V = \frac{\hat{\sigma}_x}{\bar{x}}. \quad (3.27)$$

У більш загальному вигляді оцінка коефіцієнта варіації знаходиться за виразом

$$\widehat{C}_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{\bar{x}^2 (n-1)}} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}, \quad (3.28)$$

де $k_i = x_i / \bar{x}$ - модульний коефіцієнт.

При $s=3$ з використанням (3.17) та (3.18) отримуємо вирази для розрахунків третього центрального моменту для генеральної сукупності та вибірки

$$\beta_3 = \sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^3 p_i, \quad (3.29)$$

$$\widehat{\beta}_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3. \quad (3.30)$$

Третій центральний момент характеризує несиметричність (асиметричність) розподілу випадкової величини відносно математичного сподівання і може бути як від'ємним, так і додатнім.

Нормування β_s по σ_x^3 дозволяє отримати безрозмірний параметр статистичного розподілу, названий коефіцієнтом асиметрії C_S

$$C_S = \frac{\beta_3}{\sigma_x^3}, \quad (3.31)$$

який при розрахунках за вибірками представляється у вигляді

$$\widehat{C}_S = \widehat{\beta}_3 / \widehat{\sigma}_x^3 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n \widehat{\sigma}_x^3}. \quad (3.32)$$

Вираз (3.32) при використанні модульних коефіцієнтів $k_i = x_i / \bar{x}$ набуває вигляду

$$\hat{C}_S = \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{n \hat{C}_V^3} . \quad (3.33)$$

Як і оцінка параметра C_V , оцінка коефіцієнта асиметрії за виразами (3.32) і (3.33) є зміщеною відносно відповідного параметра генеральної сукупності. Від'ємна зміщеність може бути усунена шляхом введення поправкового коефіцієнта $n^2 / ((n-1)(n-2))$, запропонованого Блохіновим Є.Г.

Таким чином, кінцевий вигляд формули для розрахунків коефіцієнта асиметрії має наступний вигляд

$$\hat{C}_S = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{\hat{C}_V^3} . \quad (3.34)$$

Для випадкової величини, яка підлягає нормальному закону розподілу, $C_S = 0$, тобто крива щільності ймовірностей симетрична відносно математичного сподівання.

Четвертий центральний момент ($s = 4$), покладений в основу характеристики гостровершинності кривої розподілу випадкової величини, має назву ексцесу. Формула для визначення четвертого центрального моменту за вибіркою набуває вигляду

$$\hat{\beta}_4 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4 . \quad (3.35)$$

Четвертий центральний момент характеризує сплюснутість або витягнутість кривої розподілу випадкової величини у порівнянні з кривою нормального розподілу. Для випадкової величини з нормальним законом розподілу співвідношення β_4 / σ_x^4 завжди дорівнює 3. Таким чином, нормування β_4 по σ_x^4 дозволяє отримати безрозмірний статистичний параметр, названий ексцесом

$$E = \frac{\beta_4}{\sigma_x^4} - 3 \quad (3.36)$$

або

$$\hat{E} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{n\hat{\sigma}_x^4} - 3. \quad (3.37)$$

Ця характеристика розподілу не використовується у гідрологічних розрахунках, тому що навіть при відносно довгих рядах стоку вона є недостовірною.

3.2.2 Метод найбільшої правдоподібності

Метод найбільшої правдоподібності – метод математичної статистики, у якому за оцінку невідомого значення параметру щільності імовірності береться те його значення при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкових величин.

Розрахунок статистичних параметрів методом найбільшої правдоподібності, на відміну від методу моментів, є складнішим. Тому в цілях спрощення загальної схеми Є.Г.Блохінєв запропонував спочатку обчислювати статистику [21,22]:

$$\lambda_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad (3.38)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg k_i, \quad (3.39)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \lg k_i. \quad (3.40)$$

Як видно з рівняння (3.38), статистика λ_1 повністю збігається з середнім арифметичним значенням \bar{x} в методі моментів. Параметри C_v і C_s/C_v визначаються за допомогою спеціально розроблених С.М.Крицьким і М.Ф.Менкелем номограм C_v , $C_s/C_v = f(\lambda_2, \lambda_3)$.

Метод найбільшої правдоподібності рекомендується для визначення параметрів, коли використовується крива трьохпараметричного гамма-розподілу, а також заслуговує на перевагу при $C_v > 0,5$.

Кінцевою ціллю статистичного аналізу часових рядів стокових величин є визначення розрахункових характеристик різної ймовірності перевищення $P\%$. Тому крім точності обчислення параметрів розподілу, важливо мати уявлення й про похибки встановлення відповідних квантилів x_p .

3.3 Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води

Середні значення рядів \bar{Q}_m , коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s , а також коефіцієнт автокореляції RI , розраховані за допомогою методів моментів і найбільшої правдоподібності, приведені в табл. 3.1.

Аналіз отриманих величин показує, що за обома методами (найбільшої правдоподібності і моментів) отримані, загалом, збіжні значення коефіцієнтів варіації C_v . Коефіцієнти варіації, розраховані за методом моментів, у свою чергу відрізняються досить значною просторовою мінливістю - від 0.82 до

3.4 Статистична обробка рядів максимальних шарів стоку та максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля

Статистична обробка часових рядів шарів весняного стоку та максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля виконана тими ж методами, що раніше використовувалися при розгляді максимальних витрат води, тобто моментів і найбільшої правдоподібності. Результати приведені в табл.3.2 і табл.3.3.

Таблиця 3.2 – Статистичні характеристики часових рядів максимальних шарів стоку весняного водопілля в басейні р. Південний Буг

№ поста	Річка - пост	\bar{Y}_m , мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
			Cv	Cs	(R1)	Cv	Cs	Cs/Cv
1	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Південний Буг - с. Пирогівці	33,2	0,54	0,87	0,16	0,55	0,93	1,7
2	Бужок - смт Меджибож	30,4	0,75	1,32	0,22	0,77	1,61	2,1
3	Іква - смт Стара Синява	38,0	0,80	1,41	0,18	0,81	1,56	1,9
4	Південний Буг - с. Лелітка	39,4	0,75	1,51	0,33	0,76	1,73	2,3
5	Згар - смт Літин	38,2	0,66	0,91	0,23	0,66	0,97	1,5
7	Південний Буг - с. Сабарів	43,5	0,60	0,70	0,26	0,61	0,75	1,2
8	Рів - с. Демидівка	33,9	0,73	1,22	0,16	0,74	1,29	1,8
9	Соб - с. Зозів	33,7	0,72	1,00	0,41	0,74	1,12	1,5
11	Південний Буг - с. Тростянчик	31,2	0,72	1,41	0,38	0,73	1,57	2,2
12	Савранка - с. Осички	17,6	0,88	2,03	0,35	0,90	2,43	2,7
13	Синиця - с. Кам'яний Брід	28,9	0,81	1,31	0,23	0,83	1,57	1,9
14	Південний Буг - с. Підгір'я	27,5	0,67	1,33	0,37	0,68	1,48	2,2
15	Кодима - с. Катеринка	13,7	1,22	3,85	0,21	1,28	5,48	4,1
16	Кодима - с. Обжила	12,3	0,79	2,9	-0,04	0,85	4,24	5
19	Синюха - с. Синюхін Брід	25,6	0,84	1,33	0,13	0,85	1,42	1,7
21	Чорний Ташлик - с.	24,9	1,01	1,63	0,18	1,03	1,81	1,8

	Тарасівка							
22	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	13,6	1,20	2,00	0,12	1,26	3,00	2,4

Продовження табл.3.2.

1	3	4	5	6	7	8	9	10
24	р.Циганка-с.Краснопілля	21,3	0,75	1,28	-0,18	0,76	1,55	2,1
25	Ятрань - с. Покотилове	20,6	1,08	2,34	-0,08	1,10	2,97	2,7
26	Велика Вись - с. Ямпіль	20,9	0,91	1,83	0,09	0,92	2,06	2,3
28	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	21,9	0,99	2,19	0,06	1,02	2,76	2,7
29	Південний Буг - смт Олександрівка	27,3	0,66	1,18	0,21	0,66	1,23	1,9
30	Мертвовід - с. Крива Пустош	19,9	0,97	1,86	-0,01	0,98	2,20	2,2
32	р.Чичиклія-с.Василівка	11,7	1,24	2,58	0,18	1,29	3,87	3
33	Гнилий Єланець - с.Женево- Криворіжжя	19,7	1,12	1,45	0,05	1,16	1,72	1,5
37	Тилігул - с. Нова-Українка	10,7	0,94	2,24	0,051	0,96	3,19	3,3
38	Громоклія - с.Михайлівка	10,9	1,11	2,34	0,12	1,14	3,14	2,8
39	Інгул - с. Новогорожено	20,2	1,09	1,65	0,24	1,10	1,83	1,7
40	Інгул - с. Седнівка	17,3	0,99	1,61	0,02	1,00	1,84	1,8
42	Інгул - м. Кіровоград	19,5	1,21	2,61	0,16	1,23	3,35	2,7
								2.2

Коефіцієнти варіації шарів стоку весняного водопілля досліджуваних річок коливаються в межах від 0.54 до 1.22 при середньому $C_v = 0.89$. В цілому коефіцієнти варіації дещо нижче ніж відповідні параметри рядів максимальних витрат води ($\overline{C_v} = 1.29$). Коефіцієнти асиметрії C_s дещо відрізняються в методах моментів і найбільшій правдоподібності. Так, моментні значення C_s знаходяться в межах від -0.87 до 3.85, тоді як правдоподібні оцінки C_s коливаються від 0.75 до 5.48, при їх середніх величинах 1.73 і 2.16, відповідно. Співвідношення між $C_s/C_v = 2.2$, вони дещо розходяться з їх значеннями для максимальних витрат води. У наступних розрахунках прийняті параметри статистичного розподілу, отримані методом найбільшій правдоподібності, а співвідношення $C_s/C_v \approx 2.0$.

Аналіз отриманих величин для максимальних снігозапасів показує, що за обома методами (найбільшої правдоподібності і моментів) отримані, загалом, збіжні значення коефіцієнтів варіації C_v . По методу найбільшої правдоподібності коефіцієнти варіації змінюються від 0.53 до 0.83 (при середньому значенні $\bar{C}_v = 0.66$). Коефіцієнти асиметрії C_s в коливаються від 0.83 до 2.32 при середньому значенні, близькому до 1.38. У методі моментів C_v змінюється від 0.53 до 0.80 при його середньому значенні 0.68. Співвідношення C_s/C_v в методі найбільшої правдоподібності коливається від 1.2 до 4.1. У середньому ж $C_s/C_v = 2.0$, що і прийнято в наступних розрахунках. Що стосується коефіцієнтів автокореляції, то для рядів максимальних витрат води вони міняються від значущих 0.47 до практично нульових -0.10.

Таблиця 3.3 – Статистичні характеристики часових рядів максимальних снігозапасів в басейні р. Південний Буг

№ п/п	Пункт	\bar{S}_m мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
			C_v	C_s	(R1)	C_v	C_s	C_s/C_v
1	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Хмельницький	49	0,67	0,81	0,02	0,67	0,84	1,3
2	Хмельник	46	0,73	1,61	-0,10	0,73	1,82	2,5
3	Вінниця	51	0,60	0,86	0,02	0,61	0,91	1,5
4	Жмеринка	53	0,60	0,80	0,13	0,60	0,83	1,4
5	Гайсин	42	0,70	0,77	0,18	0,71	0,83	1,2
6	Жашків	46	0,70	0,93	0,14	0,70	0,98	1,4
7	Звенигородка (Озерна)	46	0,79	1,35	0,32	0,80	1,53	1,9
8	Умань	45	0,64	1,00	0,185	0,64	1,00	1,7
9	Новомиргород	41	0,77	1,16	0,14	0,78	1,27	1,6
10	Гайворон	42	0,67	0,87	0,20	0,67	0,94	1,4
11	Первомайськ	39	0,73	1,36	0,29	0,74	1,55	2,1
12	Помічна	38	0,71	1,00	0,30	0,72	1,10	1,5
13	Любашівка	41	0,80	1,38	0,20	0,81	1,57	1,9
14	Вознесенськ	27	0,58	1,40	0,27	0,59	1,74	3,0

Продовження табл.3.3.

1	3	4	5	6	7	8	9	10
15	Крижопіль	47	0,69	1,80	0,05	0,70	2,32	3,3
16	Кіровоград	43	0,76	1,25	0,05	0,77	1,36	1,8
17	Бобринець	37	0,80	1,12	0,23	0,82	1,24	1,5
18	Баштанка	33	0,78	2,46	0,21	0,83	3,43	4,1
19	Сербка	23	0,60	1,64	0,47	0,64	2,13	3,3
20	Роздільна	29	0,69	1,38	0,02	0,69	1,56	2,3
21	Долинська	31	0,53	0,83	0,15	0,53	0,95	1,8
22	Одеса	35	0,54	0,85	0,04	0,55	0,94	1,7
23	Миколаїв	36	0,58	0,70	0,11	0,59	0,85	1,4
								2,0

3.5 Розрахунок максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля заданої вірогідності перевищення

По відомих значеннях статистичних параметрів \bar{Q}_m , \bar{Y}_m , C_v і C_s витрати води і шари стоку заданої забезпеченості з використанням біноміальної кривої розподілу визначаються по формулах:

$$Q_p = \bar{Q}_m \left[1 + C_v \Phi(P, C_v) \right], \quad (3.41)$$

або

$$Y_p = \bar{Y}_m \left[1 + C_v \Phi(P, C_s) \right]. \quad (3.42)$$

Як було показано вище, для максимальних витрат води співвідношення C_s/C_v для річок досліджуваної території дорівнює 2.5, а для шарів стоку - $C_s=2C_v$ (табл.3.1-3.2). Відомо, що при співвідношенні $C_s=2C_v$ не є принциповим питання про вибір кривої розподілу для встановлення витрат і шарів стоку різної ймовірності перевищення, оскільки в цьому випадку криві біноміального і трипараметричного гама-розподілу дають співпадаючі

результати у всьому діапазоні забезпеченостей. З іншого боку при $C_v > 0.5$ і $C_s/C_v > 2.0$ трипараметричний гама-розподіл дає більш надійні значення стокових характеристик, у порівнянні з кривою біноміального розподілу. Отже, враховуючи що значення коефіцієнтів варіації стокових характеристик досліджуваних річок практично у всіх випадках $C_v \geq 0.50$, для подальшого визначення максимальних витрат і шарів стоку весняного водопілля заданої ймовірності перевищення використано трипараметричний гама-розподіл С.Н.Крицького і М.Ф. Менкеля.

Відповідно до трьохпараметричного гама-розподілу:

$$Q_p = k_p \bar{Q}_m, \quad (3.43)$$

або

$$Y_p = k_p \bar{Y}_m, \quad (3.44)$$

де k_p – модульні коефіцієнти, які обирають в залежності від відношення C_s/C_v ;

По формулах (3.43) і (3.44) розраховані витрати і шари стоку заданої забезпеченості (дод. А.2 – А.3). Аналіз таблиць показує, що найбільші значення витрат води і шарів стоку доводяться на розраховані величини 1%-ї забезпеченості, найменші – на відповідні величини 10%-ї забезпеченості.

3.6 Оцінка точності початкової інформації по максимальному стоку весняного водопілля

Для об'єктивної оцінки точності обчислення максимальних витрат води різної вірогідності перевищення ($Q_{1\%}$) необхідно визначити їх середню квадратичну помилку. Середня квадратична помилка квантилів, визначених за допомогою кривої Пірсона III типу, виходячи їх двох перших вибірових

статистичних моментів і заданого співвідношення між коефіцієнтами асиметрії і варіації, по методиці Г.А.Алексєєва:

$$\sigma_{Q_{1\%}} = \frac{100}{Q_{P_{1\%}}} \sqrt{\left(1 + C_v \Phi_{P_{1\%}}\right)^2 \frac{C_v^2 \bar{Q}_m^2}{n} + \left(\Phi_{P_{1\%}} + C_s \frac{d\Phi_p}{dC_s}\right) \times \bar{Q}_m^2 C_v^2 \left(\frac{C_v^2}{n} + \frac{1 + 0,75C_s^2}{2n} - \frac{C_s}{C_v}\right)} \quad (3.45)$$

де n – кількість років спостережень;

$\frac{d\Phi_p}{dC_s}$ – приватна похідна, яка приблизно може бути обчислена за формулою:

$$\frac{d\Phi_p}{dC_s} \cong \frac{\Phi(P, C_s + \Delta C_s) - \Phi(P, C_s)}{\Delta C_s} \quad (3.46)$$

за допомогою сусідніх значень $\Phi(P, C_v)$ і $\Phi(P, C_s + \Delta C_s)$ в таблиці нормованих квантилів кривої Пірсона III типу.

С.М.Крицький та М.Ф.Менкель розробили номограми для визначення відносної стандартної помилки квантилів трьохпараметричного гама-

розподілу $\left(E_\sigma = \frac{\sigma_{Q_p} \sqrt{n}}{Q_p}\right)$ з відношеннями $C_s = 2C_v, 3C_v, 4C_v$.

Таким чином, визначивши величину E_σ по номограмі, можна знайти середню квадратичну помилку квантилів Q_p формулі:

$$\frac{\sigma_{Q_p}}{Q_p} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} 100. \quad (3.47)$$

Так як в даному випадку відношення $C_s/C_v = 2,5$, то визначення відносної середньої квадратичної помилки за допомогою номограм не виконується.

По формулі (3.47) розраховані середньоквадратичні похибки 1%-ого квантиля $Q_{1\%}$ вихідних рядів максимальних витрат. Середньоквадратична похибка складає $\pm 19\%$ (дод. А.4).

3.7 Узагальнення максимальних шарів стоку весняного водопілля та максимальних снігозапасів в межах досліджуваної території

Приступаючи до узагальнення $Y_{1\%}$ по території, необхідно, перш за все, проаналізувати вплив місцевих чинників весняного водопілля. Для з'ясування ступеню впливу на шари стоку 1 %-ої забезпеченості кожного з чинників побудовані відповідні залежності, такі як: широта, залісеність та заболоченість водозборів.

Аналізуючи залежність шарів стоку весняного водопілля 1%-ої ймовірності перевищення від широти геометричних центрів водозборів р.Південного Бугу (рис. 3.2) відзначено, що на досліджуваній території спостерігається доволі чітка залежність $Y_{1\%}$ від широтного положення водозборів. Наявність такої залежності є підставою для побудування карти.

Впливом залісеності та заболоченості у басейні річки Південний Буг можна знехтувати, оскільки вони незначні на даній території – заболоченість практично відсутня, а залісеність в середньому дорівнює 6 %. Отже, враховуючі вищесказане, побудовано карту шару стоку весняної повені $Y_{1\%}$. Ізолінії проведені через 50 мм (рис. 3.3). Значення шарів стоку змінюються від 50 до 150 мм.

Узагальнення максимальних снігозапасів. Після виконання стандартної статистичної обробки встановлена залежність середньобагаторічних максимальних запасів води в сніговому покриві S_m від географічної широти пунктів виміру снігозапасів, які збільшуються при збільшенні широти (рис.3.4). Виконане картування середньобагаторічних значень максимальних снігозапасів для відкритої місцевості, яке дає уявлення про їх просторовий розподіл на поверхні водозборів (рис.3.5).

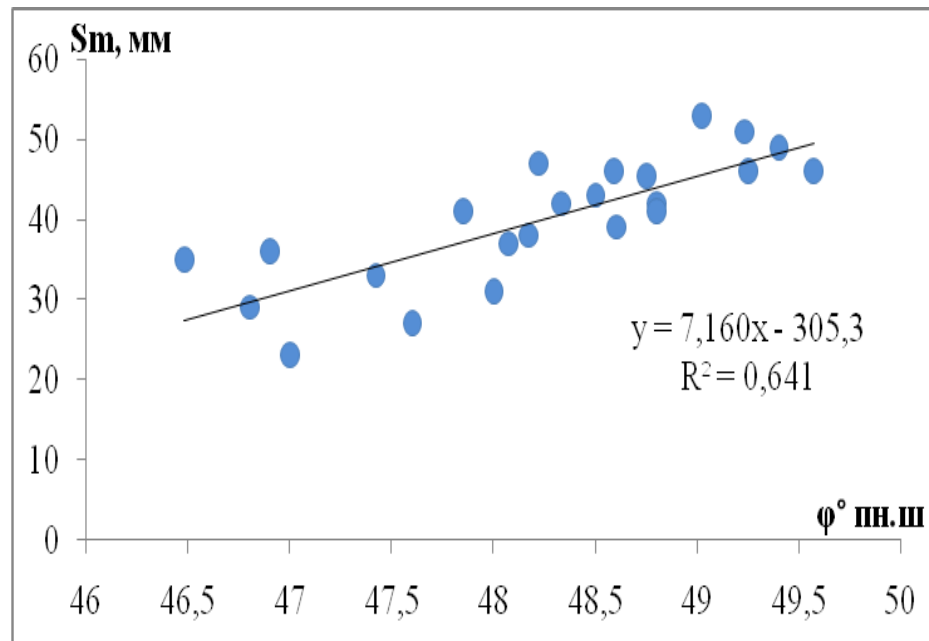


Рисунок 3.4 - Залежність максимальних снігозапасів від географічної широти пунктів виміру снігозапасів

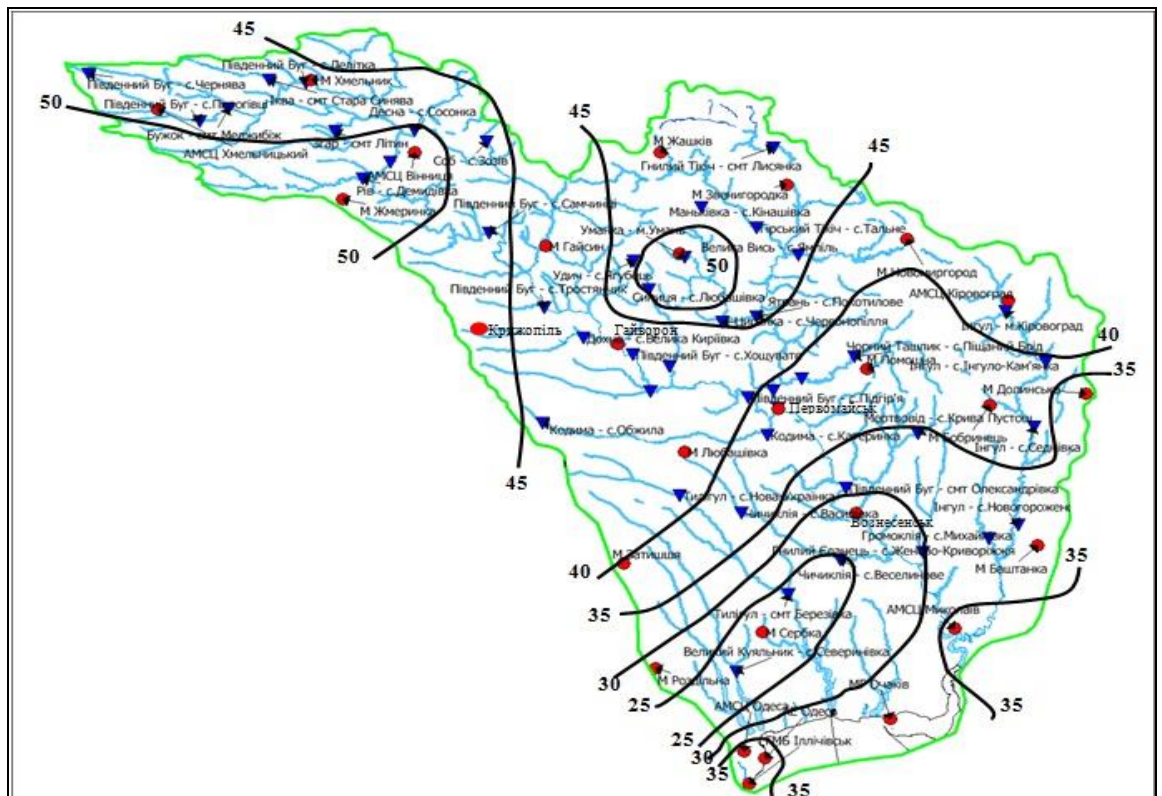


Рисунок 3.5 – Розподіл середньобагаторічних величин максимальних запасів води в сніговому покриві, мм

Ізолінії проведені через 5 мм. Найбільші значення снігозапасів спостерігаються в верхів'ї та в центральній частині басейну, а найменші - в пониззі басейну.

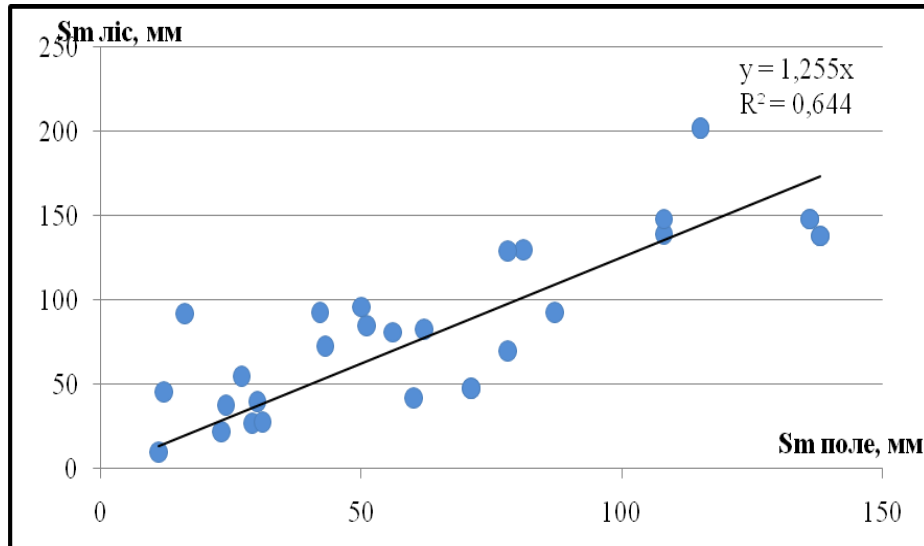


Рисунок 3.6 - Порівняння величин максимальних снігозапасів в полі і в лісі в басейні р. Південний Буг

Враховуючи відмінності в снігозаписах в полі і в лісі, при розрахунках максимального стоку снігозапаси по басейну повинні визначатися як середньозважене значення:

$$S_{m_{\text{взв}}} = S_{m_n} (1 + 0.25 f_l) \quad (3.48)$$

де f_l – залісенність водозборів, %.

3.8 Сумарне надходження води у басейн р. Південний Буг в період весняного водопілля

У розрахункових формулах максимального стоку використовується загальний шар стоку за водопілля, величина ж \bar{S}_m враховує не всі види

надходження води на водозбір. Тому необхідно враховувати кількість опадів на початку сніготанення і в процесі розвитку водопілля.

За даними метеостанцій, розташованих в розглядуваному басейні, про середню багатолітню кількість опадів X під час водопілля побудовані залежності $X = f(T)$ приклад яких показаний на рис.3.7.

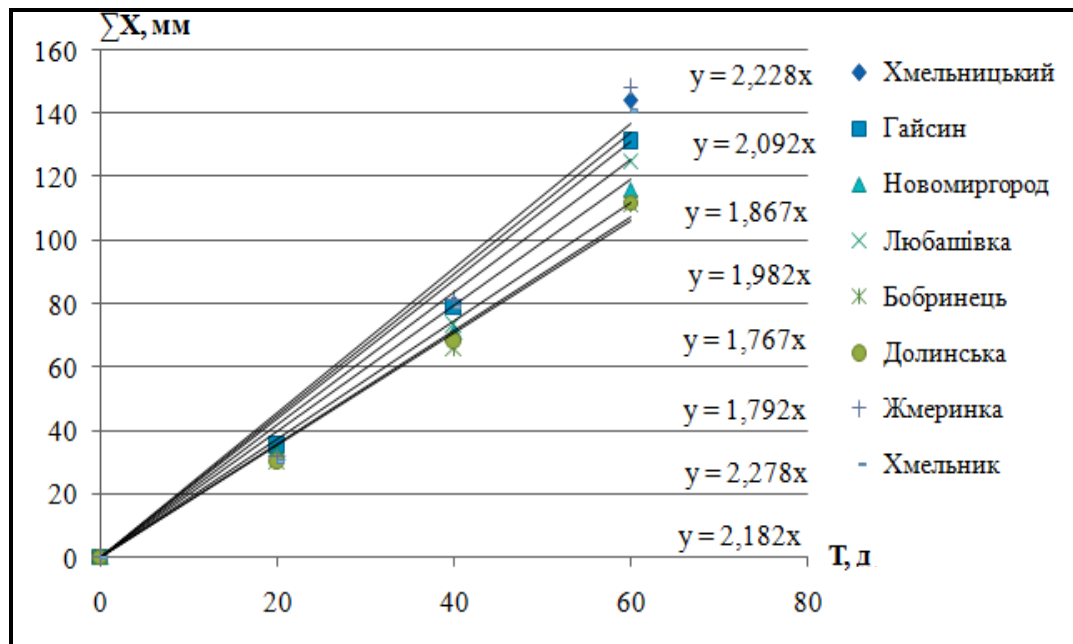


Рисунок 3.7 – Залежність суми опадів за водопілля від його тривалості в басейні р. Південний Буг

Із збільшенням широти місцевості K_t збільшується. Що стосується тривалості водопілля T_n , то вона може бути представлена у вигляді залежності від площі водозборів (рис.3.8).

У результаті аналізу залежностей $T_n = f(\lg(F + 1))$ і $X = f(T)$ отримано розрахункове рівняння для опадів X

$$\Sigma X = k_T T, \quad (3.49)$$

де $K_T = 0,21\varphi - 8,12$;

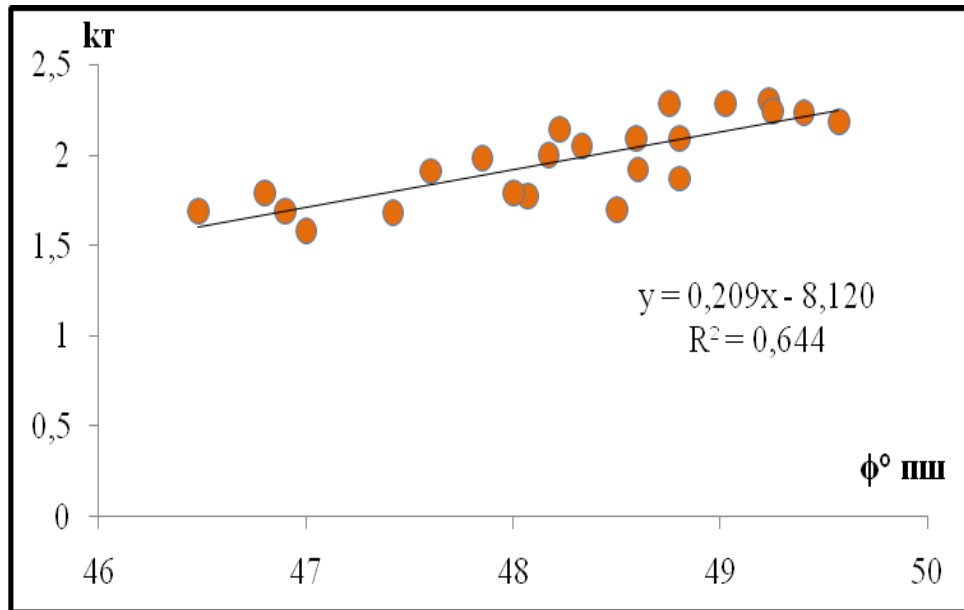


Рисунок 3.8 – Залежність коефіцієнтів наростання опадів від широти центрів тяжіння водозборів

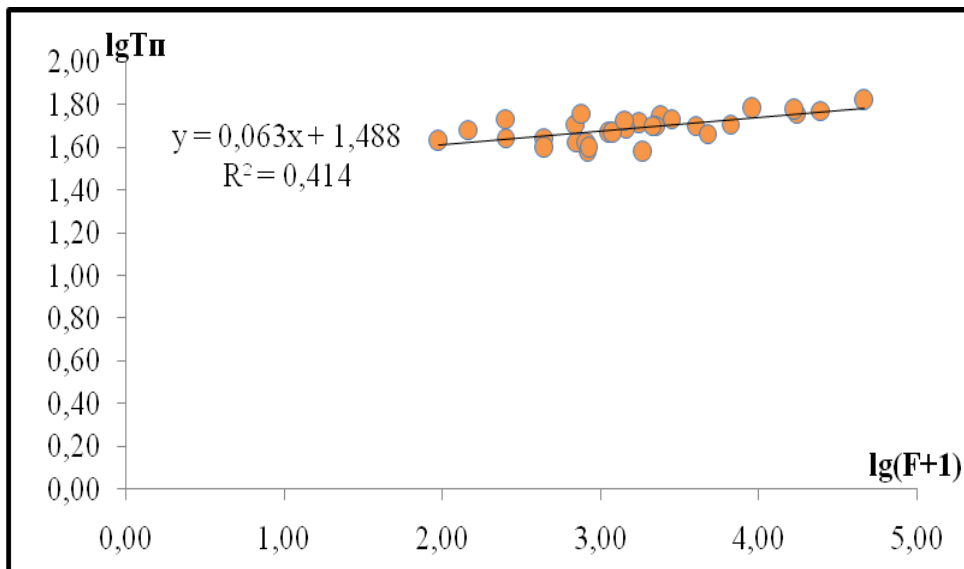


Рисунок 3.9 – Залежність тривалості весняного водопілля від площі водозборів в басейні р. Південний Буг

Тривалість весняного водопілля розраховується за формулою

$$T_n = 30,8(F + 1)^{0,06} \quad (3.50)$$

Оскільки в розрахунковій схемі нам необхідні величини заданої забезпеченості (1%-ої), то для подальших розрахунків потрібно знати значення C_v і C_s/C_v .

Побудований графік зміни коефіцієнтів варіації $(C_v)_{Sm}$, від географічної широти пунктів виміру снігозапасів (рис.3.10). Так як $(C_v)_{Sm}$ практично не змінюється з широтою, а коефіцієнт кореляції незначущий, коефіцієнт варіації та відношення $C_s/C_v = 2$ осереднені для всієї території і складають $C_v = 0,66$, а відношення $C_s/C_v = 2$.

Розрахункові значення $(Sm + X)_{1\%}$ представлені у додатку А.5.

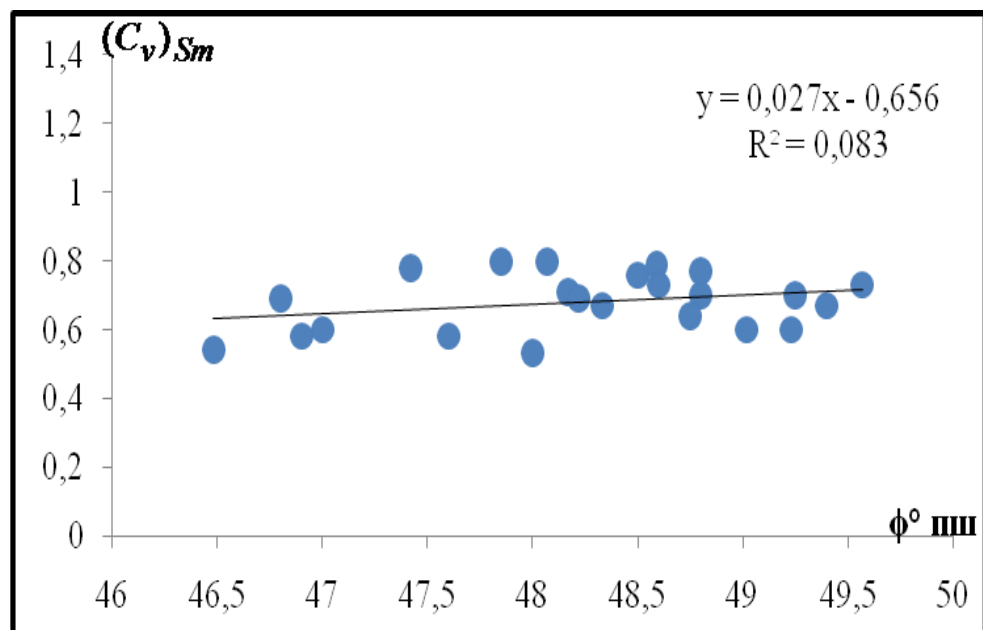


Рисунок 3.10 – Зміна коефіцієнтів варіації від географічної широти пунктів виміру снігозапасів

Для розрахунку максимальних снігозапасів і опадів на початок весняного водопілля 1%-ї забезпеченості необхідно:

- зняти з карти (рис.3.5) значення величини максимальних снігозапасів у полі;

- за формулою (3.48) розрахувати середньозважене значення снігозапасів, враховуючи вплив лісу;
- за допомогою залежностей (рис.3.8) та (рис.3.9) визначити значення величин K_T та T_{II} ;
- за формулою (3.49) розрахувати кількість опадів на початок водопілля ΣX ;
- в залежності від відношення C_S/C_V та $(C_V)_{S_m}$ обрати модульні коефіцієнти $K_{1\%}$;
- суму середньозважених значень снігозапасів S_m та опадів ΣX помножити на отриманий модульний коефіцієнт.

4 ОБГРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКОВОЇ МЕТОДИКИ

4.1 Визначення характеристик схилового припливу в басейні р.Південний Буг

При розробці розрахункових методик максимального стоку заснованих на теоретичних схемах, визначення елементів схилового припливу є важливою задачею.

В період формування максимального стоку практично неможливо безпосередньо виміряти схилу водовіддачу.

В розрахункових формулах максимального стоку, зазвичай використовуються такі характеристики схилового припливу, як коефіцієнти часової нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$ і тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі T_0 [24].

4.1.1 Обґрунтування коефіцієнтів нерівномірності схилового припливу

Коефіцієнт нерівномірності припливу води з схилів в руслову мережу є відношенням максимальної витрати до його середньої величини за період водопілля або паводку \bar{Q}_{T_0} , тобто [25,26]:

$$\frac{n+1}{n} = \frac{Q'_m}{\bar{Q}_{T_0}}, \quad (4.1)$$

Методичні підходи відносного обґрунтування $\frac{n+1}{n}$ обмежені. Ось чому заслуговує на увагу метод визначення коефіцієнту через елементи

руслового гідрографа, зокрема через коефіцієнт нерівномірності руслового стоку $(m_1 + 1)/m_1$, який дорівнює:

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{Q_m}{Q_{T_n}} = \frac{Q_m T_n}{Y_m F}, \quad (4.2)$$

де Q_m - максимальна витрата води;

T_n - підстава руслового гідрографа;

Y_m - максимальний шар стоку за повінь або паводок;

F - площа водозбору.

Узагальнення $(m_1 + 1)/m_1$ по території показало, що воно інтегрально може бути відображене за допомогою площі водозбору F . Із зростанням F під впливом ефектів русло-заплавного регулювання і часу руслового добігання відбувається зменшення відношення Q_m/Y_m , з одного боку, і збільшення підстановки гідрографів T_n - з іншою. В цілому ж $Q_m T_n / Y_m F$ характеризується поступовим зменшенням його із зростанням розмірів водозбірної площі.

Проте, існують деякі труднощі у встановлення параметра $\frac{n+1}{n}$. У ряді робіт рекомендується обчислювати $(m_1 + 1)/m_1$ через середнє багаторічні максимальні характеристики: \bar{Q}_m , \bar{Y}_m , \bar{T}_n , тобто [16]:

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_n}{\bar{Y}_m F} 86,4. \quad (4.3)$$

Обчислення за допомогою (4.3) коефіцієнти $(m_1 + 1)/m_1$ для басейну (дод.Б.1) узагальнені у вигляді залежності $(m_1 + 1)/m_1 = f(F)$ (рис. 4.1).

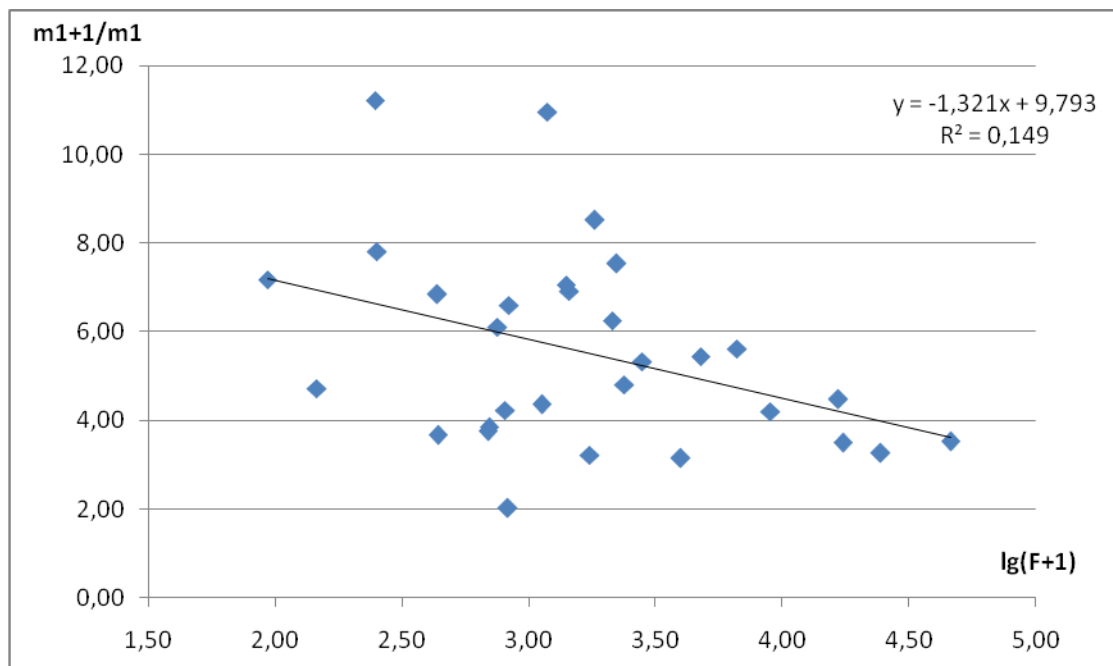


Рисунок 4.1 - Залежність коефіцієнту нерівномірності руслового притоку $(m_1 + 1)/m_1$ від площі водозборів $lg(F+1)$

Як видно з графіка розкид точок досить великий, що пов'язано з якістю початкової інформації. Проте, отримана залежність дозволяє дуже просто екстраполювати її на вісь ординат з метою встановлення $\frac{n+1}{n}$, як значення

$$\left(\frac{m_1 + 1}{m_1}\right)_{F \rightarrow 0} = \frac{n+1}{n}. \quad \text{Для р. Південний Буг можна прийняти } \frac{n+1}{n} = 9,8,$$

звідки $n=0,10$.

4.1.2 Розрахунок та узагальнення за територією тривалості схилового припливу

Звертаючись до аналізу методів розрахунку максимального стоку річок, можна відзначити, що в більшості з них тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі є одним з обов'язкових базових параметрів.

У двох операторній схемі трансформації водоутворення в русловий гідрограф тривалість схилового припливу T_0 за інших рівних умов, визначається передусім мірою зарегулювання стоку на схилах [25,26].

а) при $t_p < T_0$

$$T_0 = \left(\frac{\varepsilon_F Y_m}{n q_m} \right)^{\frac{n+1}{n}} \left[(n+1)T_0 - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}; \quad (4.4)$$

б) при $t_p > T_0$

$$T_0 = \left[\left(\frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{y_m \varepsilon_F} t_p \right) \frac{m(n+m+1)}{n+1} t_p^m \right]^{\frac{1}{m}}. \quad (4.5)$$

При масових розрахунках нульове наближення треба починати зверху з деякого числа, яке явно перевищує фізичні межі T_0 , але не менше t_p . Якщо на якомусь кроці ітераційної процедури послідовність T_{0i} розходиться, тривалість припливу обчислюється алгебраїчним шляхом з рівняння (4.5).

Для басейну даних річок значення T_0 розраховані з використанням програми "Сагуар T_0 ", розробленої на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ. Результати розрахунків приведені в додатку Б.2. Наступним етапом розрахунків буде узагальнення параметра T_0 по території. В цьому випадку використане картування (рис. 4.2). Значення T_0 змінюється від 150 до 400 годин.

В цілому розподіл по території тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі в період весняного водопілля носить доволі складний характер. Найбільші значення тривалості припливу відмічаються у верхів'ях Південного Бугу, Кодими і Тилігулу (300-400 год). В середньому по території тривалість припливу становить 150-200год.

Вихідні дані для визначення значень η приведені в табл. 4.1. Коефіцієнти стоку розраховані за рівнянням (4.7) змінюються від 0.13 до 0.30.

Таблиця 4.1 – Розрахунок коефіцієнтів стоку весняного водопілля в басейні р.Південний Буг

№ з/п	Річка – пост	F, км ²	(Sm _{зв} +ΣX) _{1%} , мм	Y _{1%} , мм	η
1	2	3	4	5	6
1	Південний Буг - с. Пирогівці	827	447	90	0,20
2	Бужок - смт Меджибож	698	440	106	0,24
3	Іква - смт Стара Синява	439	432	149	0,35
4	Південний Буг - с. Лелітка	4000	473	138	0,29
5	Згар - смт Літин	692	443	118	0,27
6	Південний Буг - с. Сабарів	9010	489	134	0,28
7	Рів - с. Демидівка	1130	447	119	0,27
8	Соб - с. Зозів	92,5	393	118	0,30
9	Південний Буг - с. Тростянич	17400	500	109	0,22
10	Савранка - с. Осички	1740	413	73	0,18
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	753	406	114	0,28
12	Південний Буг - с. Підгір'я	24600	491	85	0,17
13	Кодима - с. Катеринка	2390	402	86	0,21
14	Кодима - с. Обжила	145	373	48	0,13
15	Синюха - с. Синюхін Брід	16700	451	101	0,22
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	397	120	0,30
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	1830	391	79	0,20
18	р.Циганка-с.Краснопілля	248	384	75	0,19
19	Ятрань - с. Покотилове	2140	433	104	0,24
20	Велика Вись - с. Ямпіль	2820	426	92	0,22
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	1450	440	106	0,24
22	Південний Буг - смт Олександрівка	46200	491	84	0,17
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	252	348	87	0,25
24	р.Чичиклія-с.Василівка	436	359	68	0,19
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	1190	351	104	0,30
26	Тилігул - с. Нова-Українка	810	357	47	0,13
27	Громокля - с.Михайлівка	1410	360	58	0,16
28	Інгул - с. Новогорожено	6670	408	102	0,25
29	Інгул - с. Седнівка	4770	421	80	0,19
30	Інгул - м. Кіровоград	840	402	113	0,28

Подальша задача полягала в узагальненні отриманих значень по території басейну Південного Бугу. В результаті побудований графік залежності η від центрів тяжіння водозборів (рис.4.3). Залежність коефіцієнта стоку від широти центрів тяжіння водозборів характеризується значущим коефіцієнтом кореляції. Це дало підставу для картування даної величини (рис.4.4).

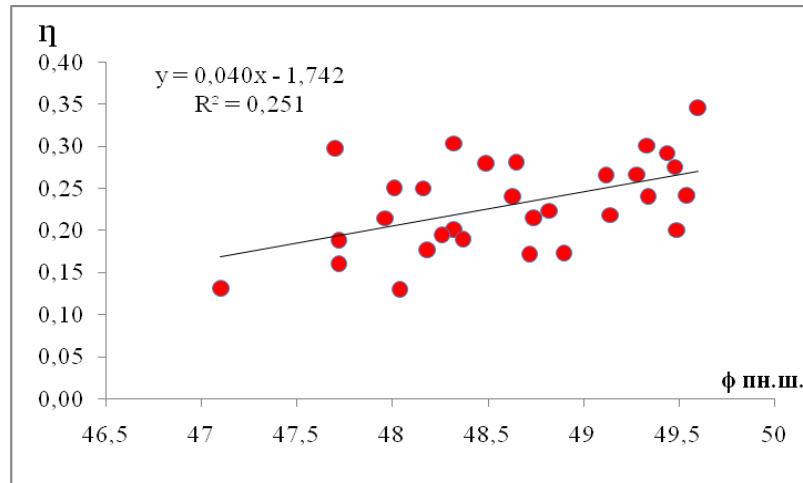


Рисунок 4.3 – Графік залежності коефіцієнта стоку η від широти центрів тяжіння водозборів

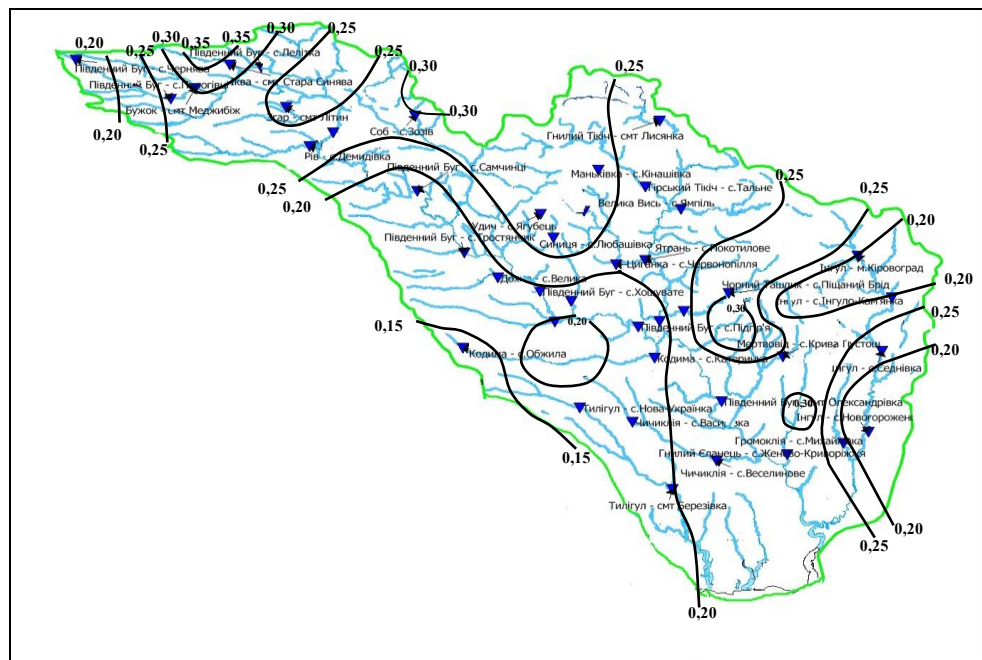


Рисунок 4.4 – Карта-схема розподілу коефіцієнта стоку по території басейну р.Південний Буг

4.3 Трансформаційні функції максимального стоку

Максимальний модуль стоку води зі схилів до руслової мережі q'_m під впливом трансформаційних ефектів, пов'язаних з переміщенням хвиль водопілля, їх регулюванням русло-запальною ємністю і водоймами проточного типу (озерами, сховищами, ставками) піддається редукції і тим у більшому ступені, чим більше розміри річок. Зупинимося на тій частині редукції q'_m , що обумовлена часом руслового добігання t_p , а також характером припливу води зі схилів до руслової мережі і будовою гідрографічної мережі.

Кількісно міра трансформації максимальних модулів під впливом часу руслового добігання визначається за допомогою функції по рівняннях:

а) при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n, \quad (4.8)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]. \quad (4.9)$$

де t_p – час руслового добігання обчислюється вираженням [27]:

$$t_p = \frac{L}{V_\partial}, \text{ год.} \quad (4.10)$$

де L – гідрографічна довжина потоку, км;

V_∂ – швидкість добігання км/год.

Більшість авторів пропонують використовувати формулу:

$$V_{\partial} = a_1 Q^{\alpha} I^{\beta}, \quad (4.11)$$

де a_1 – коефіцієнт, який враховує форму перетину і шорсткість русла, названий швидкісним;

α і β – гідравлічні показники.

Якщо виразити Q через площу водозбору формулу швидкості руслового добігання можна записати в розрахунковому варіанті [27]:

$$V_{\partial} = a_2 F^{\alpha_2} I^{0,33}, \text{ км/год} \quad (4.12)$$

де a_2 – швидкісний параметр, представлений в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Параметри формули швидкості добігання для річок України

	Лісостепова зона	Полісся	Степова Зона	Крим	Карпати
a_2	1,51	1,37	1,19	1,14	1,44
α_2	0,17	0,12	0,14	0,13	0,16

Для басейну р. Південний Буг формула для розрахунку швидкості добігання, враховуючи дані табл. 4.2, має вигляд:

$$V_{\partial} = 1,51 F^{0,17} I^{0,33}, \text{ км/год.} \quad (4.13)$$

Загалом для басейну р. Південний Буг коефіцієнт нерівномірності припливу води зі схилів в руслову мережу в період водопілля $\frac{n+1}{n} = 9,8$, а

$n=0,10$. З урахуванням цих даних і, приймаючи $m=1,0$ запишемо рівняння для трансформаційної функції $\psi(t_p/T_0)$:

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - 0,82 \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^{0,10}. \quad (4.14)$$

Встановлення для кожного водозбору $\psi(t_p/T_0)$ здійснюється за схемою:

1. Час руслового добігання t_p обчислюється за (4.10).
2. Тривалість схилового припливу T_0 визначається за картою (рис.4.2).
3. Для всіх пунктів знаходиться співвідношення t_p/T_0 .
4. За допомогою (4.14) розраховуються ординати трансформаційної функції $\psi(t_p/T_0)$. Отримані значення можуть бути узагальнені в залежності від співвідношення t_p/T_0 . Приклад такої залежності для басейну Південного Бугу показаний на рисунку 4.5.

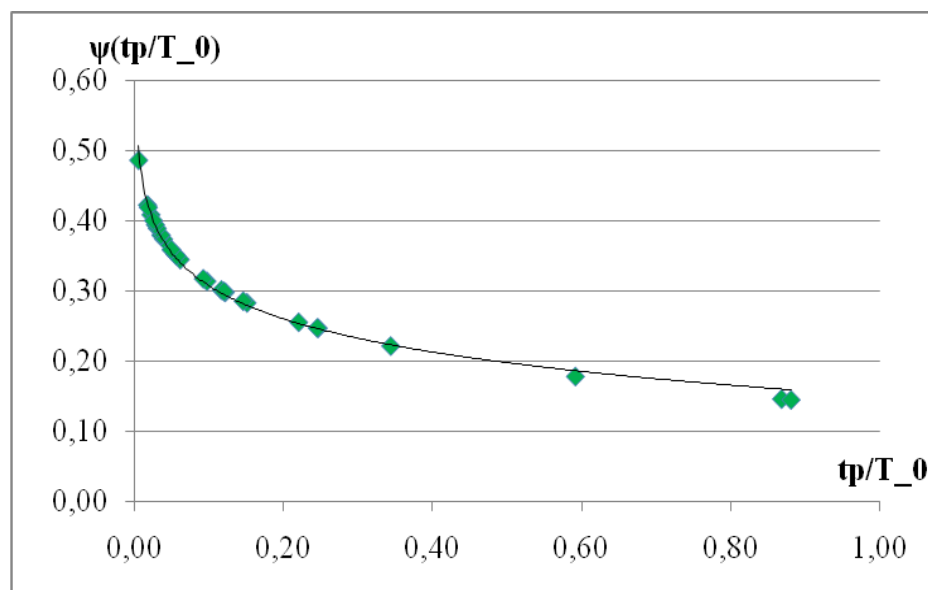


Рисунок 4.5 – Трансформаційна функція $\psi(t_p/T_0)$ для басейну Південного Бугу

Значення трансформаційної функції змінюються від 0,14 до 0,49 (дод.Б.4).

4.4 Коефіцієнт русло-заплавного регулювання і водообміну

Вплив русло-заплавного регулювання на максимальний стік визначається за допомогою коефіцієнта, який є функцією ε_F убутного виду (з верхнім граничним значенням $\varepsilon_F=1,0$ при $F \rightarrow 0$) із збільшенням водозбірної площі. Розрахувати її можна за допомогою формули:

$$\varepsilon_F = \frac{q_m/q'_m}{\psi(t_p/T_0)}. \quad (4.15)$$

Редукція максимального модуля q_m/q'_m може бути описана рівнянням:

$$q_m/q'_m = \frac{1}{(F+1)^{n+1}}. \quad (4.16)$$

Для визначення цього коефіцієнта початковими даними являються величини модуля похилого припливу q'_m . Отримані для усіх постів значення

$\frac{q_{1\%}}{q'_m}$ (дод.Б.3) в логарифмічних координатах наносяться на графік

$\left(\frac{q_{1\%}}{q'_m}\right) = f(F)$ (рис. 4.6). З рисунку видно, що залежність добре виражена.

Для досліджуваної території показник ступеня $n_1=0,29$, а (4.16) набуває вигляду:

$$q_m/q'_m = \frac{1}{(F+1)^{0,30}}. \quad (4.17)$$

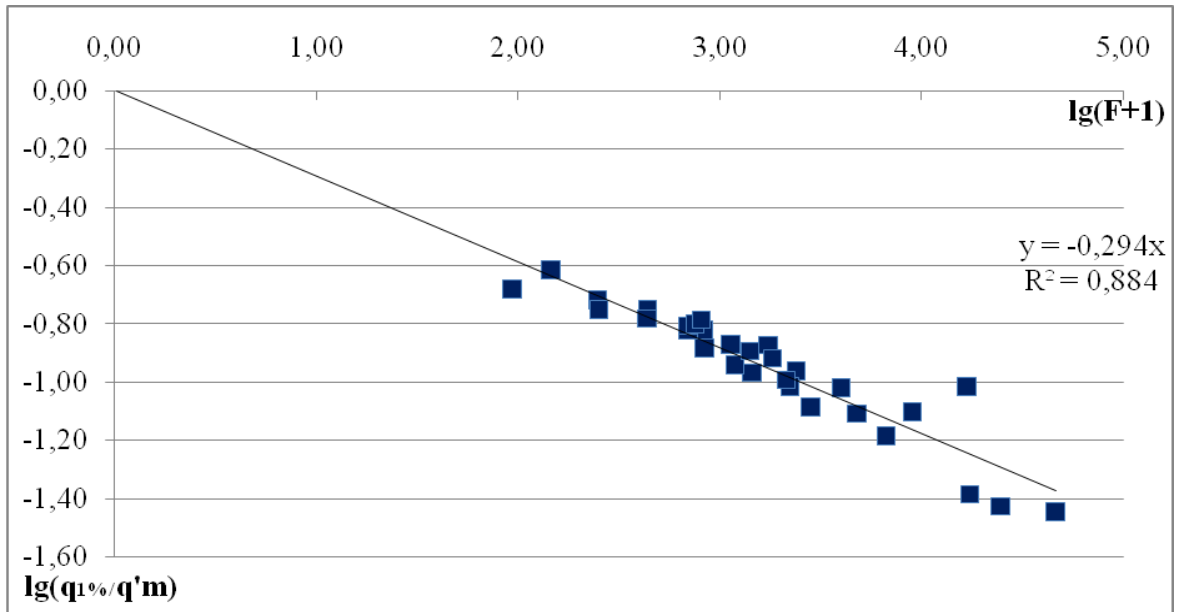


Рисунок 4.6 - Залежність співвідношення $q_{1\%}/q'_m$ від площі водозбору F

З урахуванням рівняння (4.17) обмежені значення ε_F змінюються у межах від 0,17 до 0,63 (дод.Б.4) та узагальнені у вигляді залежності від площі водозборів (рис.4.7).

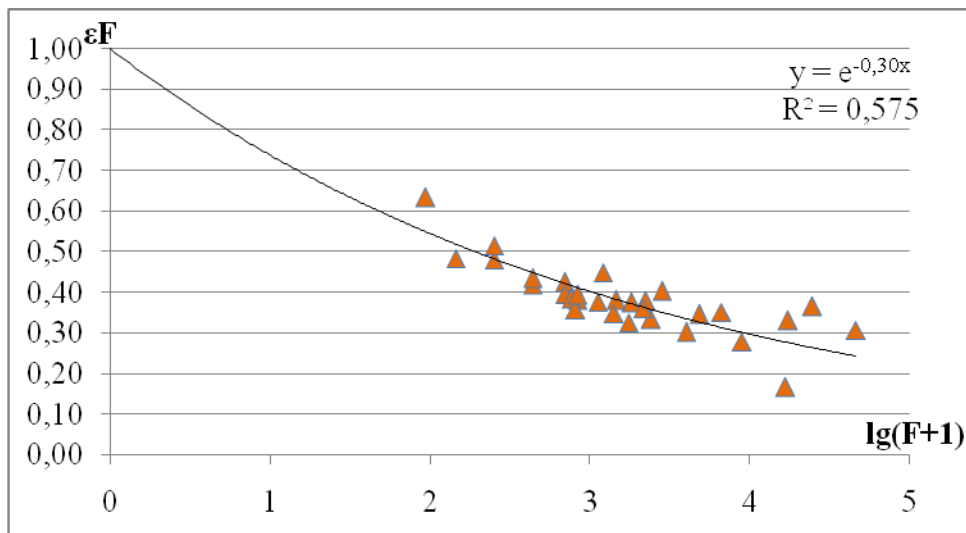


Рисунок 5.4 - Залежність коефіцієнту русло-заплавного регулювання та водообміну ε_F від площі водозбору F

Розрахункове рівняння має вигляд:

$$\varepsilon_F = \exp^{-0.30Lg(F+1)} \quad (4.18)$$

де F - площа водозбору, км².

4.5 Перевірочні розрахунки

1. Розрахункова формула для максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Південний Буг має вигляд :

$$q_{p\%} = q'_{1\%} \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \lambda_P, \text{ м}^3/\text{скм}^2 \quad (4.19)$$

Для того, щоб підрахувати $q_{p\%}$ необхідно мати такий мінімум початкових даних : площу водозбору F (км²), довжину річки L (км), середньозважений ухил I_{cp} (‰).

Порядок розрахунку:

1. Для розрахунку $q'_{1\%}$ параметри визначаються в такій послідовності:

1.1. Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу $\frac{n+1}{n}$, узагальнений по території, дорівнює 9,8;

1.2. Тривалість припливу води зі схилів в руслову мережу T_0 визначаються по карті (рис. 4.2) для центрів тяжіння водозборів;

1.3 Максимальний шар стоку весняного водопілля $Y_{1\%}$ так само визначається по карті (рис. 3.3).

2. Трансформаційна функція $\psi(t_p / T_0)$ розраховується, залежно від співвідношення t_p і T_0 , n і m .

2.1. Час руслового добігання t_p встановлюється по гідрографічній довжині L і швидкості добігання V_D з урахуванням a_2 і α_2 , які приведені в таблиці 4.2. Сама ж швидкість паводкової хвилі визначається по (4.13).

3. Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F встановлюється за залежністю $\varepsilon_F = f(F)$.

4. Коефіцієнт λ_p , який дозволяє переходити від опорної ймовірності 1% до інших, представлений в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 - Коефіцієнт ймовірності λ_p

P, %	1	3	5	10
λ_p	1,00	0,80	0,67	0,53

Точність розрахунків може бути визначена за виразом як:

$$\Delta = \frac{|q_{1\%P} - q_{1\%Ф}|}{q_{1\%Ф}} \cdot 100\% \quad (4.20)$$

де $q_{1\%Ф}$ - фактичні значення $q_{1\%}$;

а $q_{1\%P}$ - розраховані за методикою.

Середнє відхилення розрахункових даних від фактичних по басейну, складає 12,8 % (дод. Б.5), що відповідає допустимим нормам.

2. Пропонується також інший варіант визначення максимального модуля схилового припливу q'_m , який обчислюється за формулою:

$$q'_{1\%} = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_m + \sum X)_{1\%} \eta, \text{ м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2, \quad (4.21)$$

де η – коефіцієнт стоку;

S_m – максимальні снігозапаси до початку водопілля;

X – кількість опадів від дати S_m до закінчення водопілля.

Водоподача на водозбір визначається за формулою

$$(S_m + \sum X)_{1\%} = (\bar{S}_m + \sum X)k_{1\%}, \quad (4.22)$$

де \bar{S}_m - середня багаторічна величина максимальних снігозапасів на початок водопілля, яка знімається з карти (рис.3.5) по центру тяжіння водозборів;

$k_{1\%}$ - модульний коефіцієнт забезпеченості $P = 1\%$, який розраховується за допомогою таблиць трипараметричного гама-розподілу, маючи на увазі, що $k_{1\%} = f(P = 1\%; C_v; C_s / C_v = 2.0)$.

Результати перевірочних розрахунків по двох варіантах розрахунку (з використанням даних по шарам стоку і максимальних снігозаписах) свідчать про те, що середнє відхилення розрахункових величин від вихідних значень при розрахунках по першому варіанту склало $\pm 12,8\%$, по другому - $\pm 13,6\%$ (табл.Б.6-Б.7). Це повною мірою задовольняє точності вимірювання максимальних витрат води на стаціонарній мережі Гідрометслужби України.

5 ВРАХУВАННЯ ВПЛИВУ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА МАКСИМАЛЬНИЙ СТІК ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ ПІВДЕННОГО БУГУ

Процес глобального потепління клімату Землі, що відмічається останніми десятиліттями, пов'язується зі змінами у великомасштабному гідрологічному циклі, а саме: збільшення вмісту водяної пари в атмосфері; зміна режиму, інтенсивності і екстремальних величин опадів; зменшення снігового покриву і широкомасштабне танення льоду; зміни кількості ґрунтової вологи і об'єму стоку [27].

При виконанні гідрологічних розрахунків, зокрема визначенні максимальних витрат води заданої ймовірності перевищення, необхідно враховувати довгострокові тренди в ході стокоформуєчих факторів.

В 2014 році світовій спільноті були представлені матеріали П'ятої фази Проекту порівняння спільних моделей (ППСМ5) Всесвітньої програми досліджень клімату, в якій використовується новий набір сценаріїв, а саме Репрезентативні траєкторії концентрацій (РТК).

Проекції змін у всіх компонентах кліматичної системи ґрунтуються на результатах модельних імітацій з використанням нового набору сценаріїв РТК, заснованих на концентраціях вуглецю в атмосфері, на відміну від сценаріїв викидів, що використовувалися в Четвертій оціночній доповіді [28].

РТК визначаються приблизною сумарною величиною радіаційної дії (РД) в 2100 році в порівнянні з 1750 роком, яка дорівнює відповідно:

- 2,6 Вт·м⁻² для РТК2.6;
- 4,5 Вт·м⁻² для РТК4.5;
- 6,0 Вт·м⁻² для РТК6.0;
- 8,5 Вт·м⁻² для РТК8.5.

З чотирьох нових сценаріїв один передбачає скорочення викидів з вельми низьким рівнем дії (РТК2.6), два сценарії передбачають стабілізацію викидів (РТК4.5 і РТК6.0) і один сценарій відповідає вельми високим рівням

викидів парникових газів (РТК8.5). Згідно РТК6.0 і РТК8.5, радіаційна дія не досягає максимального значення до 2100 г.; в РТК2.6 вона досягає максимуму і потім знижується; в РТК4.5 вона стабілізується до 2100р.

Усі сучасні методики, які використовуються для розрахунку стоку річок, як в нашій країні так і за її межами, ґрунтуються на припущенні стаціонарності формування багаторічного річного стоку. Вважається, що забезпечене проектне значення витрати води, яке отримане шляхом статистичної обробки за минулі роки, залишиться таким же і в майбутньому. Але на сучасному етапі вже спостерігається статистична нестаціонарність гідрометеорологічних процесів, яка підтверджена інструментально потеплінням клімату.

Авторами роботи [29] пропонується методика врахування кліматичних змін в рамках генетичної моделі максимального стоку паводків і водопіль операторного виду. Ця модель дає можливість вводити «кліматичні поправки» безпосередньо до максимальних снігозапасів та стокоформуючих опадів під час весняного водопілля та паводків, а також до коефіцієнтів стоку.

Для оцінки можливих змін характеристик максимального стоку весняного водопілля в роботі [8] представлені залежності середньобагаторічних снігозапасів від середньобагаторічної температури, опадів за період водопілля від середньобагаторічної їх величини та залежність коефіцієнта стоку від температури. Описуються вони лінійними рівняннями з високими коефіцієнтами кореляції:

$$S_m = 0,204\bar{X} - 68,3; r = 0,88; \quad (5.1)$$

$$X(III - V) = 0,22\bar{X}; r = 0,82; \quad (5.2)$$

$$\eta = 1 - 0,102(\bar{t} - 4); r = 0,90, \quad (5.3)$$

де \bar{X} та \bar{t} – середньорічні значення опадів та температури повітря.

Отже, в залежності від розрахованих за однією з моделей та відповідним сценарієм, прогнозних значень X можна внести відповідну поправку до значень снігозапасів та опадів під час водопілля.

Отримані результати свідчать про наявність сталих зв'язків між характеристиками, які визначають об'єм водопілля і основними кліматичними характеристиками - опадами і температурою повітря, і отже про можливість безпосереднього врахування змін клімату на стік водопілля [27].

З метою отримання прогнозних значень річної температури на території басейну Південного Бугу використано модель RASMO2 <https://crudata.uea.ac.uk/projects/ecochange/climatedata/tables/ek.htm>.

Використані прогнозні значення за двома сценарієм: RCP 4.5 та RCP 8.5.

Розрахунковими складовими є $(S_m + \Sigma x)$, по яких і проводилась оцінка впливу змін клімату. Якщо прийняти, що в сценарних варіантах тривалість схилового припливу T_0 зберігається незмінною по відношенню до базових величин, то тоді досить просто можна встановити коефіцієнти змін витрат води весняного водопілля [27]

$$k_{зм} = \frac{(\bar{S}_m + \bar{X})_{прогн} \eta_{прогн}}{(\bar{S}_m + \bar{X})_{2010} \eta_{2010}} \quad (5.4)$$

де $(\bar{S}_m + \bar{X})_{прогн}$ та $\eta_{прогн}$ – прогнозні значення максимальних снігозапасів, опадів під час водопілля та коефіцієнти стоку, відповідно;

$(\bar{S}_m + \bar{X})_{2010}$ та η_{2010} – значення максимальних снігозапасів, опадів під час водопілля та коефіцієнтів стоку, які розраховані станом на 2010 р.

Розрахунок коефіцієнтів кліматичних змін для річок басейну Південний Буг за сценаріями RCP 4.5 (для періодів: 2011-2016рр., 2017-2020рр., 2021-2035рр., 2036-2039рр. та 2040-2059рр.) та RCP 8.5 (для

періодів: 2011-2014рр., 2015-2020рр., 2021-2036рр., та 2037-2050рр.) для моделі RASMO2 представлені у вигляді графіків (рис.5.1 та рис.5.4) та картограм зміни прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату (рис.5.2, рис.5.3, рис.5.5, рис.5.6 та додатки В.1-В.5).

Отже, аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що в басейні р.Південний Буг величини стоку під час весняного водопілля в майбутньому можуть суттєво змінитись.

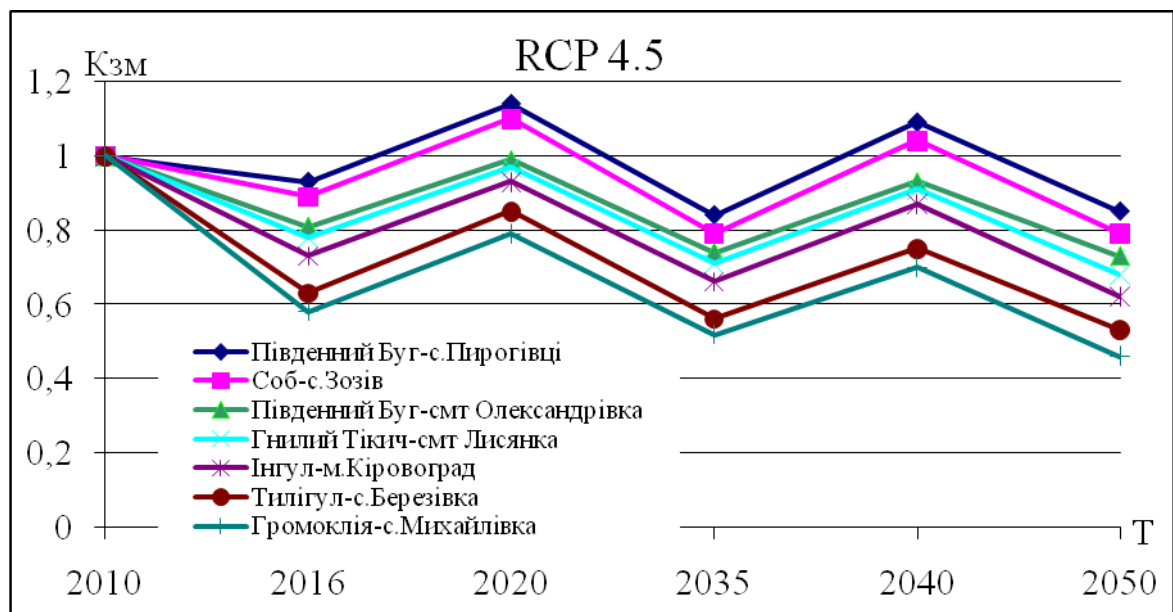


Рисунок 5.1 – Прогноз весняного водопілля річок басейну Південного Бугу (модель RASMO2)

Згідно отриманих результатів за моделлю RASMO2, за сценарієм RCP 4.5, в коефіцієнтах змін клімату спостерігається певна циклічність. Так коефіцієнти змін клімату вказують на зменшення стоку для періоду 2011-2016рр., у верхній частині басейну (р. Південний Буг – с. Пироговці) $k_{зм} = 0,93$, а у нижній частині басейну (р. Громоклія - с.Михайлівка) $k_{зм} = 0,58$, тобто прогнозується зменшення стоку майже вдвічі. Для наступного періоду (2017-2020рр.), коефіцієнти змін клімату вказують на збільшення стоку, порівняно з попереднім періодом, і дорівнюють $k_{зм} = 1,14$

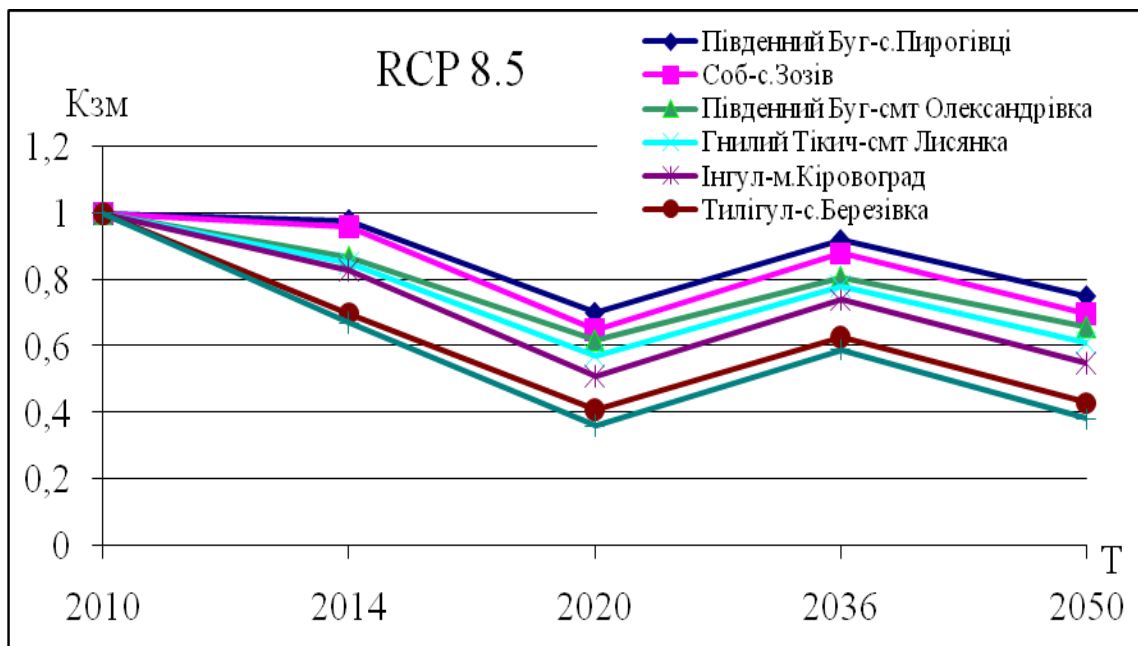


Рисунок 5.4 – Прогноз весняного водопілля річок басейну Південного Бугу (модель RASMO2)

Схожі результати отримані при розрахунках кліматичних змін за сценарієм RCP 8.5: коефіцієнти змін клімату вказують на зменшення стоку для періодів 2011-2014рр., та 2015-2020рр., так у середньому по басейні $k_{зм} = 0,84$, тобто прогнозується зменшення стоку. Для наступного періоду (2021-2036рр.), коефіцієнти змін клімату вказують на збільшення стоку, порівняно з попередніми періодами, і дорівнюють $k_{зм} = 0,92$ у верхній частині басейну (р. Південний Буг – с. Пироговці) та $k_{зм} = 0,59$ у нижній частині басейну (р. Громоклія - с. Михайлівка). Для наступного періоду 2037-2050рр. коефіцієнти змін клімату дорівнюють $k_{зм} = 0,75$ (р. Південний Буг – с. Пироговці) та $k_{зм} = 0,38$ (р. Громоклія - с. Михайлівка), що говорить про зменшення стоку. В цілому за сценарієм RCP 8.5 спостерігається зменшення стоку до 60%.

Для більшої наглядності представлені карто-схеми першого (2011-2016рр.) та останнього періодів (2040-2059рр.).

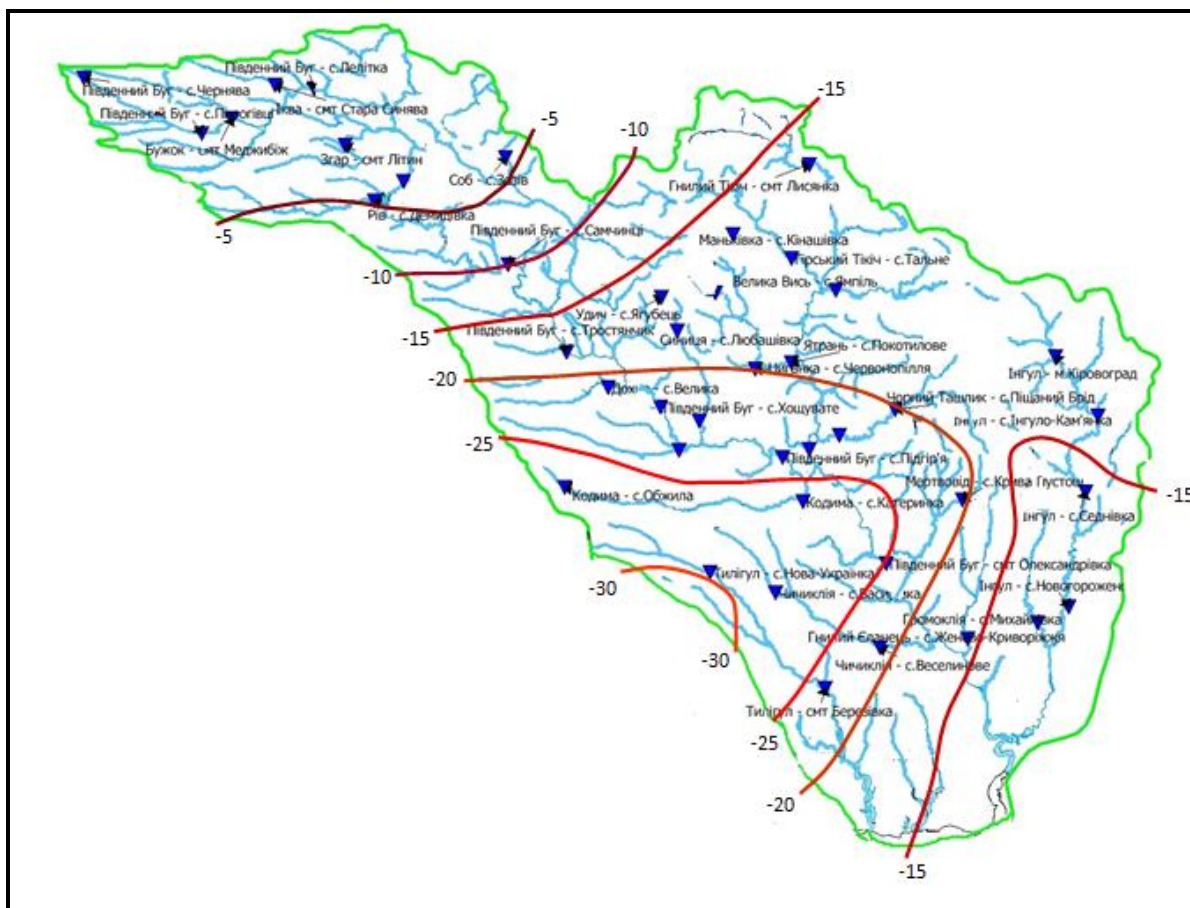


Рисунок 5.5 - Карта-схема розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за сценарієм RCP 8.5 (період 2011-2014рр.)

В цілому для періоду 2011-2014рр. (рис.5.5) розподіл по території прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату носить доволі складний характер. Ізолінії на карті проведені через 5 і змінюються в напрямку з північного заходу на південь від -5 до -30. Найменші зменшення стоку спостерігаються у верхів'ях Південного Бугу, а найбільші – в басейні Тилігулу.

Для періоду 2037-2050рр. (рис.5.6) ізолінії на карті проведені через 5 і змінюються в напрямку з північного заходу на південь від -25 до -60. Найменші значення коефіцієнту змін стоку відмічаються у пониззі басейну, а найбільші - в верхів'ях Південного Бугу.

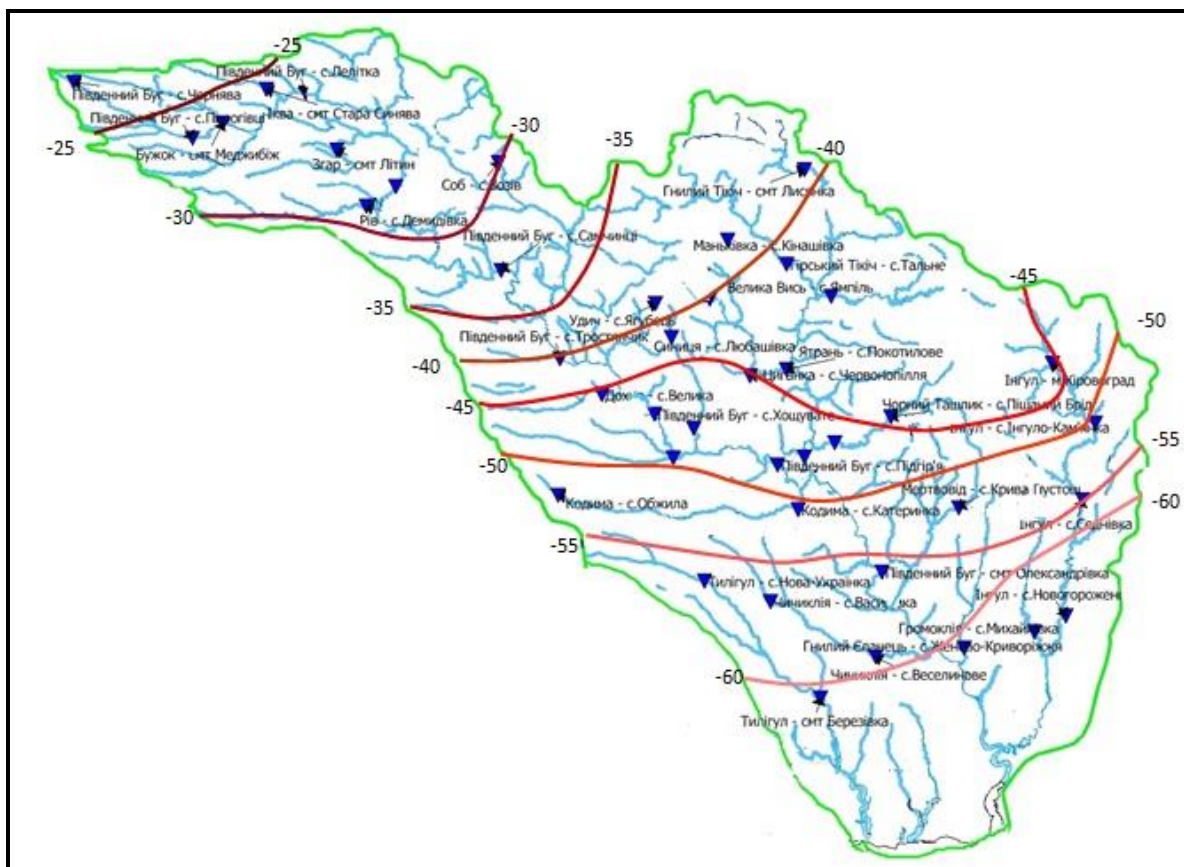


Рисунок 5.6 - Карто-схема розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за сценарієм RCP 8.5 (період 2037-2050pp.)

Отже, аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що в басейні р. Південний Буг величини стоку під час весняного водопілля в майбутньому можуть суттєво змінитись. Також слід відзначити, що результати розрахунків для двох різних сценаріїв дещо розрізняються, на нашу думку для розглядуваної території більш прийнятною є сценарій RCP4.5.

З метою попередньої оцінки виконаних прогнозів досліджено хронологічний хід максимальних витрат води весняного водопілля для поста з найдовшим рядом спостережень р.Південний Буг – Олександрівка. Побудований хронологічний графік максимальних витрат води (у модульних коефіцієнтах), за даними багаторічних спостережень стаціонарної мережі (станом на 2016 р.), свідчить про наявність значущого від'ємного тренду

(рис.5.7). Таким чином прогноз щодо зменшення максимальних витрат води у період весняного водопілля на період 2011-2016 приблизно на 20% за обома сценаріями підтверджується.

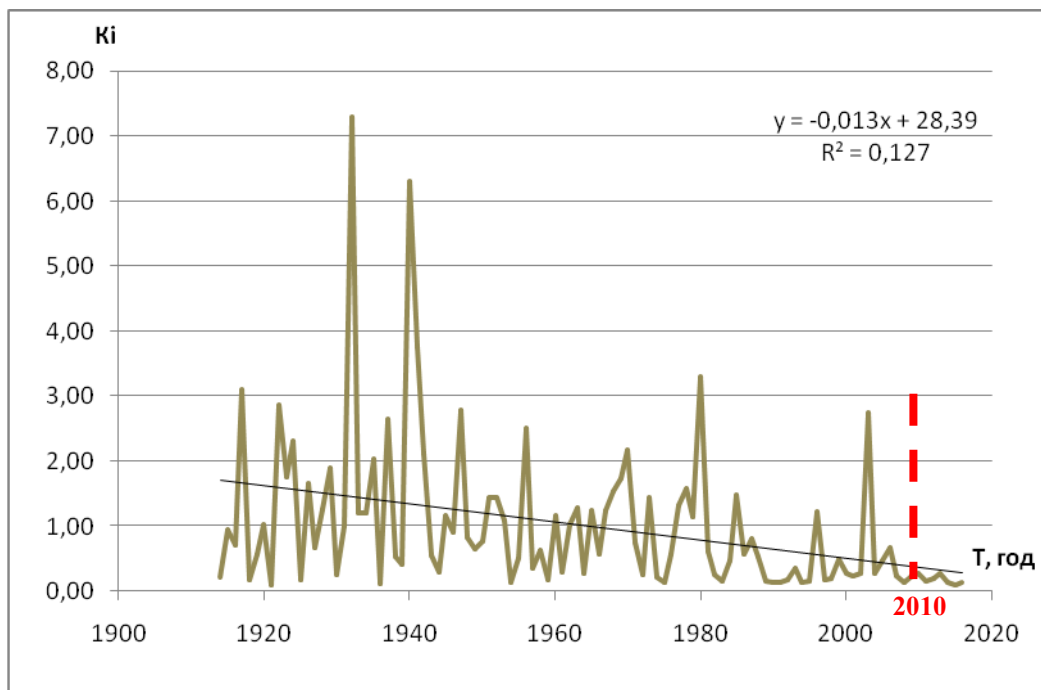


Рисунок 5.7 – Хронологічний графік ходу максимальних витрат води весняного водопілля р.Південний Буг-с.Олександрівка, F=46200 км²

ВИСНОВКИ

В даній магістерській роботі розроблена регіональна формула для розрахунку максимального стоку весняного водопілля для басейну річки Південний Буг та оцінена його можлива зміна у майбутньому.

Досліджувався водозбір річки Південний Буг. Для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля використані дані по 30 гідрологічних постах з періодом спостережень від їх початку по 2010 рік включно, та з діапазоном площ водозборів від 92,5 км² (р.Соб - с. Зозов) до 46200 км² (р. Південний Буг – смт Олександрівка).

Статистична обробка рядів максимальних витрат, шарів стоку та максимальних снігозапасів виконана по методах моментів та найбільшої правдоподібності.

В результаті статистичної обробки отримані основні характеристики стокових рядів, а також розраховані витрати води та шари стоку весняного водопілля різної забезпеченості (1, 3, 5, 10%).

Середньоквадратична похибка 1%-го квантиля вихідних рядів максимальних витрат, розрахована за методикою Г.А.Алексєєва, склала 19%. Величини шарів стоку Y_m , середньобагаторічних максимальних запасів води в сніговому покриві S_m , тривалість схилового припливу T_0 , коефіцієнт стоку η , та прогнозні величини коефіцієнтів змін клімату за різними сценаріями узагальнені для всієї території басейну у вигляді карт.

Коефіцієнти варіації максимальних снігозапасів та відношення C_s/C_v осереднені, і дорівнюють $C_v=0,66$, а $C_s/C_v=2,0$. Далі використовуючи таблицю трьохпараметричного розподілу, розраховані значення $(Sm + X)_{1\%}$.

Знайдений коефіцієнт нерівномірності припливу води з схилів до руслової мережі, який для досліджуваної території дорівнює $(n+1)/n= 9,8$, звідки $n=0,10$.

Визначена тривалість припливу води зі схилів за допомогою програми "Caguac T₀". Проведено картування T_0 по території - значення змінюються від

150 до 400 годин.

Отримані значення трансформаційної функції, які змінюються межах від 0,14 до 0,49, та коефіцієнта русло-заплавного регулювання, які коливаються від 0,17 до 0,63.

Обмежені значення коефіцієнта русло-заплавного регулювання і водообміну змінюються у межах від 0,17 до 0,63. Узагальнення параметра ε_F по території виконане залежно від площі водозбору.

Результати перевірочних розрахунків по двох варіантах розрахунку (з використанням даних по шарах стоку і максимальних снігозапасах) свідчать про те, що середнє відхилення розрахункових величин від вихідних значень при розрахунках по першому варіанту склало $\pm 12,8\%$, по другому - $\pm 13,6\%$ що при точності вихідної інформації $\pm 19\%$ можна вважати хорошим результатом. Таким чином, сама методика може бути рекомендована до практичного застосування. Використання в якості розрахункового параметру снігозапасів та опадів під час водопілля відкриває можливість моделювання максимального стоку водопілля під впливом змін клімату що відбуваються.

З метою отримання прогностичних значень температури на території басейну Південного Бугу використано модель RASMO2. Розрахунок коефіцієнтів кліматичних змін для річок басейну проводився за сценаріями RCP 4.5 (для періодів: 2011-2016pp., 2017-2020pp., 2021-2035pp., 2036-2039pp. та 2040-2059pp.) та RCP 8.5 (для періодів: 2011-2014pp., 2015-2020pp., 2021-2036pp., та 2037-2050pp.).

Аналізуючи отримані результати, можна дійти висновку, що в басейні р.Південний Буг величини стоку під час весняного водопілля в майбутньому можуть суттєво змінитись. Також слід відзначити, що результати розрахунків для двох різних сценаріїв дещо розрізняються, на нашу думку для розглядуваної території більш прийнятною є сценарій RCP4.5.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.1. Западная Украина и Молдавия / [под ред. М.С.Каганера]. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – 884 с.
2. Швевс Г.І. Каталог річок і водойм України: Навчально-довідковий посібник / Г.І. Швевс, М.І. Ігошин. – Одеса: Астропринт, 2003. – 392 с.
3. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) / В.В.Гребінь. – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
4. Фізична географія Української СРС / [за ред. О.М.Маринича]. – Київ: Вища школа, 1982. – 207 с.
5. Атлас. Фізична географія України / О.Я. Скуратович. - К.: Картографія, 2014.
6. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. – Київ: Вид-но Раєвського, 2003. – 343 с.
7. Кліматичний кадастр України. Державна гідрометеорологічна служба. – К: 2006, електронний ресурс.
8. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник для студентів вищих навчальних закладів. – Одеса: Екологія, 2013. – 204 с.
9. Клімат України: у минулому...і мабутньому: Монографія / [Кульбіда М.І., Барабаш М.Б., Єлістратова Л.О. та ін.]: за ред. М.І. Кульбіди, М.Б. Барабаш. – К.: Сталь, 2009. – 234 с.
10. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. – К.: Ніка-Центр. – 2003. – 324 с.
11. «Основные гидрологические характеристики» Т.6, вып.1, Украина и Молдавия. Л-2010г.
12. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л.: Гидрометеиздат.- 1968.- 303с.

13. Гопченко Е.Д. О редуционных формулах максимального стока // Тр.УкрНИГМИ. 1980. - вып.175. - С.55-57.
14. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. – Одесса; «ТЭС», 2002.- 46с.
15. Железняк И.А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора//Тр. УкрНИГМИ, 1985. - вып.201 - М. Гидрометеиздат, С.15-27
16. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
17. Владимиров А.М. Гидрологические расчеты. Л., Гидрометеиздат. 1990 – 291с.
18. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки // Підручник для студентів вищих навчальних закладів.– Одеса: ТЕС – 2014. – с.8 - 413.
19. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР. – Обнинск, 1981. – 60с.
20. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. -М.: «Наука», 1981.- 254 с.
21. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. -Л.:Гидрометеиздат, 1974.- 423 с.
22. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт – Петербург, 2007 - 278с.
23. Пількевич І.М.Статистичні параметри характеристик максимального стоку весняного водопілля р. Південний Буг/І.М.Пількевич //Збірник статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ 6-10 квітня 2015 р. – 2015. – С. 109 - 111.
24. Гопченко Е.Д. О редукиции максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология и гидрология, 1975. - №2. – С.66-71.

25. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации – Л.:Гидрометеиздат, 1989. – с. 306.
26. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Методика расчета скорости руслового добега на реках Украины// Причорноморський екологічний бюлетень, №2(24) - Одеса: Інноваційно-інформаційний центр "ІНВАЦ". – 2007р. – С.53-55.
27. Гопченко Е.Д, Гнездилов Ю.А. Графоаналитический метод определения параметров гидрографов склонового стока (по материалам полевого обследования ГВВ) // Тр. УкрНИГМИ.- 1974.-Вып.127.- С.54-61.
28. Овчарук В.А., Гопченко Є.Д, Семенова І.Г. Науково-методичні підходи до врахування глобальних змін клімату при розрахунках максимального стоку річок// Вісник Одеського державного екологічного університету. – Вип.14 – Одеса: ТЕС – 2012. – С.141-150.
29. МГЭИК, 2007. Изменение климата, 2007 г.: Физическая научная основа. Вклад Рабочей группы I в Четвертый доклад об оценке Межправительственной группы экспертов по изменению климата / Под ред. С. Соломон, Д. Квин, М. Маннинг, З. Чен [и др.]. – Cambridge: Cambridge University Press, 2007. – 996 с.
30. Гопченко Є.Д. Науково-методичні підходи до врахування глобальних змін клімату при розрахунках максимального стоку річок / Є.Д.Гопченко, В.А.Овчарук, І.Г.Семенова // Вісник державного екологічного університету. – Одеса: Екологія, 2012. – Вип.14. – С. 141-150.
31. Gopchenko E. Scientifically methodical approaches for taking into account of global changes of climate at the calculations of maximal runoff of the rivers / E. Gopchenko, V. Ovcharuk, I. Semenova, J. Shakirzanova // 7th International Scientific Conference on the Global Water and Energy Cycle. The Hague, The Netherlands, 14-17 July 2014. – Режим доступу: http://gewex.org/2014conf/pdfs/Ovcharuk_9_20.pdf.
32. Пількевич І.М. Територіальний розподіл максимальних снігозапасів на початок весняного водопілля в басейні річки Південний Буг/І.М.Пількевич //Збірник статей за матеріалами студентської наукової конференції ОДЕКУ 4-13 травня 2016 р. – 2016. – С. 75 - 76.

ДОДАТКИ

Додаток А. 1 – Перелік гідропостів у басейні річки Південний Буг

№ з/п	Річка-пост	Період спостережень за стоком води	Площа водозбору, км ²
1	2	3	4
1	Південний Буг - с.Чернява	1939-1941, 1945-1963	36,5
2	Південний Буг - с.Пирогівці	1964-2010	827
3	Південний Буг - с.Лелітка	1926-1946, 1964-2010	4000
4	Південний Буг - м.Сабарів	1930-1990	9010
5	Південний Буг - с.Селище	2002-2010	9100
6	Південний Буг - с.Самчинці	1934-1941	12800
7	Південний Буг - с.Тростяничик	1930-41, 1946-1955, 1957-2010	17400
8	Південний Буг - с.Хощувате	1923-1940	20700
9	Південний Буг - с.Підгір'я	1926-1943, 1958-2010	24600
10	Південний Буг - Первомайська ГЕС	1958-1970	27300
11	Південний Буг - м.Первомайськ	1945-1960, 1985-2010	44000
12	Південний Буг - смт Олександрівка	1914-2010	46200
13	Бужок - смт Меджибіж	1952-1988	698
14	Іква - смт Стара Синява	1946-2010	439

Продовження додатку А.1

1	2	3	4
15	Згар - смт Літин	1931-2010	692
16	Десна - с.Сосонка	1930-1941, 1945-1950	13000
17	Рів - с.Демидівка	1916-1918, 1922-1941,1945-2010	1130
18	Соб - с.Зозів	1944-2010	92,5
19	Соб - Дмитренківська ГЕС	1958-1970	2840
20	Удич - с.Ягубець	1946-1953	109
21	Дохна - с.Велика Киріївка	1955-1965 1967	1200
22	Савранка - с.Осички	1936-1941, 1945-2010	1740
23	Синиця - с.Любашівка	1931-1941, 1943, 1954-1967	86,0
24	Синиця - с.Кам'яний Брід	1931-1943, 1945-1974	753
25	Кодима - с.Обжила	1946-1988	145
26	Кодима - с.Катеринка	1931-1941, 1945-2010	2390
27	Синюха - Краснохутірська ГЕС	1959-1970	16500
28	Синюха - с.Синюхин Брід	1925-2010	16700
29	Гірський Тікич - с.Тальне	1916-1918, 1926-1941, 1943-1947	3400
30	Гірський Тікич - Юрпольська ГЕС	1959-1965	26200
31	Маньківка - с.Кінашівка	1946-1957	76,7

Продовження додатку А.1

1	2	3	4
32	Гнилий Тікич - смт Лисянка	1945-2010	1450
33	Гнилий Тікич - Лоташівська ГЕС	1955-1970	3140
34	Велика Вись - с.Ямпіль	1925-1941, 1943, 1945-2010	2820
35	Ятрань - с.Покотилове	1955-2010	2140
36	Уманка - м.Умань	1938-1941, 1943-1950	275
37	Циганка - с.Червонопілля	1946-1975	248
38	Сухий Ташлик - с.Липняжка	1964-1972	556
39	Чорний Ташлик - с.Піщаний Брід	1964-1988	1830
40	Чорний Ташлик - с.Тарасівка	1933-1943, 1945-2010	2230
41	Мертвовод - с.Крива Пустош	1949-2010	252
42	Чичиклія - с.Василівка	1951-1958, 1961-1988	436
43	Чичиклія - с.Веселинове	1934-1935, 1937, 1940-1941, 1951-1953, 1957	1490
44	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	1936-1941, 1945-1971, 1973, 1980-1982, 1985-1988	1190
45	Інгул - м.Кіровоград	1945-2010	840
46	Інгул - с.Інгуло-Кам'янка	1931-1941, 1944-1964	3080
47	Інгул - с.Василівка	1966-1975	3300
48	Інгул - с.Седнівка	1954-2010	4770

Продовження додатку А.1

1	2	3	4
49	Інгул - с.Новогорожене	1930-1941, 1945-2010	6670
50	Громоклія - с.Михайлівка	1946-1988	1410
51	Тилігул – с.Новоукраїнка	1955-1988	810
52	Тилігул – м. Березівка	1953–71, 1973, 1978–86, 1988, 1989,1991–94, 1996– 2007,2009,2010	3170

Додаток А.2 – Розрахунок максимальних витрат води весняного водопілля різної забезпеченості (P=1,3,5,10%) при Cs=2,5Cv

№ поста	Річка - пост	\bar{Q}_m м³/с	Cv	Q1% м³/с	Q3% м³/с	Q5% м³/с	Q10% м³/с
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Південний Буг - с. Пирогівці	16,9	0,95	76,9	57,0	48,2	36,7
2	Бужок - смт Меджибож	22,5	1,03	113	81,9	68,4	51,1
3	Іква - смт Стара Синява	16,1	1,09	80,8	58,6	48,9	36,5
4	Південний Буг - с. Лелітка	115	1,25	689	479	390	279
5	Згар - смт Літин	22,5	1,04	113	81,9	68,4	51,1
7	Південний Буг - с. Сабарів	313	0,93	1424	1055	892	679
8	Рів - с. Демидівка	41,2	0,82	169	128	109	85,3
9	Соб - с. Зозів	6,02	1,52	44,8	29,8	23,4	15,8
11	Південний Буг - с. Тростяничик	385	0,98	1752	1297	1097	835
12	Савранка - с. Осички	22,0	1,70	181	117	90,5	59,2
13	Синиця - с. Кам'яний Брід	27,0	1,04	136	98,3	82,1	61,3
14	Південний Буг - с. Підгір'я	433	1,03	2174	1576	1316	983
15	Кодима - с. Катеринка	32,6	2,35	318	196	147	91,0
16	Кодима - с. Обжила	2,03	1,42	14,2	9,52	7,57	5,20
19	Синюха - с. Синюхін Брід	369	1,26	2214	1539	1255	897
21	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	97,0	1,39	631	430	346	243
22	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	64,6	2,07	629	388	292	180
24	р.Циганка-с.Краснопілля	12,7	1,33	82,6	56,3	45,3	31,8
25	Ятрань - с. Покотилове	63,8	1,71	540	346	267	173
26	Велика Вись - с. Ямпіль	67,4	1,62	536	349	272	180
28	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	51,9	1,34	337	230	185	130
29	Південний Буг - смт Олександрівка	767	1,16	4219	2999	2470	1802
30	Мертвовід - с. Крива Пустош	10,3	1,80	89,7	57,1	43,9	28,1
32	р.Чичиклія-с.Василівка	10,1	1,20	57,9	40,8	33,4	24,1
33	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	63,3	1,49	443	297	236	162
37	Тилігул - с. Нова-Українка	10,1	1,22	60,6	42,1	34,3	24,5
38	Громоклія - с.Михайлівка	23,7	1,19	130	92,7	76,3	55,7
39	Інгул - с. Новогорожено	172	1,31	1118	762	614	430
40	Інгул - с. Седнівка	113	1,50	814	544	431	293
42	Інгул - м. Кіровоград	31,3	1,53	233	155	122	82,0

Додаток А.3 - Розрахунок максимальних шарів стоку весняного водопілля
різної забезпеченості (P=1,3,5,10%) при Cs=2Cv

№ поста	Річка - пост	\bar{Y}_m мм	Cv	Y _{1%} , мм	Y _{3%} , мм	Y _{5%} , мм	Y _{10%} , мм
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Південний Буг - с. Пирогівці	33,2	0,55	90	75	68	58
2	Бужок - смт Меджибож	30,4	0,77	106	85	75	61
3	Іква - смт Стара Синява	38	0,81	149	117	102	81
4	Південний Буг - с. Лелітка	39,4	0,76	138	110	97	79
5	Згар - смт Літин	38,2	0,66	118	97	86	71
7	Південний Буг - с. Сабарів	43,5	0,61	134	110	98	81
8	Рів - с. Демидівка	33,9	0,74	119	95	84	68
9	Соб - с. Зозів	33,7	0,74	118	94	83	67
11	Південний Буг - с. Тростянич	31,2	0,73	109	87	77	62
12	Савранка - с. Осички	17,6	0,9	73	56	49	39
13	Синиця - с. Кам'яний Брід	28,9	0,83	114	89	77	62
14	Південний Буг - с. Підгір'я	27,5	0,68	85	70	62	51
15	Кодима - с. Катеринка	13,7	1,32	86	63	51	36
16	Кодима - с. Обжила	12,3	0,85	48	38	33	26
19	Синюха - с. Синюхін Брід	25,6	0,85	101	79	69	55
21	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	24,9	1,03	120	91	77	59
22	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	13,6	1,26	79	58	48	35
24	р.Циганка-с.Краснопілля	21,3	0,76	75	60	53	43
25	Ятрань - с. Покотилове	20,6	1,1	104	78	66	49
26	Велика Вись - с. Ямпіль	20,9	0,92	92	70	60	47
28	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	21,9	1,02	106	80	68	51
29	Південний Буг - смт Олександрівка	27,3	0,66	84	69	62	51
30	Мертвовід - с. Крива Пустош	19,9	0,98	87	67	58	45
32	р.Чичиклія-с.Василівка	11,7	1,29	68	50	41	30
33	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	19,7	1,16	104	78	65	48
37	Тилігул - с. Нова-Українка	10,7	0,96	47	36	31	24
38	Громоклія - с.Михайлівка	10,9	1,14	58	43	36	27
39	Інгул - с. Новогорожено	20,2	1,1	102	77	65	48
40	Інгул - с. Седнівка	17,3	1	80	61	52	40
42	Інгул - м. Кіровоград	19,5	1,23	113	83	68	50

Додаток А. 4 - Розрахунок середньоквадратичної похибки витрат води 1%-ої ймовірності перевищення

№ поста	Річка - пост	$Q_{1\%}$ m^3/c	n, років	C_v	E_σ	$\sigma Q_{1\%}$
1	Південний Буг - с. Пирогівці	76,9	47	0,95	1,3	19,0
2	Бужок - смт Меджибож	113	36	1,03	1,4	23,3
3	Іква - смт Стара Синява	80,8	63	1,09	1,4	17,6
4	Південний Буг - с. Лелітка	689	64	1,25	1,4	17,5
5	Згар - смт Літин	113	76	1,04	1,4	16,1
7	Південний Буг - с. Сабарів	1424	60	0,93	1,3	16,8
8	Рів - с. Демидівка	169	85	0,82	1,2	13,0
9	Соб - с. Зозів	44,8	61	1,52	1,4	17,9
11	Південний Буг - с. Тростяничик	1752	74	0,98	1,4	16,3
12	Савранка - с. Осички	180,0	71	1,7	1,4	16,6
13	Синиця - с. Кам'яний Брід	136	40	1,04	1,4	22,1
14	Південний Буг - с. Підгір'я	2174	69	1,03	1,4	16,9
15	Кодима - с. Катеринка	318	75	2,35	1,4	16,2
16	Кодима - с. Обжила	14,2	42	1,42	1,4	21,6
19	Синюха - с. Синюхін Брід	2214	78	1,26	1,4	15,9
21	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	631	74	1,39	1,4	16,3
22	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	629	24	2,07	1,4	28,6
24	р.Циганка-с.Краснопілля	82,6	30	1,33	1,4	25,6
25	Ятрань - с. Покотилове	540	56	1,71	1,4	18,7
26	Велика Вись - с. Ямпіль	536	80	1,62	1,4	15,7
28	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	337	66	1,34	1,4	17,2
29	Південний Буг - смт Олександрівка	4219	95	1,16	1,4	14,4
30	Мертвовід - с. Крива Пустош	89,7	59	1,8	1,4	18,2
32	р.Чичиклія-с.Василівка	57,9	32	1,2	1,4	24,7
33	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	443	36	1,49	1,4	23,3
37	Тилігул - с. Нова-Українка	60,6	31	1,22	1,4	25,1
38	Громоклія - с.Михайлівка	130	42	1,19	1,4	21,6
39	Інгул - с. Новогорожено	1118	76	1,31	1,4	16,1
40	Інгул - с. Седнівка	814	57	1,5	1,4	18,5
42	Інгул - м. Кіровоград	233	61	1,53	1,4	17,9

Додаток А. 5– Розрахунок максимальних снігозапасів і опадів на початок весняного водопілля 1%-ї забезпеченості

№п/п	Название поста	$S_{m_{п}}$ мм	$f_{л}$, %	$\bar{S}_{m_{взв}}$ мм	$\sum X$ мм	$(S_m + x)_{1\%}$ мм
1	Південний Буг - с. Пирогівці	49	8	50	105	447
2	Бужок - смт Меджибож	48	1	48	104	440
3	Іква - смт Стара Синява	47	5	48	102	432
4	Південний Буг - с. Лелітка	48	8	49	115	473
5	Згар - смт Літин	50	13	52	102	443
6	Південний Буг - с. Сабарів	47	11	48	121	489
7	Рів - с. Демидівка	50	12	52	103	447
8	Соб - с. Зозів	45	3	45	91	393
9	Південний Буг - с. Тростяничик	50	11	51	122	500
10	Савранка - с. Осички	45	15	47	96	413
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	45	8	46	95	406
12	Південний Буг - с. Підгір'я	47	14	49	121	491
13	Кодима - с. Катеринка	42	11	43	96	402
14	Кодима - с. Обжила	45	19	47	82	373
15	Синюха - с. Синюхін Брід	38	5	38	118	451
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	38	2	38	99	397
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	37	2	37	98	391
18	р.Циганка-с.Краснопілля	45	12	46	86	384
19	Ятрань - с. Покотилове	47	7	48	102	433
20	Велика Вись - с. Ямпіль	42	3	42	105	426
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	45	5	46	107	440
22	Південний Буг - смт Олександрівка	45	9	46	124	491
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	36	2	36	84	348
24	р.Чичиклія-с.Василівка	40	0	40	84	359
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	32	0	32	89	351
26	Тилігул - с. Нова-Українка	42	0	42	82	357
27	Громоклія - с.Михайлівка	34	2	34	90	360
28	Інгул - с. Новогорожено	37	1	37	104	408
29	Інгул - с. Седнівка	41	2	41	104	421
30	Інгул - м. Кіровоград	42	2	42	97	402

Додаток Б.1 - Визначення коефіцієнтів нерівномірності руслового притоку в
басейні річки Південний Буг

№ поста	Річка - пост	$Q_{\text{ср}},$ м ³ /с	$Y_{\text{ср}},$ мм	$T_{\text{ср}},$ діб	F, км ²	$I_g(F+1)$	$\frac{m_1 + 1}{m_1}$
1	Південний Буг - с. Пирогівці	16,9	33,2	38	827	2,92	2,02
2	Бужок - смт Меджибож	22,5	30,4	42	698	2,84	3,85
3	Іква - смт Стара Синява	16,1	38	44	439	2,64	3,67
4	Південний Буг - с. Лелітка	114,8	39,4	50	4000	3,60	3,15
5	Згар - смт Літин	22,5	38,2	51	692	2,84	3,75
7	Південний Буг - с. Сабарів	313	43,5	61	9010	3,95	4,21
8	Рів - с. Демидівка	41,2	33,9	47	1130	3,05	4,37
9	Соб - с. Зозів	6,02	33,7	43	92,5	1,97	7,17
11	Південний Буг - с. Тростяничик	385	31,2	57	17400	4,24	3,49
12	Савранка - с. Осички	22,02	17,6	52	1740	3,24	3,23
13	Синиця - с. Кам'яний Брід	27	28,9	57	753	2,88	6,11
14	Південний Буг - с. Підгір'я	433	27,5	59	24600	4,39	3,26
15	Кодима - с. Катеринка	32,6	13,7	56	2390	3,38	4,82
16	Кодима - с. Обжила	2,03	12,3	48	145	2,16	4,72
19	Синюха - с. Синюхін Брід	369	25,6	60	16700	4,22	4,47
21	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	97	24,9	50	2230	3,35	7,55
22	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	64,6	13,6	38	1830	3,26	8,52
24	р.Циганка-с.Краснопілля	12,7	21,3	54	248	2,40	11,22
25	Ятрань - с. Покотилове	63,8	20,6	50	2140	3,33	6,25
26	Велика Вись - с. Ямпіль	67,4	20,9	54	2820	3,45	5,34
28	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	51,9	21,9	49	1450	3,16	6,92
29	Південний Буг - смт Олександрівка	767	27,3	67	46200	4,66	3,52
30	Мертвовід - с. Крива Пустош	10,3	19,9	44	252	2,40	7,81
32	р.Чичиклія-с.Василівка	10,1	11,7	40	436	2,64	6,84
33	Гнилий Єланець - с.Женево- Криворіжжя	63,3	19,7	47	1190	3,08	10,96
37	Тилігул - с. Нова-Українка	10,1	10,7	42	810	2,91	4,23
38	Громоклія - с.Михайлівка	23,7	10,9	53	1410	3,15	7,06
39	Інгул - с. Новогорожено	172	20,2	51	6670	3,82	5,63
40	Інгул - с. Седнівка	113	17,3	46	4770	3,68	5,44
42	Інгул - м. Кіровоград	31,3	19,5	40	840	2,92	6,60

Додаток Б.2 – Розрахунок тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі

№ п/п	Річка - пост	$Y_{1\%}$, мм	$q_{1\%}$, м ³ /скм ²	t_p , год	T_0 , год	V_d , км/год
1	Південний Буг - с. Пирогівці	90	0,09	18,07	465	4,21
2	Бужок - смт Меджибож	106	0,16	16,86	307	4,27
3	Іква - смт Стара Синява	149	0,18	9,97	455	4,51
4	Південний Буг - с. Лелітка	138	0,17	29,09	239	5,23
5	Згар - смт Літин	118	0,16	12,64	355	4,59
6	Південний Буг - с. Сабарів	134	0,16	44,78	203	5,25
7	Рів - с. Демидівка	119	0,15	20,13	329	4,82
8	Соб - с. Зозів	118	0,48	2,72	158	4,79
9	Південний Буг - с. Тростяничик	109	0,1	81,69	138	5,34
10	Савранка - с. Осички	73	0,1	16,43	301	5,54
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	114	0,18	10,93	309	6,13
12	Південний Буг - с. Підгір'я	85	0,09	94,3	108	6,22
13	Кодима - с. Катеринка	86	0,13	21,64	223	6,33
14	Кодима - с. Обжила	48	0,1	1,93	360	6,21
15	Синюха - с. Синюхін Брід	101	0,13	11,51	231	8,60
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	120	0,28	19,16	127	6,11
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	79	0,34	10,04	86	6,57
18	р.Циганка-с.Краснопілля	75	0,33	2,46	134	6,51
19	Ятрань - с. Покотилове	104	0,25	15,57	130	6,36
20	Велика Вись - с. Ямпіль	92	0,19	30,11	122	5,18
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	106	0,23	14,1	153	5,82
22	Південний Буг - смт Олександрівка	84	0,09	90,37	102	7,46
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	87	0,36	4,01	132	6,49
24	р.Чичиклія-с.Василівка	68	0,13	7,41	266	5,66
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	104	0,37	14,47	99	6,43
26	Тилігул - с. Нова-Українка	47	0,07	8,51	338	6,70
27	Громоклія - с.Михайлівка	58	0,09	14,28	253	6,51
28	Інгул - с. Новогорожено	102	0,17	41,4	120	5,70
29	Інгул - с. Седнівка	80	0,17	27,67	113	5,38
30	Інгул - м. Кіровоград	113	0,28	8,01	163	4,74

Додаток Б.3 – Вихідні дані для розрахунку коефіцієнту загальної редуції максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Південний Буг

№ п/п	Річка - пост	T ₀ , год	Y _{1%} , мм	q' _m , м ³ /с*км ²	q _{1%} , м ³ /с*км ²	q _{1%} /q' _m	lg(F+1)	lg(q _{1%} /q' _m)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Південний Буг - с. Пирогівці	464,87	90	0,60	0,09	0,15	2,92	-0,82
2	Бужок - смт Меджибож	307,06	106	1,06	0,16	0,15	2,84	-0,82
3	Іква - смт Стара Синява	454,72	149	1,01	0,18	0,18	2,64	-0,75
4	Південний Буг - с. Лелітка	238,86	138	1,78	0,17	0,10	3,60	-1,02
5	Згар - смт Літин	354,66	118	1,02	0,16	0,16	2,84	-0,81
6	Південний Буг - с. Сабарів	203,22	134	2,03	0,16	0,08	3,95	-1,10
7	Рів - с. Демидівка	328,5	119	1,12	0,15	0,13	3,05	-0,87
8	Соб - с. Зозів	157,69	118	2,30	0,48	0,21	1,97	-0,68
9	Південний Буг - с. Тростянчик	137,94	109	2,43	0,1	0,04	4,24	-1,39
10	Савранка - с. Осички	301,05	73	0,75	0,1	0,13	3,24	-0,87
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	309,03	114	1,14	0,18	0,16	2,88	-0,80
12	Південний Буг - с. Підгір'я	108,49	85	2,41	0,09	0,04	4,39	-1,43
13	Кодима - с. Катеринка	222,67	86	1,19	0,13	0,11	3,38	-0,96
14	Кодима - с. Обжила	360,24	48	0,41	0,1	0,24	2,16	-0,61
15	Синюха - с. Синюхін Брід	230,67	101	1,35	0,13	0,10	4,22	-1,02
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	126,89	120	2,91	0,28	0,10	3,35	-1,02
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	86,12	79	2,83	0,34	0,12	3,26	-0,92
18	р.Циганка-с.Краснопілля	134,02	75	1,72	0,33	0,19	2,40	-0,72
19	Ятрань - с. Покотилове	129,84	104	2,47	0,25	0,10	3,33	-0,99
20	Велика Вись - с. Ямпіль	122,16	92	2,32	0,19	0,08	3,45	-1,09
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	152,93	106	2,13	0,23	0,11	3,16	-0,97
22	Південний Буг - смт Олександрівка	102,46	84	2,53	0,09	0,04	4,66	-1,45

Продовження додатку Б.3

№ п/п	Річка - пост	T_0 , год	$Y_{1\%}$, мм	q'_m , м ³ /с*км ²	$q_{1\%}$, м ³ /с*км ²	$q_{1\%}/q'_m$	$\lg(F+1)$	$\lg(q_{1\%}/q'_m)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	132,08	87	2,03	0,36	0,18	2,40	-0,75
24	р.Чичиклія-с.Василівка	265,82	68	0,79	0,13	0,16	2,64	-0,78
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	99,25	104	3,23	0,37	0,11	3,08	-0,94
26	Тилігул - с. Нова-Українка	337,9	47	0,43	0,07	0,16	2,91	-0,79
27	Громоклія - с.Михайлівка	253,3	58	0,71	0,09	0,13	3,15	-0,89
28	Інгул - с. Новогорожено	120,33	102	2,61	0,17	0,07	3,82	-1,19
29	Інгул - с. Седнівка	112,75	80	2,19	0,17	0,08	3,68	-1,11
30	Інгул - м. Кіровоград	162,77	113	2,14	0,28	0,13	2,92	-0,88

Додаток Б.4 – Розрахунок коефіцієнта русло-заплавного водообміну та регулювання ϵ_F

№ п/п	Річка - пост	$1/(F+1)^{0,29}$	$\psi(tp/T_0)$	ϵ_F
1	Південний Буг - с. Пирогівці	0,142	0,37	0,38
2	Бужок - смт Меджибож	0,150	0,35	0,42
3	Іква - смт Стара Синява	0,171	0,41	0,42
4	Південний Буг - с. Лелітка	0,090	0,30	0,30
5	Згар - смт Літин	0,150	0,38	0,40
6	Південний Буг - с. Сабарів	0,071	0,26	0,28
7	Рів - с. Демидівка	0,130	0,34	0,38
8	Соб - с. Зозів	0,268	0,42	0,63
9	Південний Буг - с. Тростяничик	0,059	0,18	0,33
10	Савранка - с. Осички	0,115	0,35	0,33
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	0,146	0,38	0,39
12	Південний Буг - с. Підгір'я	0,053	0,15	0,36
13	Кодима - с. Катеринка	0,105	0,31	0,33
14	Кодима - с. Обжила	0,236	0,49	0,48
15	Синюха - с. Синюхін Брід	0,060	0,36	0,17
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,107	0,28	0,38
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	0,113	0,30	0,38
18	р.Циганка-с.Краснопілля	0,202	0,42	0,48
19	Ятрань - с. Покотилове	0,108	0,30	0,36
20	Велика Вись - с. Ямпіль	0,100	0,25	0,40
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	0,121	0,32	0,38
22	Південний Буг - смт Олександрівка	0,044	0,14	0,31
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	0,201	0,39	0,52
24	р.Чичиклія-с.Василівка	0,171	0,39	0,43
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	0,128	0,29	0,45
26	Тилігул - с. Нова-Українка	0,143	0,40	0,36
27	Громоклія - с.Михайлівка	0,122	0,35	0,35
28	Інгул - с. Новогорожено	0,078	0,22	0,35
29	Інгул - с. Седнівка	0,086	0,25	0,35
30	Інгул - м. Кіровоград	0,142	0,36	0,39

Додаток Б. 5 – Перевірочні розрахунки

№ п/п	Річка - пост	$Q_{1\%розр},$ $m^3/c * км^2$	$Q_{1\%ф},$ $m^3/c * км^2$	$ \Delta , \%$
1	Південний Буг - с. Пирогівці	0,09	0,09	5,01
2	Бужок - смт Меджибож	0,16	0,16	0,85
3	Іква - смт Стара Синява	0,17	0,18	3,96
4	Південний Буг - с. Лелітка	0,16	0,17	5,52
5	Згар - смт Літин	0,15	0,16	4,35
6	Південний Буг - с. Сабарів	0,14	0,16	9,53
7	Рів - с. Демидівка	0,15	0,15	2,81
8	Соб - с. Зозів	0,62	0,48	28,5
9	Південний Буг - с. Тростянчик	0,14	0,10	43,2
10	Савранка - с. Осички	0,09	0,10	13,9
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	0,17	0,18	7,28
12	Південний Буг - с. Підгір'я	0,13	0,09	42,7
13	Кодима - с. Катеринка	0,12	0,13	4,10
14	Кодима - с. Обжила	0,10	0,10	3,37
15	Синюха - с. Синюхін Брід	0,08	0,13	38,1
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	0,31	0,28	11,1
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	0,32	0,34	5,78
18	р.Циганка-с.Краснопілля	0,35	0,33	5,22
19	Ятрань - с. Покотилове	0,27	0,25	6,88
20	Велика Вись - с. Ямпіль	0,23	0,19	21,9
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	0,26	0,23	12,1
22	Південний Буг - смт Олександрівка	0,11	0,09	24,78
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	0,41	0,36	13,32
24	р.Чичиклія-с.Василівка	0,14	0,13	4,22
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	0,41	0,37	11,94
26	Тилігул - с. Нова-Українка	0,06	0,07	11,94
27	Громоклія - с.Михайлівка	0,09	0,09	3,69
28	Інгул - с. Новогорожено	0,20	0,17	19,45
29	Інгул - с. Седнівка	0,19	0,17	10,46
30	Інгул - м. Кіровоград	0,30	0,28	8,41

$$|\Delta_{cp}| = \pm 12,8\%$$

Додаток Б.6 – Розрахунок максимальних снігозапасів і опадів на початок веняного водопілля 1%-ї забезпеченості

№ п/п	Річка - пост	$(S_m)_K$	f_d	$f_{лв}$ долях	$S_{мзв}$	$F, \text{ км}^2$	φ	K_T	$T_{п}$	ΣX	$(S_{мзв} + \Sigma X)1\%$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Південний Буг - с. Пирогівці	49	8	0,08	50	827	49,49	2,27	46	105	447
2	Бужок - смт Меджибож	48	1	0,01	48	698	49,54	2,28	46	104	440
3	Іква - смт Стара Синява	47	5	0,05	48	439	49,60	2,30	44	102	432
4	Південний Буг - с. Лелітка	48	8	0,08	49	4000	49,44	2,26	51	115	473
5	Згар - смт Літин	50	13	0,13	52	692	49,28	2,23	46	102	443
6	Південний Буг - с. Сабарів	47	11	0,11	48	9010	49,48	2,27	53	121	489
7	Рів - с. Демидівка	50	12	0,12	52	1130	49,12	2,20	47	103	447
8	Соб - с. Зозів	45	3	0,03	45	92,5	49,33	2,24	40	91	393
9	Південний Буг - с. Тростяничик	50	11	0,11	51	17400	49,14	2,20	55	122	500
10	Савранка - с. Осички	45	15	0,15	47	1740	48,18	2,00	48	96	413
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	45	8	0,08	46	753	48,49	2,06	46	95	406
12	Південний Буг - с. Підгір'я	47	14	0,14	49	24600	48,90	2,15	56	121	491
13	Кодима - с. Катеринка	42	11	0,11	43	2390	47,96	1,95	49	96	402
14	Кодима - с. Обжила	45	19	0,19	47	145	48,04	1,97	42	82	373
15	Синюха - с. Синюхін Брід	38	5	0,05	38	16700	48,82	2,13	55	118	451

Продовження додатку Б.6

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	38	2	0,02	38	2230	48,32	2,03	49	99	397
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	37	2	0,02	37	1830	48,32	2,03	48	98	391
18	р.Циганка-с.Краснопілля	45	12	0,12	46	248	48,26	2,01	43	86	384
19	Ятрань - с. Покотилове	47	7	0,07	48	2140	48,63	2,09	49	102	433
20	Велика Вись - с. Ямпіль	42	3	0,03	42	2820	48,74	2,12	50	105	426
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	45	5	0,05	46	1450	49,34	2,24	48	107	440
22	Південний Буг - смт Олександрівка	45	9	0,09	46	46200	48,72	2,11	59	124	491
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	36	2	0,02	36	252	48,01	1,96	43	84	348
24	р.Чичиклія-с.Василівка	40	0	0	40	436	47,72	1,90	44	84	359
25	Гнилий Єланець - с.Женево- Криворіжжя	32	0	0	32	1190	47,70	1,90	47	89	351
26	Тилігул - с. Нова-Українка	42	0	0	42	810	47,10	1,77	46	82	357
27	Громоклія - с.Михайлівка	34	2	0,02	34	1410	47,72	1,90	48	90	360
28	Інгул - с. Новогорожено	37	1	0,01	37	6670	48,16	1,99	52	104	408
29	Інгул - с. Седнівка	41	2	0,02	41	4770	48,37	2,04	51	104	421
30	Інгул - м. Кіровоград	42	2	0,02	42	840	48,65	2,10	46	97	402

Таблиця Б.7 - Перевірочні розрахунки (з використанням даних по максимальних снігозапасах)

№ п/п	Річка - пост	Sm_k	$f_{ГВ}$ долях	Sm_B	K_T	$T_{п}$	$\sum X$	$(Sm_{зв} + \sum X)_{1\%}$	η_k	T_0 розр., год	q'_{m} розр.	$\psi(tp/T_0)$	ϵF	$q_{1\%}$ розр.	q_{ϕ}	Δ
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Південний Буг - с. Пирогівці	49	0,08	50	2,3	46	105	447	0,20	450	0,55	0,37	0,42	0,09	0,09	7,83
2	Бужок - смт Меджибож	48	0,01	48	2,3	46	104	440	0,24	310	0,94	0,35	0,43	0,14	0,16	12,54
3	Іква - смт Стара Синява	47	0,05	48	2,3	44	102	432	0,35	450	0,92	0,41	0,45	0,17	0,18	7,81
4	Південний Буг - с. Лелітка	48	0,08	49	2,3	51	115	473	0,28	250	1,45	0,30	0,34	0,15	0,17	14,42
5	Згар - смт Літин	50	0,13	52	2,2	46	102	443	0,25	350	0,87	0,38	0,43	0,14	0,16	13,23
6	Південний Буг - с. Сабарів	47	0,11	48	2,3	53	121	489	0,25	250	1,34	0,26	0,31	0,11	0,16	32,79
7	Рів - с. Демидівка	50	0,12	52	2,2	47	103	447	0,25	330	0,93	0,34	0,40	0,13	0,15	14,30
8	Соб - с. Зозів	45	0,03	45	2,2	40	91	393	0,30	160	2,02	0,42	0,55	0,47	0,48	2,94
9	Південний Буг - с. Тростяничик	50	0,11	51	2,2	55	122	500	0,25	150	2,29	0,18	0,28	0,11	0,10	13,36
10	Савранка - с. Осички	45	0,15	47	2,0	48	96	413	0,16	300	0,60	0,35	0,38	0,08	0,10	21,70
11	Синиця - с. Кам'яний Брід	45	0,08	46	2,1	46	95	406	0,28	310	1,01	0,38	0,42	0,16	0,18	11,10
12	Південний Буг - с. Підгір'я	47	0,14	49	2,1	56	121	491	0,20	150	1,75	0,15	0,27	0,07	0,09	21,77
13	Кодима - с. Катеринка	42	0,11	43	2,0	49	96	402	0,20	250	0,88	0,31	0,36	0,10	0,13	25,05
14	Кодима - с. Обжила	45	0,19	47	2,0	42	82	373	0,15	350	0,44	0,49	0,52	0,11	0,10	13,20
15	Синюха - с. Синюхін Брід	38	0,05	38	2,1	55	118	451	0,25	200	1,55	0,36	0,28	0,16	0,13	17,15
16	Чорний Ташлик - с. Тарасівка	38	0,02	38	2,0	49	99	397	0,30	110	2,97	0,28	0,37	0,31	0,28	10,00

Продовження додатку Б.7

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
17	Чорний Ташлик - с. Пісчаний Брод	37	0,02	37	2,0	48	98	391	0,20	100	2,14	0,30	0,38	0,25	0,34	28,54
18	р.Циганка-с.Краснопілля	45	0,12	46	2,0	43	86	384	0,20	140	1,50	0,42	0,49	0,31	0,33	7,21
19	Ятрань - с. Покотилове	47	0,07	48	2,1	49	102	433	0,24	150	1,90	0,30	0,37	0,21	0,25	16,46
20	Велика Вись - с. Ямпіль	42	0,03	42	2,1	50	105	426	0,25	130	2,25	0,25	0,36	0,20	0,19	5,14
21	Гнилий Тікіч - смт Лисянка	45	0,05	46	2,2	48	107	440	0,25	160	1,89	0,32	0,39	0,23	0,23	0,67
22	Південний Буг - смт Олександрівка	45	0,09	46	2,1	59	124	491	0,19	150	1,71	0,14	0,25	0,06	0,09	32,35
23	Мертвовід - с. Крива Пустош	36	0,02	36	2,0	43	84	348	0,25	110	2,17	0,39	0,49	0,41	0,36	16,33
24	р.Чичикля-с.Василівка	40	0	40	1,9	44	84	359	0,19	270	0,69	0,39	0,45	0,12	0,13	7,22
25	Гнилий Єланець - с.Женево-Криворіжжя	32	0	32	1,9	47	89	351	0,30	100	2,89	0,29	0,40	0,33	0,37	11,37
26	Тилігул - с. Нова-Українка	42	0	42	1,8	46	82	357	0,15	310	0,47	0,40	0,42	0,08	0,07	6,63
27	Громокля - с.Михайлівка	34	0,02	34	1,9	48	90	360	0,20	250	0,79	0,35	0,39	0,11	0,09	17,22
28	Інгул - с. Новогорожено	37	0,01	37	2,0	52	104	408	0,25	130	2,15	0,22	0,32	0,15	0,17	8,86
29	Інгул - с. Седнівка	41	0,02	41	2,0	51	104	421	0,20	125	1,85	0,25	0,33	0,15	0,17	11,62
30	Інгул - м. Кіровоград	42	0,02	42	2,1	46	97	402	0,25	150	1,84	0,36	0,42	0,28	0,28	0,13

 $|\Delta_{cp}| = \pm 13,6$

Додаток В.1

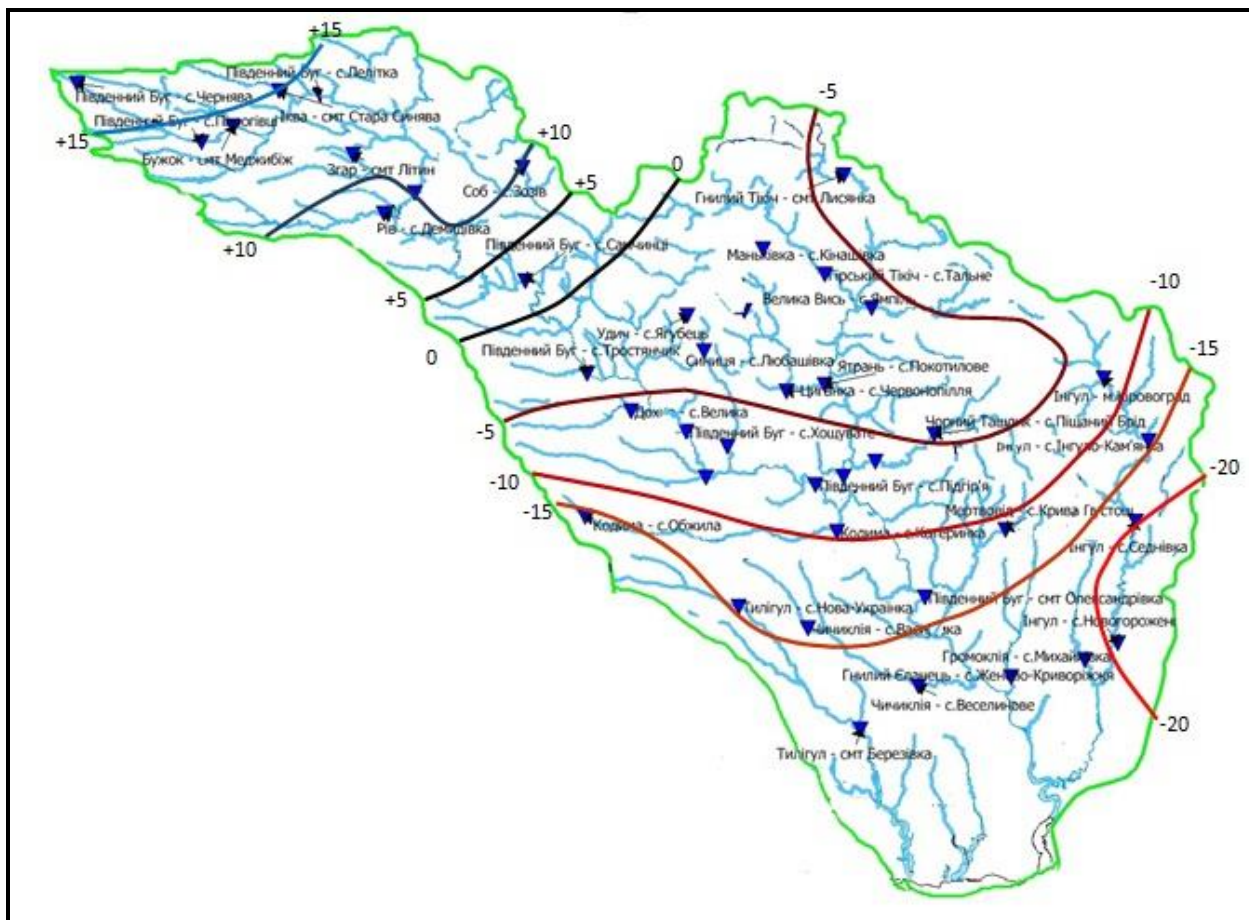


Рисунок - Карто-схема розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за сценарієм RCP 4.5 (період 2017-2020рр.)

Додаток В.3

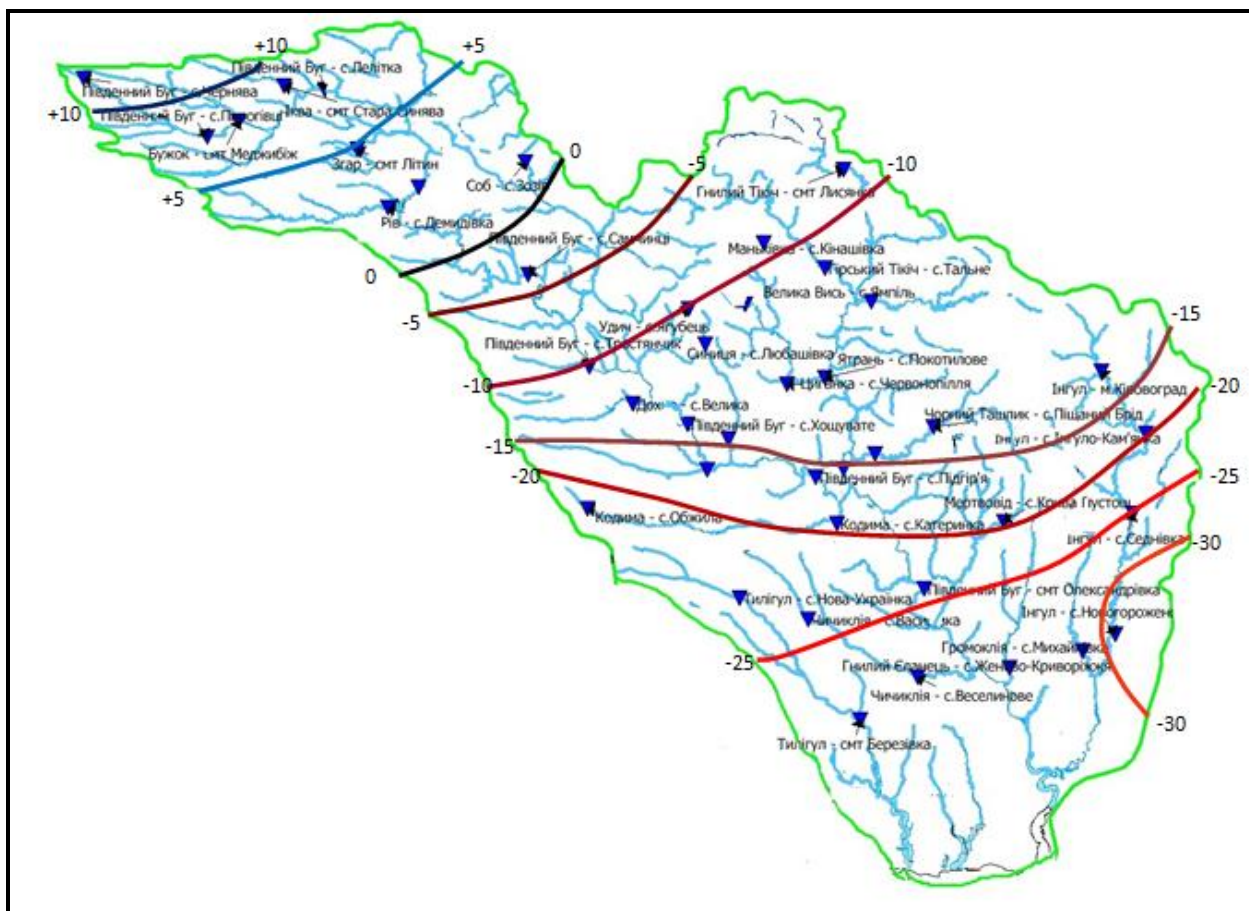


Рисунок - Карто-схема розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за сценарієм RCP 4.5 (період 2036-2039рр.)

Додаток В.4

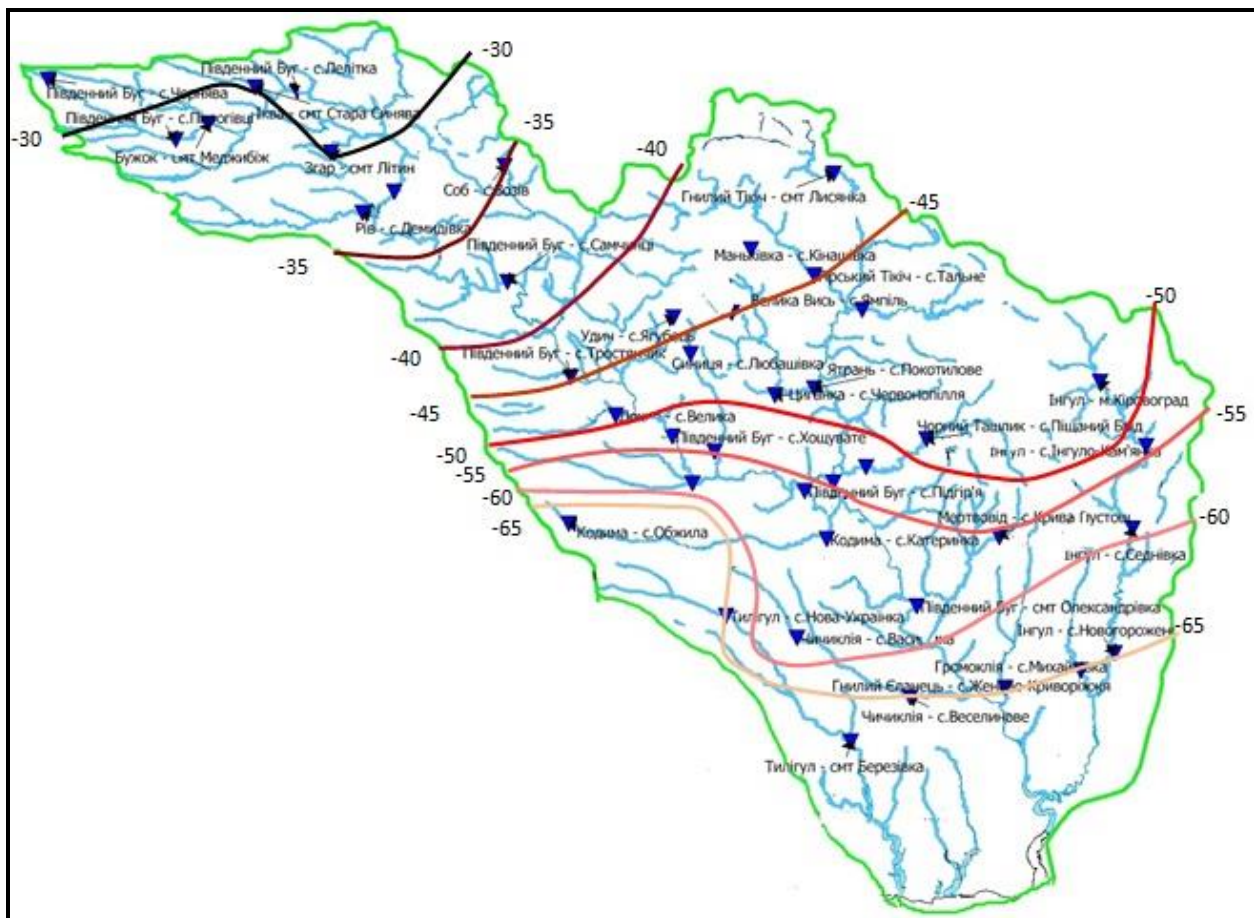


Рисунок - Карто-схема розподілу прогнозних величин коефіцієнтів змін клімату за сценарієм RCP 8.5 (період 2015-2020рр.)

