МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет магістерської та
аспірантської підготовки
Кафедра гідрології суші

Магістерська кваліфікаційна робота

на тему: Розрахункові та прогнозні характеристики максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини

Виконала магістр 2 курсу групи МГ- 61
спеціальності 103 «Науки про Землю»,
Ємельянова Катерина Борисівна_____
_____

Керівник д-р геогр.наук, професор____
Гопченко Євген Дмитрович

Консультант _____
_____

Рецензент д-р геогр.наук, професор
Лобода Наталія Степанівна

Одеса 2018

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Магістерської та аспірантської підготовки
Кафедра гідрології суші
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 103 «Науки про Землю»
(шифр і назва)
Освітня програма Гідрологія
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри гідрології суші
д-р геогр.наук, проф. Шакірзанова Ж.Р. _____
“ 26 ” березня 2018 року

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

Ємельяновій Катерині Борисівні
(прізвище, ім’я, по батькові)

1. Тема роботи «Розрахункові та прогнозні характеристики максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини»

Керівник роботи Гопченко Євген Дмитрович, д-р геогр. наук, професор,
(прізвище, ім’я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)
затверджені наказом закладу вищої освіти від “02” 11 2017 року № 321-С

2. Строк подання студентом роботи 01.06.2018 року

3. Вихідні дані до роботи: щорічні матеріали спостережень за максимальним стоком весняного водопілля (з початку спостережень по 2010 рік); оперативні матеріали спостережень мережі гідрометслужби України, дані Центральної геофізичної обсерваторії та Українського гідрометцентру, що отримані при використані автоматизованої системи АРМгідро (запаси води в сніговому покриві, опади, температура повітря, глибини промерзання ґрунтів, витрати і рівні води в річках).

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1.Коротка фізико-географічна характеристика річок північно-західної частини Причорноморської низовини(включаючи р. Південний Буг); 2. Науково -методична база для нормування розрахункових характеристик максимально стоку весняного водопілля річок; 3. Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно - західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг);4. Обґрунтування методики для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно -західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг); 5. Методика просторових довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини за обмеженості гідрологічних спостережень у регіоні.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)
Карто – схеми: фізико - географічного розташування річок , ґрунтів, рослинності середньорічних температур повітря та опадів, переважного напрямку вітру,

гідрологічних постів, ізоліній просторового розподілу шарів стоку весняного водопілля 1% забезпеченості, ізоліній коефіцієнтів схилової трансформації, розподілу максимальних запасів води в сніговому покриві, розподілу глибин промерзання ґрунтів, розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів весняного водопілля, розподілу по території очікуваних забезпеченостей у багаторічному розрізі *P %* весняного водопілля.

6. Консультанти розділів роботи

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

7.Дата видачі завдання 26 березня 2018 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Описання фізико - географічних характеристик річок північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).	26.03-01.04. 2018		
2	Огляд науково – методичної бази для нормування розрахункових характеристик максимально стоку весняного водопілля річок.	02 - 15. 04.2018		
3	Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)	16 – 29. 04. 2018		
4	**Рубіжна атестація**	30.04-06.05. 2018		
5	Обґрунтування методики для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)	07 - 13. 05. 2018		
6	Методика просторових довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини і р. Південний Буг	14-20. 05. 2018		
	Оформлення роботи, здача на кафедру, перевірка на плагіат, рецензування, підготовка презентації, доповіді.	21.05-01.06. 2018		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент _____ _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

АНОТАЦІЯ

Магістерська кваліфікаційна робота студентки гр. МГ-61 Ємельянової К.Б. на тему «Розрахункові та прогнозні характеристики максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини»

Актуальність теми. Весняне водопілля є однією з найбільш небезпечних фаз водного режиму річок України. При катастрофічному розвитку ситуації під час весняного водопілля спостерігаються підйоми рівнів, вихід води на заплаву, затоплення сільськогосподарських угідь, доріг тощо. Наслідки можуть бути непередбачувані. Отже виникає необхідність постійного уточнення розрахункових характеристик максимального стоку та прогнозування весняного водопілля для попередження можливих гідрологічних ризиків.

Метою і завданням дослідження є уточнення розрахункових величин максимального стоку весняного водопілля та прогнозування шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля за методом територіальних довгострокових прогнозів на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

Об'єкт і предмет дослідження. Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля і прогнозування характеристик стоку в період весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

Методи дослідження. Використано статистичні методи, географічне узагальнення розрахункових характеристик, які передбачені розрахунковою методикою максимального стоку весняного водопілля; комплексний географічний підхід до аналізу водного режиму на території; науково-методичні основи та практичне застосування методу територіального довгострокового прогнозування шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля на основі встановлення типу весни, дискримінантний аналіз, просторове узагальнення інформації.

Теоретичне та практичне значення. За схемою, викладеною в роботі, можливе визначення максимального стоку весняного водопілля; картографічна форма представлення розрахункових характеристик (шарів стоку весняного водопілля, коефіцієнту схилової трансформації); прогнозування весняних водопіль при недостатній кількості або відсутності гідрологічних спостережень; картографічна форма представлення прогностичних величин шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля (у вигляді модульних коефіцієнтів) та їх забезпеченості (%).

Кількість сторінок – 164

Кількість рисунків – 21

Кількість таблиць – 14

Кількість використаної літератури – 32

Ключові слова: весняне водопілля, максимальний стік, довгостроковий прогноз, модульні коефіцієнти, забезпеченість.

SUMMARY

Master's qualification work student gr. MG-61 Yemelianova K. B. entitled «Estimated and Predictive Characteristics of the Maximum Runoff during Spring Flood in the North-Western Part of the Black Sea Lowland».

Actuality of theme. Spring floods are one of the most dangerous factors of water regime of the rivers of Ukraine. In case of catastrophic development of the situation during the spring floods there can be observed the rise in river levels, water going to the floodplain, flooding of agricultural lands and of roads etc. The consequences can be unpredictable. Therefore there is a necessity of constant refining of calculation characteristics of maximum runoff and forecasting of spring floods in order to prevent possible hydrological risks.

The aim and the task of study is the refining of calculation values of run-off of spring floods and forecasting the runoff layers and of maximum water spending of spring floods using the method of area-based long-term forecasting on the territory of the North-Western Part of the Black Sea Lowland (including the river of Pivdennyi Bug).

The object and topic of study. Calculation values of maximum runoff of spring floods and forecasting the floods characteristics during spring floods on the territory of the North-Western Part of the Black Sea Lowland (including the river of Pivdennyi Bug).

Research methods. The following methods were used in the study: statistics methods, geographical synthesis of calculation characteristics provided for by calculation methodology of the maximum runoff of spring floods; integrated geographical approach to water regime analysis on the territory; scientific and methodical basis and practical use of the method of area-based long-term forecasting of flow layers and of maximum spending of spring floods water based on spring type, discriminant analysis, spatial synthesis of information.

Theoretical and practical importance. According to the scheme, set out in the study, it is possible to calculate maximum runoff of spring floods; cartographic form of presentation of calculation characteristics (maximum layers of spring floods flow, steep transformation ratio); forecasting of spring floods with insufficient numbers or absence of hydrological observations; cartographic form of presentation of forecasting values of flow layers and maximum spending of water of spring floods (in form of module ratios) and of their availability (%)

Number of pages – 164

Number of drawings– 21

Number of tables- 14

Number of used literature– 32

Key words: spring floods, maximum runoff, long-term forecast, module ratios, availability

ЗМІСТ

Вступ…… 8

1 Коротка фізико-географічна характеристика річок північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)…. 10

1.1 Географічне положення та рельєф……... 10

1.2 Ґрунти та рослинність……... 11

1.3 Коротка кліматичні характеристика…… 15

1.4 Гідрологічна вивченість …….. 19

2 Науково-методична база для нормування розрахункових характеристик максимально стоку весняного водопілля річок……. 22

2.1 Редукційні формули максимального стоку річок…….. 22

2.2 Об’ємні формули максимального стоку річок……... 24

2.3 Формули, засновані на теорії руслових ізохрон…… 28

2.4 Методи розрахунку максимального стоку, які використовуються у зарубіжній практиці……. 40

2.5 Нормативні документи ……. 42

2.6 Методика, що пропонується для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)…… 44

3 Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)…… 48

3.1 Метод моментів……. 50

3.2 Метод найбільшої правдоподібності……... 56

3.3 Визначення розрахункових характеристик максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)……. 58

3.4 Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)…… 59
3.5 Оцінка точності визначення розрахункових параметрів $Q_{1\%}$ ($м^3/с\ км^2$) та $Y_{1\%}$ (мм)…….. 60
4 Обґрунтування методики для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)…… 61
4.1 Розрахункова методика для визначення витрат води весняного водопілля на території північно -західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)……. 61
4.2 Визначення параметрів регіональної методики для розрахунку максимальних витрат води весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини…… 62
5 Методика просторових довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини і р. Південний Буг …… 66
5.1 Теоретичні основи для довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля …….. 66
5.1.1 Аналіз існуючих методів довгострокових прогнозів…… 66
5.1.2 Методична база методу територіального довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля……... 70
5.1.3 Методичні основи методу територіального довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля……... 78
5.1.4 Методика визначення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку та максимальних витрат води……. 86
5.1.5 Картографічна форма представлення прогностичних величин шарів стоку і максимальних витрат води…… 88
5.1.6 Обґрунтування методики прогнозів характеристик весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень на річках… 90

5.1.7 Загальні принципи оцінки методики довгострокового гідрологічного прогнозу……... 92
5.2 Схема довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля ……..... 93
5.2.1 Прогнозування шарів стоку весняного водопілля за гідрометеорологічними даними…….. 93
5.2.2 Прогнозування шарів стоку весняного водопілля за наявності картосхем очікуваних модульних коефіцієнтів та їх ймовірності настання……. 106
5.3 Схема довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля ……... 108
5.3.1 Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля за гідрометеорологічними даними…….. 108
5.3.2 Прогнозування максимальних витрат води по картосхемах прогнозних модульних коефіцієнтів та їх забезпеченості…….. 117
Висновки…….. 121
Список використаної літератури…… 124
Додатки…….. 127

Вступ

Актуальність теми. Весняне водопілля є однією з найбільш небезпечних фаз водного режиму рівнинних річок України. При катастрофічній ситуації під час весняного водопілля, наслідки можуть бути непередбачувані спостерігається підйом рівнів води, вихід води на заплаву, затоплення територій, доріг, руйнування мостів тощо. Отже виникає необхідність постійного уточнення розрахункових характеристик максимального стоку та прогнозування весняного водопілля для попередження можливих гідрологічних ризиків. Територія північно-західного Причорноморья представлена малими часто пересихаючими водотоками, які практично не вивчені у гідрологічному відношені. Тому катастрофічні паводки та водопілля для них часто мають характер стихійних гідрологічних явищ.

Метою роботи є уточнення розрахункових величин максимального стоку весняного водопілля та використання методу територіальних довгострокових прогнозів характеристик для рівнинних річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини.

Об'єкт дослідження. Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля і прогнозування характеристик стоку в період весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в обгрунтуванні комплексної теми, яка складається з методики розрахунку величин максимального стоку весняного водопілля та методу територіальних довгострокових прогнозів шарів стоку і максимальних витрат води весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини.

Результати кваліфікаційної роботи входить до заключного звіту науково-дослідної тематики кафедри гідрології суші «Розрахункові

характеристики гідрологічного режиму річок України» (2013-2017 рр. № держреєстрації 0113U005797) в розділ 3 п. 3.2.1, розділ 4 п. 4.1.5, розділ 5 п. 5.5.

Практичне значення одержаних результатів. Прогнозний метод характеристик весняного водопілля річок північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) може щорічно використовуватися в оперативній діяльності Гідрометцентру Чорного та Азовського морів (відповідно листу-заявці на виконання теми магістерської роботи № 230/01 від 01.06.2018р.) у відділі річкових прогнозів.

*Апробація роботи.*Основні результати дослідження, які є складовою кваліфікаційної роботи, представлялись та обговорювались на наукових конференціях молодих вчених ОДЕКУ (м.Одеса, 2017,2018), XV Міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених: Шевченківська весна – 2017 (м.Київ, 2017), International Internet Conference « Scientific researches and their practical application. Modern state and ways of development 2017» (м. Іваново, 2017), V Міжнародна наукова конференція молодих вчених "Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування" ХНУ ім. В.Н. Каразіна (м. Харків, 2017), III Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія : актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» (м. Одесса, 2018)

Висловлюємо подяку завідувачу кафедри гідрології суші доктору географічних наук, професору Шакірзановій Ж.Р. за наукові консультації при підготовці 5 розділу магістерської кваліфікаційної роботи «Методика просторових довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини і р. Південний Буг».

1.Коротка фізико-географічна характеристика річок північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

1.1 Географічне положення та рельєф

Досліджувана територія відноситься до найбільш знижених рівнинним просторам України. Північно-західна частина Причорноморської низовини простягається широкою смугою до 120- 150 км вздовж узбережжя Чорного моря**,** в її межах у пониззі простягається річка Дністер та річка Південний Буг**,** з її основними притоками - річками Інгул, Соб, Кодима, Ров, Савранка, Синюха. Територія займає Одеську, Миколаївську, Вінницьку, Хмельницьку, Кропивницьку області.

Причорноморська низовина на північному заході і на півночі обмежена Південно-Молдавською, Подільською і Придніпровською височинами, з абсолютними відмітками на півночі до 120 – 150 м та 2 - 10 м на півдні з плоскою рівниною поверхнею. Характерними елементами рельєфу є безстічні замкнуті зниження поди та еолові піщані горби-кучугури.

Поверхня низовина здебільшого плоска. У межах Причорноморської низовини зустрічаються замкнені безстічні ділянки – води. У прибережній смузі поширені піщані коси. Деякі з них є межею між морем, а також лиманами та озерами. Річкові долини врізані на глибину 50-80 м на півночі і 10-15 м на півдні. Береги річок порізані балками та ярами, вододіли плоскі. На північному заході і на півночі її поверхня здебільшого являє собою більш підвищену хвилясту рівнину з досить глибоко врізаними в корінні породи річковими долинами і балками, до яких нерідко приурочена густа мережа ярів, у середній же її частині поверхня має порівняно менші абсолютні відмітки і характеризується менш приватним довго-балковим розчленуванням. З наближенням до моря рельєф низовини стає все більш

вирівняним. Географічне положення та рельєф описано за тами літературними джерелами [1-4]. Карта – схема фізико - географічного розташування річок північно – західної частини Причорноморської низовини представлена рис. 1.1.

Рис. 1.1 - Карта-схема фізико - географічного розташування річок північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)[5]

1.2 Ґрунти та рослинність

Ґрунтовий покрив істотно впливає на елементи гідрологічного режиму. Зокрема, механічний склад ґрунтів визначає їх фільтраційні якості. У свою чергу, це впливає на умови формування поверхневого і підземного стоку .

Ґрунти північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) різноманітні. Розміщення їх має добре виражений зональний характер. У північно-західній частині району поширені опідзолені чорноземи, у степовій зоні - малогумусні чорноземи і темно-каштанові слабосолонцюваті ґрунти, у лісостеповій — сірі лісові та типові чорноземи .

У басейні Південного Бугу значне поширення мають піщані й супіщані алювіальні відклади. Заплавний алювій майже повсюдно засолений водорозчинними солями, переважно сульфатами; у північних і центральних районах засоленість слабка і зустрічається спорадично. Середньо гумусові чорноземи малопотужні, повсюдно є мало гумусовими. Чорноземи звичайні характеризуються такими показниками розмірів гумусового профілю: чорноземи звичайні – 75-85 см і чорноземи звичайні мало гумусові - 65-75 см.

У долинах Південного Бугу, Інгулу та Інгульця, а також їхніх приток, значний розвиток мають більш молоді тераси. Перша надзаплавна тераса складена стародавньоалювіальними пісками і супісками. На пісках сформувалися дернові піщані ґрунти, а на супісках – супіщані чорноземи, які є характерними для степової зони. Розміри гумусового профілю у чорноземів звичайних становить близько 80 см, у чорноземів звичайних мало гумусових – 65-75 см.

В дельтах Дунаю і Дніпра переважають мулувато-болотяні ґрунти. Ґрунти району мають добру структурну будову і при застосуванні правильних агротехнічних методів обробітку та зрошення дають стійкі високі врожаї. Карта-схема ґрунтів річок північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) представлена рис. 1.2.

Одним із основних чинників, від яких залежить гідрологічний режим території, поряд із кліматичними, грунтово-геологічними та геоморфологічними, є рослинний покрив. Природна рослинність більшої частини району — степова, яка охоплює південь Причорноморської низовини. У Степу домінують багаторічні ксерофільні злаки, а різнотрав’я має підпорядковане значення.

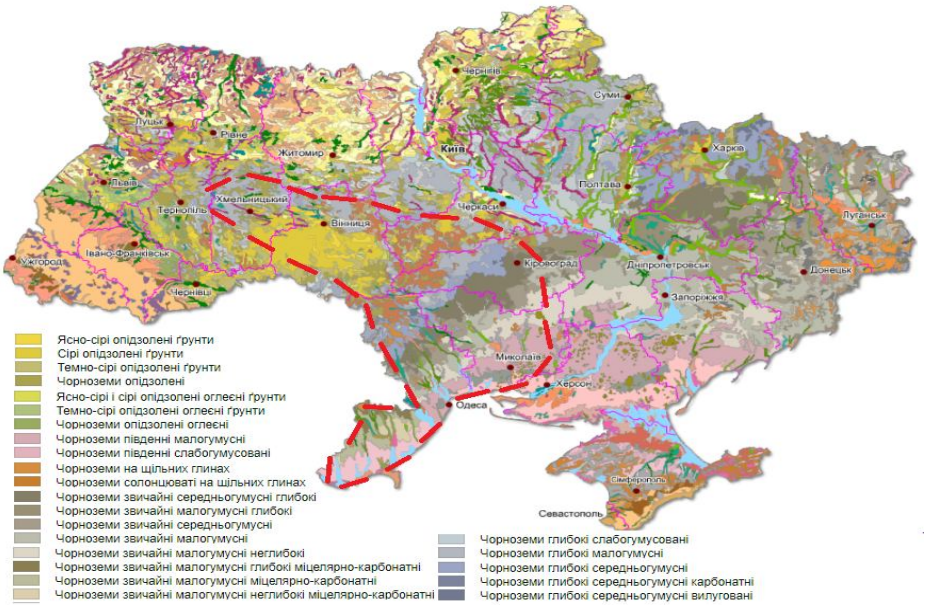

Рис. 1.2 - Карта-схема ґрунтів річок північно -західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)[5]

На сьогодні близько 80% території степової зони займають сільськогосподарські угіддя .

У долинах річок, зокрема, Південного Бугу поширеним видом деревної рослинності є лох сріблястий. Весною, коли в ґрунті ще достатньо вологи, з'являються ефемерні рослини: півники, гіацинти, крокуси, горицвіт, тюльпани, півонії, маки. . У балках та ярах трапляються байрачні ліси, у заплавах річок заплавні. Лісистість степової зони становить лише 3%. Луки в зоні степів здебільшого прилягають до заплав річок.

На правобережній частині степової зони Півдня України луки збереглися в заплавах Південного Бугу, Інгулу та Інгульця. Представлені вони класами формацій засолених, остепнених, справжніх і болотистих лук.

Природна рослинність лісостепової зони представлена залишками остепнених луків і степів, дубових і дубово-грабових масивів, а на Лівобережжі — дубово-кленових лісів. Первісних степів і лісів збереглося мало. Сучасна середня лісистість становить 12,5%. З дерев найпоширенішим є дуб (43% лісопокритої площі). Крім того, є граб, бук, сосна, вільха, береза. Великі площі зайняті дібровами з багатоярусною структурою: деревний ярус

складають дуб звичайний, граб звичайний, в'яз, липа серцелиста, груша звичайна. В чагарниковому ярусі ростуть берест, клен бородавчатий і європейський, шипшина тощо; у трав'яному — копитень, папороть, осока та ін. Лучні степи і остепнені луки збереглись у заповіднику Михайлівська Цілина. Лучна і болотна рослинність поширена переважно в долинах річок. Ґрунти та рослинність описано за тами літературними джерелами [1-4]. Карто - схема рослинності річок північно західної частини Причорноморської низо вини представлена рис.1.3.

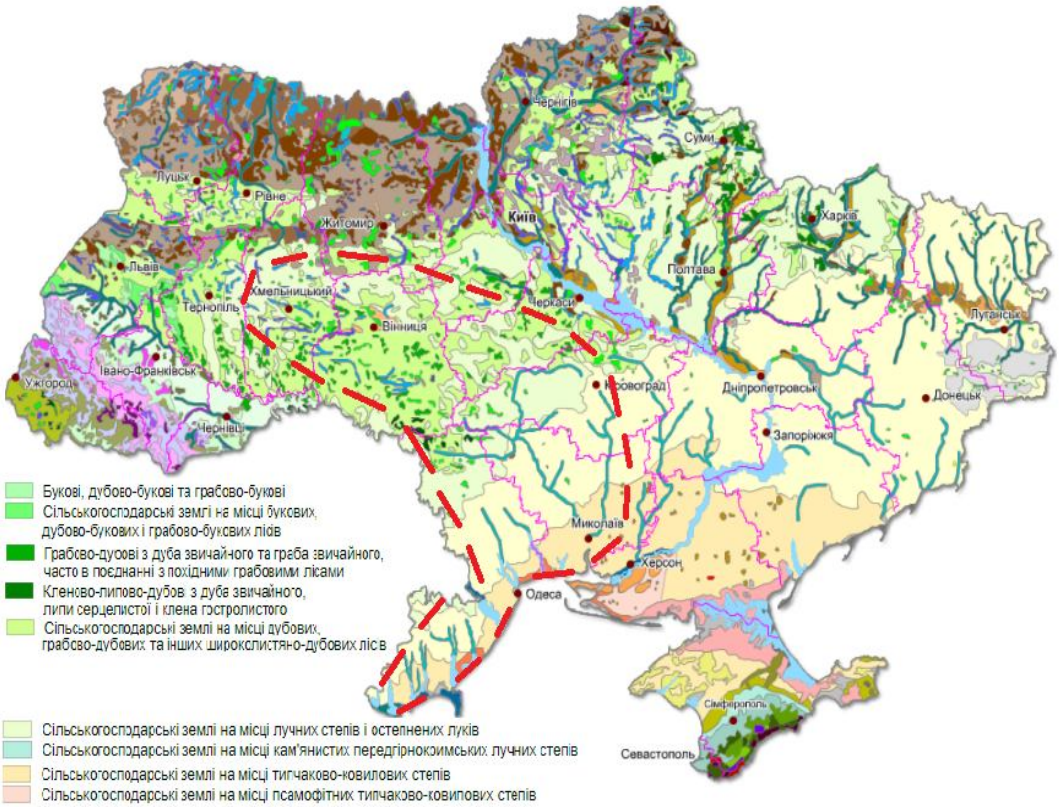

Рис. 1.3 - Карта – схема рослинності на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)[5]

1.3. Коротка кліматична характеристика

Кліматичні умови території України різноманітні. Головні особливості клімату формуються під дією радіаційних факторів, атмосферної циркуляції, характеру земної поверхні.

Північно-західна частина Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) характеризуються помірно-континентальним кліматом. Літо довге, сонячне, жарке, посушливе. У літній період циклонічна діяльність згасає, температура повітря стає більш стійкою. Головну роль відіграє місцева трансформація повітряних мас.

Найбільш теплий місяць на розглядуваній території є липень. Його середня температура змінюється від 17,6 °С (ст. Ямпіль) до 22,3°С (ст. Миколаїв).

Осінь триває 2-3 місяці. У другій половині осіннього періоду можливе потепління. Для пізньої осені характерна волога, похмура погода. Протягом другої половини листопада осінь змінюється періодом передзим'я з нестійкою погодою, частими туманами, ожеледицями й короткочасними утвореннями снігового покриву . В середньому цей період триває протягом місяця.

У холодний період року суттєву роль відіграються циркуляційні процеси, внаслідок чого температура холодного сезону відрізняється великою нестійкістю.

Для зимового сезону характерні похмура погода, тумани і відлиги, за яких добова температура підвищується до 5°С і вище. Середні місячні температури повітря в зимовий період (з грудня по лютий) змінюється в межах -0,1 (ст. Ізмаїл) до -6,2 (ст. Білопілля). Найхолоднішим місяцем для всієї території є січень. Його середня температура коливається від -1,7 (ст. Ізмаїл) до -6,2 (ст. Білопілля).

Весна починається з переходу температури повітря через 0°С і руйнування стійкого снігового покриву. За даними Гідрометцентру України, середні дати переходу температури повітря через 0°С припадають на кінець березня.

У табл.1.1 представлено середню місячну температуру повітря які обчислено з рядів спостережень за період 1961-1990 рр.

Таблиця 1.1- Середня місячна температура повітря

Станція	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*Рік*
Одеса	*-1,7*	*-1,0*	*2,6*	*9,0*	*15,1*	*19,4*	*21,4*	*21,2*	*17,1*	*11,1*	*5,9*	*1,4*	*10,1*
Ізмаїл	*-1,7*	*-0,1*	*4,0*	*10,5*	*16,2*	*20,1*	*21,8*	*21,2*	*17,0*	*11,0*	*5,7*	*1,0*	*10,6*
Ямпіль	*-5,5*	*-4,2*	*0,0*	*7,6*	*13,6*	*16,5*	*17,6*	*17,1*	*13,0*	*7,4*	*2,0*	*-2,7*	*6,9*
Білопілля	*-6,2*	*-4,8*	*-0,3*	*7,6*	*14,1*	*17,0*	*18,1*	*17,5*	*13,2*	*7,4*	*1,6*	*-2,8*	*6,9*
Миколаїв	*-3,1*	*-1,8*	*2,6*	*10,2*	*16,5*	*20,4*	*22,3*	*21,8*	*16,9*	*10,3*	*4,4*	*-0,1*	*10,0*

У цілому спостерігається підвищення середньорічної температури, за останні 100 років вона підвищилася на 0,7 -0,9 °С. Найбільші зміни відбулися в останні 20 – 30 років .

Річний тепловий баланс земної поверхні коливається від 4100 МДж/м² на півночі до 5320 МДж/м² на півдні.

Поряд з температурою, найголовнішою характеристикою у визначенні клімату є опади. Територія відноситься до району недостатньої зволоженості. Атмосферні опади, у тому числі й у вигляді снігу, відрізняються значною мінливістю (як по роках, так і у просторі) (табл.1.2) Тут відмічається зменшення опадів у напрямі на південь. Опадів на рівнинах випадає від 300—350 мм до 450 мм. Часто трапляються посухи, що супроводжуються суховіями і пиловими бурями, які завдають значної шкоди сільському господарству.

У табл.1.2 представлено середню місячну і річну кількість опадів з поправками на змочування які обчислено з рядів спостережень за період 1961-1990 рр.

Таблиця 1.2- Середня місячна і річна кількість опадів з поправками на змочування

Станція	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*Холод-ний період (XI-III)*	*Теплий період (IV-X)*	*Рік*
Одеса	*42*	*41*	*31*	*34*	*39*	*42*	*49*	*34*	*36*	*26*	*42*	*48*	*204*	*260*	*464*
Ізмаїл	*36*	*43*	*33*	*34*	*47*	*57*	*51*	*38*	*46*	*25*	*37*	*42*	*191*	*298*	*489*
Ямпіль	*34*	*36*	*34*	*45*	*62*	*91*	*105*	*75*	*53*	*35*	*39*	*45*	*188*	*466*	*654*
Білопілля	*33*	*29*	*29*	*46*	*56*	*84*	*94*	*72*	*43*	*32*	*40*	*39*	*170*	*427*	*597*
Миколаїв	*36*	*35*	*30*	*32*	*44*	*54*	*58*	*41*	*39*	*22*	*36*	*45*	*182*	*290*	*472*

Сніговий покрив утворюється наприкінці листопада – на початку грудня, руйнується у другій декаді березня. Загальна тривалість залягання снігового покриву по території 30- 50 днів. Середня висота снігового покриву становить від 5 до 10 см. Середня глибина промерзання ґрунту за зиму становить від 7 до 20 см.

Вологість повітря та її розподіл по території залежить від температурних та циркуляційних особливостей досліджуваної території (табл.1.3). Річна норма опадів на території становить від 669 мм до 550 мм, поступово зменшуючись з півночі на південь. Відносна середньорічна вологість повітря становить 60-65%.

У табл.1.3 представлено середню місячну і річну відносну вологість повітря яку обчислено з рядів спостережень за період 1961-1990 рр.

Таблиця 1.3 - Середня місячна і річна відносна вологість повітря

Станція	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*Рік*
Одеса	*82*	*82*	*80*	*76*	*73*	*71*	*68*	*66*	*70*	*76*	*82*	*84*	*76*
Ізмаїл	*83*	*82*	*78*	*70*	*69*	*67*	*66*	*66*	*70*	*76*	*82*	*84*	*74*
Ямпіль	*86*	*85*	*82*	*74*	*72*	*75*	*76*	*76*	*79*	*83*	*87*	*88*	*80*
Білопілля	*86*	*85*	*83*	*73*	*69*	*73*	*74*	*74*	*76*	*81*	*87*	*88*	*79*
Миколаїв	*84*	*83*	*78*	*69*	*64*	*63*	*62*	*60*	*66*	*75*	*84*	*86*	*73*

Повітряні маси надходять на територію України в різних баричних утвореннях і мають сезонну мінливість. Переважаючими вітрами на території є вітри північно-західних напрямів. Середньорічна швидкість вітру становить від 3,0 до 4,4 м/с, максимальна — перевищує 30 м/с.

У табл.1.4 представлено середню місячну і річну швидкість вітру яку обчислено з рядів спостережень за період 1961-1990 рр.

Таблиця 1.4 - Середня місячна і річна швидкість вітру
(висота флюгера 10м; М-63-10м)

Станція	*I*	*II*	*III*	*IV*	*V*	*VI*	*VII*	*VIII*	*IX*	*X*	*XI*	*XII*	*Рік*
Одеса	*4,6*	*4,6*	*4,3*	*3,8*	*3,4*	*3,2*	*3,2*	*3,3*	*3,4*	*3,9*	*4,3*	*4,3*	*3,9*
Ізмаїл	*4,0*	*4,4*	*4,3*	*4,3*	*3,8*	*3,5*	*3,2*	*2,9*	*2,9*	*3,0*	*3,3*	*3,6*	*3,6*
Ямпіль	*3,9*	*3,9*	*3,6*	*3,6*	*3,0*	*2,9*	*2,8*	*2,5*	*2,9*	*3,2*	*3,8*	*3,8*	*3,3*
Білопілля	*3,8*	*3,9*	*3,7*	*3,4*	*2,9*	*2,4*	*2,2*	*2,3*	*2,6*	*3,0*	*3,6*	*3,7*	*3,1*
Миколаїв	*4,1*	*4,2*	*4,1*	*3,9*	*3,6*	*3,3*	*3,1*	*3,1*	*3,1*	*3,2*	*3,8*	*3,9*	*3,6*

Коротка кліматична характеристика описано за такими літературними джерелами [1,3-4,6-10]. Карта – схема середньорічних температур повітря та опадів, переважного напрямку вітра річок північно – західної частини

Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) представлена на рис. 1.4.

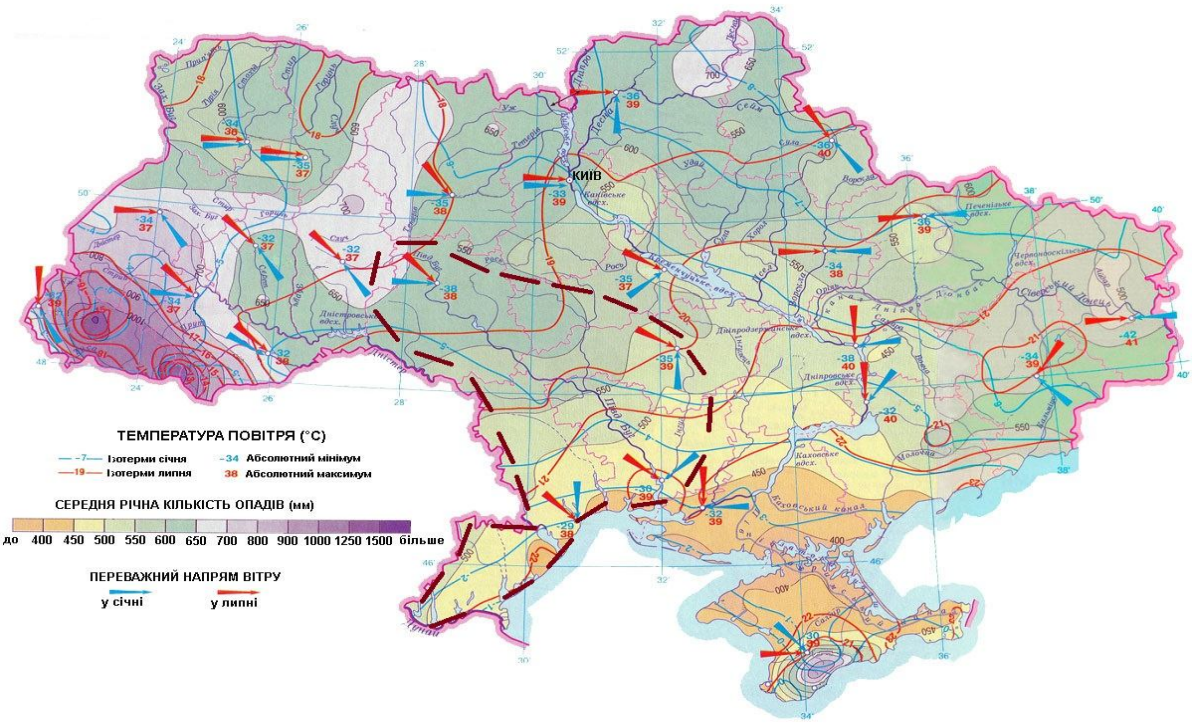

Рис. 1.4 - Карта – схема середньорічних температур повітря та опадів, переважного напрямку вітру річок північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)[5]

1.4 Гідрологічна вивченість

В роботі використані матеріали спостережень за максимальним стоком весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

У межах досліджуваної території розташовано 34 гідрологічних постів, з них 6-на річці Південний Буг, 14 -на правих притоках, 6 - на лівих п ритока, 4 - на притоках річки Дністер, 4- у річках межиріччях.

В табл. 1.5 наводяться дані про розміри водозборів. Річки досліджуваної території в цілому мають невеликі і середні площі водозборів.

Найбільші розміри водозбірних площ, висвітлених гідрологічними вимірами, відносяться до р.Південний Буг – смт Олександрівка (F = 46200 км^2) , найменшого водозбору р.Соб-с.Зозів (F = 92,5 км^2).

В табл. 1.6 наводяться дані про періоди спостережень за стоком на досліджуваній території. З табл. 1.6 видно, що з 34 гідрологічних постів на 30 тривалість спостережень перевищує 20 років, а на 19 – перевищує 50 років. Найдовший ряд спостережень становить 97 років (р.Південний Буг - смт Олександрівка). Схема розташування гідрологічних постів на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) ілюструється на рис.1.5. Список гідрологічних постів на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) наведено в дод. А.1.

Таблиця 1.5-Розподіл гідрологічних постів за розміром водозборів

F,км²	< 100	101-500	501-1000	1001-2000	2001-5000	5001-10000	10001-40000	>40000
Кількість постів	1	7	7	6	7	2	3	1

Таблиця 1.6-Розподіл гідрологічних постів за тривалістю часових рядів спостережень

n, років	15-20	21-30	31-40	41-50	51-60	61-70	71-80	>80
Кількість постів	4	2	3	6	3	5	7	4

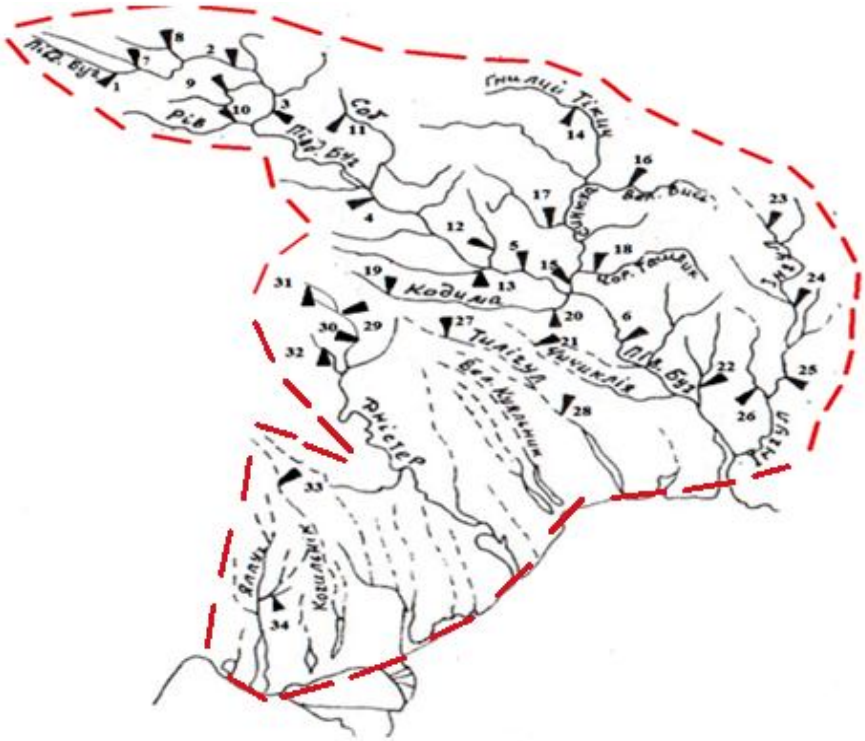

Рис. 1.5 - Схема розташування гідрологічних постів та території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

2 Науково – методична база для нормування розрахункових характеристик максимально стоку весняного водопілля річок

2.1 Редукційні формули максимального стоку річок

Першу спробу узагальнення напрацьованих формул і методів для розрахунку максимального стоку здійснив Д.Л.Соколовський (1959). Він поділив спочатку формули на 2 групи за областю застосування: окремо по розрахунках максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків. До першої групи віднесені редукційні й об'ємні формули. Класичним прикладом редукційної розрахункової методики є формула Д.І.Кочеріна (1932) [11-14]. Її загальний вигляд досить простий

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \tag{2.1}$$

де q_m - максимальний модуль стоку;

q'_m - максимальний модуль схилового припливу;

F - площа водозбору;

n_1 - показник редукції.

Наведені параметри, що входять до (2.1), визначаються за простою процедурою – логарифмуванням вихідної формули та побудовою емпіричної залежності $\lg q_m = f\left[\lg(F+1)\right]$. Тангенс кута нахилу лінії зв'язку до вісі абсцис є показник степеня n_1, а відрізок, що відсікається по ординаті (при $F = 0$) – максимальний модуль схилового припливу q'_m. Проблемними питаннями, які стосуються структури (2.1), були й залишаються:

1. Адекватність запровадженої структури явищу формування максимального стоку.

2. Можливості просторового узагальнення параметрів базової структури. Недоліки, які необхідно віднести до існування першої проблеми, були чітко окреслені у наукових працях К.П.Воскресенського (1956), О.О.Соколова (1970) й ін. Вони пов'язані з тим, що крім площі водозбору характер редукції багато в чому залежить від шару стоку. І дійсно, виявилося, що модулі q'_m залежать від шару стоку за період водопілля та описуються рівнянням

$$q'_m = k_0 Y_m , \tag{2.2}$$

де k_0 - коефіцієнт «дружності» весняного водопілля. На його змісті ми зупинимось дещо пізніше.

Підставимо (2.2) в (2.1), тоді

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2 , \tag{2.3}$$

де δ - коефіцієнт впливу регулюючої місткості озер, водосховищ, ставків проточного типу на регулювання максимальних модулів (витрат) стоку;

δ_1, δ_2 - редукційні коефіцієнти впливу залісеності (δ_1) і заболоченості (δ_2) на характеристики максимального стоку річок [11-14].

У методичному відношенні шари стоку за період весняного водопілля рекомендується картувати, а k_0 - районувати або визначати за аналогією з сусідніми річками. З часом з'ясувалось, що формули у вигляді (2.1) і (2.3) не повною мірою описують загальну редукцію q_m при збільшенні розмірів водозборів.

Редукційні формули вигляду (2.3) до цього часу використовуються при нормуванні характеристик максимального стоку річок як в Україні (СНіП 2.01.14-83) , так і в інших країнах.

2.2 Об'ємні формули максимального стоку річок

На відміну від редукційних, в їх основу покладено одномодальний гідрограф з тривалістю стоку T_n , об'ємом W_{cm} і максимальною витратою води Q_m . За такої геометричної моделі паводка або водопілля

$$W_{cm} = \frac{1}{k_ф} Q_m T_n \ . \tag{2.4}$$

Звідки

$$Q_m = k_ф \frac{W_{cm}}{T_n}, \tag{2.5}$$

де $k_ф$ - коефіцієнт, який залежить від форми руслового гідрографа і з (2.5) він дорівнює

$$k_ф = \frac{Q_m T_n}{W_{cm}} = \frac{Q_m}{\overline{Q}_{T_n}}, \tag{2.6}$$

$\overline{Q}_T$ - середня за водопілля (паводок) витрата води.

Розділимо ліву і праву частини (2.5) на F , тоді

$$q_m = k_ф \frac{Y_m}{T_n} \tag{2.7}$$

З теорії формування максимального стоку, заснованої на моделі руслових ізохрон, відомо, що $T_n = T_0 + t_p + \Delta t_з$. Різна природа складових T_n змусила дослідників максимального стоку річок при розрахунках і узагальненні тривалості руслового стоку піти на деякі спрощення. Зокрема, А.В.Огієвський (1938) русловий гідрограф використав у вигляді лінійного трикутника, а тривалість T_n взяв як суму T_0 і t_p. Для такої моделі, очевидно, що $k_ф$=2,0 і таким чином

$$q_m = \frac{2Y_m}{T_0 + t_p}, \tag{2.8}$$

де t_p - тривалість руслового добігання

$$t_p = \frac{L}{V_\partial} = \frac{L}{\alpha_0\left(I \cdot 10^4 + 30\right)}, \tag{2.9}$$

L - гідрографічна довжина річки;

I - ухил річки;

α_0 - коефіцієнт, який залежить від особливостей заплави.

Стосовно (2.9) слід зауважити, що гідрографи стоку зазвичай характеризуються $k_ф$>2,0 і $T_n > \left(T_0 + t_p\right)$, а тому запропонована А.В.Огієвським схематизація паводків і водопіль не відповідає дійсності. Ці структурні недоліки (2.7) були деякою мірою враховані В.І.Мокляком (1957) – ще одним представником київської наукової гідрологічної школи, заснованої А.В.Огієвським.

Найбільш широке розповсюдження серед формул об’ємного типу отримала структура, яка була запропонована Д.Л.Соколовським (1945) для розрахунку характеристик паводкового стоку. Форма паводка береться у

вигляді двох парабол, що збігаються у вершині. Рівняння гідрографа записується таким чином:

– гілка підйому

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t}{t_n} \right)^m ; \qquad (2.10)$$

– гілка спаду

$$Q_t = Q_m \left(\frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^{n'} , \qquad (2.11)$$

де t_n - тривалість підйому;

t_{cn} - тривалість спаду.

Об’єм стоку у фазі підйому дорівнює

$$W_n = \int_0^{t_n} Q_t dt = Q_m \cdot \frac{1}{t_n^m} \int_0^{t_n} t^m dt = \frac{1}{m+1} Q_m t_n \qquad (2.12)$$

Аналогічно для фази спаду

$$W_{cn} = \int_0^{t_{cn}} Q_t dt = Q_m \cdot \frac{1}{t_{cn}^n} \int_0^{t_{cn}} (t_{cn} - t)^{n'} dt = \frac{1}{n'+1} Q_m t_{cn} \qquad (2.13)$$

Об’єм стоку за паводок дорівнює

$$W = W_n + W_{cn} = Q_m t_n \left(\frac{1}{m+1} + \frac{1}{n'+1} \gamma \right), \qquad (2.14)$$

де $\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n} > 1{,}0$.

В узагальненому вигляді

$$W = Q_m t_n \left[\frac{(n'+1)+\gamma(m+1)}{(m+1)(n'+1)} \right] \tag{2.15}$$

Відносно Q_m (2.15) запишеться так

$$Q_m = \frac{W}{t_n} \frac{(m+1)(n'+1)}{(n'+1)+\gamma(m+1)} = \frac{W}{t_n} f , \tag{2.16}$$

де f - коефіцієнт форми гідрографа, тобто

$$f = \frac{(m+1)(n'+1)}{(n'+1)+\gamma(m+1)} \tag{2.17}$$

Максимальний модуль q_m становитиме

$$q_m = \frac{Y_m}{t_n} f . \tag{2.18}$$

З іншого боку,

$$T_n = t_n + t_{cn} = t_n (1 + \lambda). \tag{2.19}$$

З урахуванням (2.19) формула (2.18) запишеться в редакції

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} f(1+\gamma) . \tag{2.20}$$

За Д.Л.Соколовським (1968), структура (2.20) для розрахунку максимального стоку дощових паводків має вигляд

$$q_m = \frac{H \cdot \eta}{T_n} f(1+\gamma), \qquad (2.21)$$

де H_m - кількість опадів за дощ;

η - коефіцієнт паводкового стоку.

Сумарна величина максимального модуля паводкового стоку дорівнюватиме

$$q_{m_{сум}} = q_m + q_{гр}, \qquad (2.22)$$

де $q_{гр}$ - модуль ґрунтової складової, який приблизно визначається по нормі ґрунтового стоку. У розглянутих вище варіантах в наш час об'ємні формули не використовуються.

Для розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків, крім редукційних формул, поширені й інші структури – граничної інтенсивності, а також ті, що засновані на моделі руслових ізохрони [11-14].

2.3 Формули, засновані на теорії руслових ізохрон

Побудувати теоретичну модель формування максимального стоку на розгалужених річкових системах за схемою елементарних водозборів не вдається, оскільки на окремих ділянках русел до них надходить вода не лише зі схилів, але й за рахунок приток різного порядку. Тому А.М.Бефані (1958) для вирішення цієї проблеми використав модель руслових ізохрон (рис.2.1).

Розглядається ізохрона довжиною *Bx*, яка віддалена від основного вододілу на відстань x. Бічний приплив у площині кожної ізохрони можна записати як функцію q'_t, помножену на кількість русел, які перетинаються відповідною ізохроною.

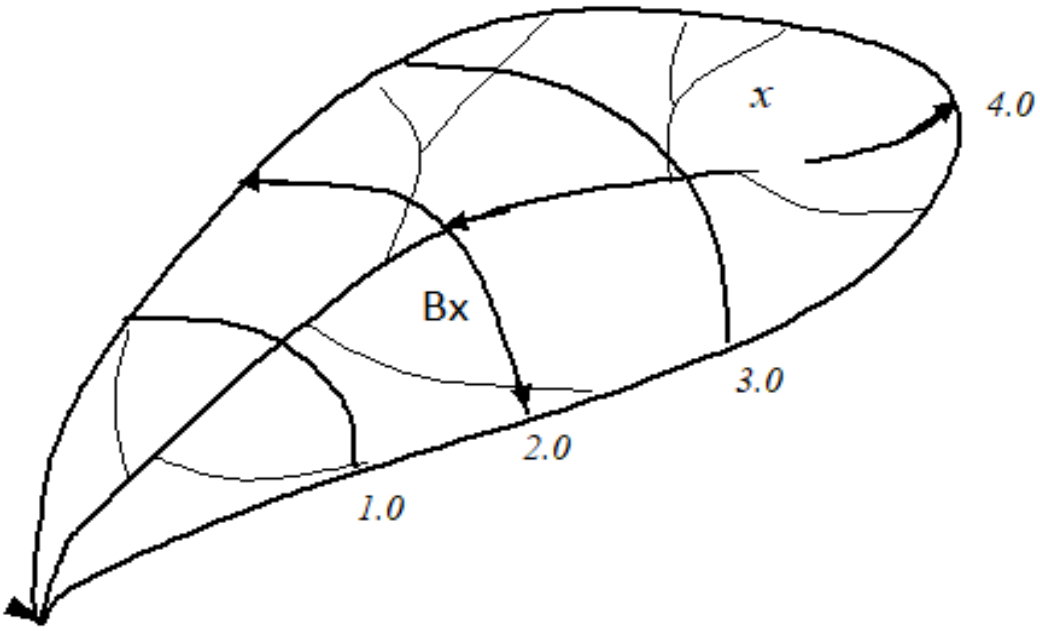

Рис.2.1 - Річкова система з ізохронами руслового добігання

У такому випадку диференціальне рівняння руслового стоку запишеться у вигляді

$$V\frac{\partial\omega}{\partial x}+\frac{\partial\omega}{\partial t}=n_x q'_t, \qquad (2.23)$$

де n_x - кількість русел у площині ізохрони, віддаленої на відстань x від вододілу. Якщо мати на увазі, що до кожного русла відносяться на водозборах по 2 схили, то n_x буде становити

$$n_x=\frac{Bx}{2\ell}, \qquad (2.24)$$

де ℓ - довжина схилу;

Bx - ширина водозбору по ізохроні руслового добігання.

Відношення $\frac{1}{2\ell}$ є коефіцієнт густоти гідрографічної мережі α, а тому $n_x = \alpha\ Bx$.

Підставимо (2.24) у (2.23), тоді

$$V_\partial \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha\ Bx\, q'_t\,. \qquad (2.25)$$

При швидкості руслового добігання паводкових хвиль, яка незначно змінюється за довжиною річок, $Bx = B_t$, а (2.25) набуде вигляду

$$V_\partial \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha\, B_t\, q'_t\,. \qquad (2.26)$$

Інтегрується (2.26) за схемою елементарних водозборів, тобто спочатку складається допоміжна система співвідношень:

$$\frac{dx}{V_\partial} = \frac{dt}{1} = \frac{d\omega}{\alpha\, B_t\, q'_t}\,. \qquad (2.27)$$

На основі (2.27) можна записати

$$x = V_\partial t + C_1 \qquad (2.28)$$

і

$$\omega = \alpha \int B_t q'_t dt + C_2\ . \qquad (2.29)$$

Початкові та граничні умови: $t = 0;\ \omega = 0$ й $x = 0;\ \omega = 0$.

Розглянемо динаміку площі живого перерізу ω у часі, для чого скористуємось початковими умовами, тоді

$$C_1 = x\,, \qquad (2.30)$$

а

$$\omega = \alpha \int_0^t q'_t B_t \, dt. \qquad (2.31)$$

При застосуванні граничних обмежень:

$$C_1 = -V_\partial \, t \, , \qquad (2.32)$$

і

$$C_2 = -\alpha \int_0^t q'_t B_t \, dt. \qquad (2.33)$$

Об’єднуючим частинні інтеграли (2.32) і (2.33) є рівняння

$$C_2 = -\alpha \int_0^{-C_1/V_\partial} q'_t B_t \, dt. \qquad (2.34)$$

Визначаючи C_1 і C_2 з (2.28) і (2.29), підставимо їх у (2.30) і отримаємо вираз відносно ω

$$\omega = \alpha \int_0^t q'_t B_t \, dt - \alpha \int_0^{t-t_x} q'_t B_t \, dt = \alpha \int_{t-t_x}^t q'_t B_t \, dt, \qquad (2.35)$$

де $t_x = \dfrac{x}{V_\partial}$.

Максимальні витрати і модулі стоку будуть розраховуватись в залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання t_p і схилового припливу T_0. Так, при $t_p > T_0$, відповідно до (2.31)

$$Q_m = V_\partial \cdot \omega_m = V_\partial \cdot \alpha \int_0^{T_0} q'_t B_t dt \,. \qquad (2.36)$$

Для того, щоб спростити розв′язння цього рівняння, здійснимо осереднення функції B_t по T_0, тоді

$$(Q_m)_{пр} = \alpha \; B'_{сер} V_\partial \int_0^{T_0} q'_t dt \,, \qquad (2.37)$$

де $(Q_m)_{пр}$ - максимальна витрата води, розрахована за умови переходу від реальної форми водозбору до прямокутної, шириною $B'_{сер}$.

Для врахування такої спрощеної процедури введеться спеціальний коефіцієнт k'_1, який дорівнює

$$k'_1 = \frac{Q_m}{(Q_m)_{пр}} \,. \qquad (2.38)$$

Звідки

$$Q_m = k'_1 \, (Q_m)_{пр} = V_\partial \, B'_{сер} \, k'_1 \, Y_m \,. \qquad (2.39)$$

Максимальний модуль стоку q_m буде становити

$$q_m = \frac{Q_m}{F} = \frac{V_\partial \, B'_{сер} \, k'_1 \, Y_m}{B_{сер} \, L} = \frac{Y_m}{t_p} k'_1 \frac{B'_{сер}}{B_{сер}} \,, \qquad (2.40)$$

де $\frac{1}{t_p} = \frac{V_\partial}{L}$, а $\alpha \int_0^{T_0} q'_t dt = Y_m$.

Коефіцієнт k_1' і відношення $\frac{B'_{сер}}{B_{сер}}$ залежать від форми річкових водозборів і тому їх можна об'єднати в один гідрографічний коефіцієнт k_2. Тоді

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} k_2 . \qquad (2.41)$$

За умови $t_p < T_0$ максимальна витрата буде визначатись за (2.41), причому, $x = L$, $t_x = t_p$, а

$$\omega_m = \alpha \int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_t \, dt . \qquad (2.42)$$

Таким чином

$$Q_m = V_\partial \omega_m = V_\partial \, \alpha \int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_t \, dt . \qquad (2.43)$$

З (2.43) видно, що інтегрування повинно відбуватись в інтервалі t_p. Здійснимо його (для спрощення) стосовно прямокутної форми, якій відповідає $B_{сер}$. Замість (2.43) запишемо

$$(Q_m)_{пр} = V_\partial \, B_{сер} \, \alpha \int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_t \, dt = V_\partial \, B_{сер} Y_{t_p} . \qquad (2.44)$$

Перехідний коефіцієнт k_1 від $(Q_m)_{пр}$ до Q_m буде дорівнювати

$$k_1 = \frac{Q_m}{(Q_m)_{пр}} . \qquad (2.45)$$

Звідки

$$Q_m = k_1 \, (Q_m)_{пр} = k_1 V_\partial \, B_{сер} \; Y_{t_p} . \qquad (2.46)$$

Відповідний максимальний модуль q_m дорівнюватиме

$$q_m = \frac{Q_m}{F} = \frac{k_1 V_\partial B_{сер} Y_{t_p}}{B_{сер} L} = \frac{Y_{t_p}}{t_p} k_1 . \qquad (2.47)$$

Узагальнюючи (2.41) і (2.47), маючи на увазі, що $Y_{t_p} = \varphi Y_m$, запишемо для розгалужених річкових систем формулу максимального модуля стоку у вигляді

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_г , \qquad (2.48)$$

де $k_г$ - гідрографічний коефіцієнт, який набуває значення $k_г = k_1$ при $t_p < T_0$ і $k_г = k_2$ - при $t_p \geq T_0$;

φ - коефіцієнт повноти схилового припливу, що бере участь у формуванні Q_m (за умови $t_p < T_0$)

$$\varphi = \frac{n+1}{n} \frac{t_p}{T_0} \left[1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right]; \qquad (2.49)$$

при $t_p \geq T_0$

$$\varphi = 1{,}0 . \qquad (2.50)$$

Практичне застосування структури (2.48) для нормування характеристик максимального стоку як дощових паводків, так і весняних водопіль, показало, що вона не враховує повною мірою ефекти русло-заплавного регулювання. З метою удосконалення розрахункової формули А.М.Бефані (1981) дещо змінив вихідну редакцію диференціального рівняння надавши йому такого вигляду

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} \left(\omega + \omega_з + \omega_a \right) = \alpha \; q'_t \, B_t , \qquad (2.51)$$

де ω - площа живого перерізу основного русла;

$\omega_з$ - площа водного перерізу на заплаві;

ω_a - площа водного перерізу акумуляції води в алювіальних відкладах і берегах.

Робочою гіпотезою передбачалось, що між ω, з одного боку, і $\omega_з$ та ω_a, з іншого, існує лінійний зв'язок:

$$\omega_з = \beta_1 \omega \tag{2.52}$$

і

$$\omega_a = \beta_2 \omega . \tag{2.53}$$

За таких умов

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + (1 + \beta_1 + \beta_2)\frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha \; q'_t \, B_t . \tag{2.54}$$

Величину у дужках позначено як $\varepsilon'_Ї$, тобто

$$\varepsilon'_П = \frac{1}{1 + \beta_1 + \beta_2} \le 1{,}0 . \tag{2.55}$$

Розв′язується рівняння (2.54), з урахуванням (2.55), за тією ж методикою,тобто:

– при $t_p < T_0$

$$q_m = \frac{Y_{t_p}}{t_p} k_1 \varepsilon'_П ; \tag{2.56}$$

- при $t_p \ge T_0$

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} k_2 \varepsilon'_П . \tag{2.57}$$

В узагальненому вигляді розрахункова формула набуває вигляду

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_2 \varepsilon'_П . \qquad (2.58)$$

Слід зауважити, що при обґрунтуванні диференціального рівняння (2.54) і його розв′язанні, зроблено припущення стосовно незмінності $\varepsilon'_П$ на різних за розмірами водозборах. Практичне застосування структури (2.56) виявило залежність $\varepsilon'_П$ від площі водозборів, причому при $F = 0$ коефіцієнт $\varepsilon'_П = 1{,}0$, а при збільшенні її величини - має поступово убуваючий характер.

Гідрографічні коефіцієнти. Для дослідження впливу форми водозборів на величину максимальних витрат води необхідно спочатку у параметричному вигляді представити структуру гідрографічних коефіцієнтів $k_г$. Перший гідрографічний коефіцієнт k_1 є відношенням

$$k_1 = \frac{Q_m}{(Q_m)_{пр}} = \frac{\int\limits_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_t dt}{B_{сер} \int\limits_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t dt}, \qquad (2.59)$$

а другий k_2 -

$$k_2 = k'_1 \frac{B'_{сер}}{B_{сер}} = \frac{Q_m}{(Q_m)_{пр}} \frac{B'_{сер}}{B_{сер}} = \frac{\int\limits_0^{T_0} q'_t B_t dt}{B'_{сер} \int\limits_0^{T_0} q'_t dt} \frac{B'_{сер}}{B_{сер}} = \frac{\int\limits_0^{T_0} q'_t B_t dt}{B_{сер} \int\limits_0^{T_0} q'_t dt}. \qquad (2.60)$$

Розподіл ширин по довжині головної річки можна представити кривою, показаною на рис.2.2.

Перебудована крива ізохрон (рис.2.2б) досить просто описується рівнянням

$$\frac{B_x}{B_m} = 1 - \left(\frac{x}{L}\right)^m \qquad (2.61)$$

або при сталій швидкості руслового добігання паводкових і повеневих хвиль

$$\frac{B_t}{B_m} = 1 - \left(\frac{t}{t_p}\right)^m . \qquad (2.62)$$

Звідки

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p}\right)^m\right]. \qquad (2.63)$$

За літературними джерелами, m змінюється від 2,0 (невеликі водозбори) до 1,0 (середні водозбори) – 0,5 (великі розгалужені річкові системи) [11-14].

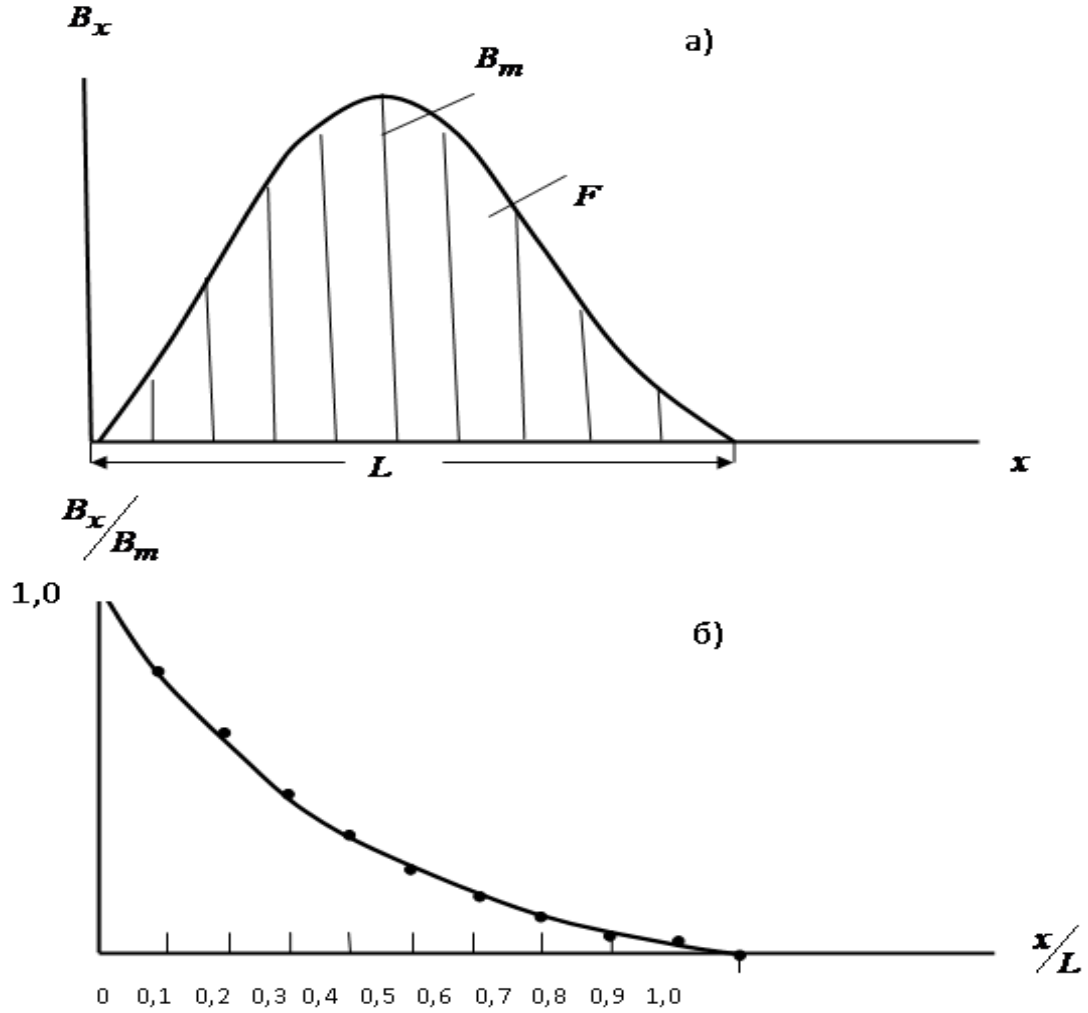

Рис.2.2- Криві ізохрон руслового добігання: а) у хронологічному вигляді; б) у перебудованому варіанті

Приступаючи до інтегрування (2.59), розглянемо його чисельник

$$\int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_t dt = \int_0^{t_p} q'_t B_t dt = q'_m B_m \int_0^{t_p} \left[1-\left(\frac{t}{T_0}\right)^n\right]\left[1-\left(\frac{t}{t_p}\right)^m\right] dt = \\ = q'_m B_m t_p \left[1-\frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n\right] . \quad (2.64)$$

Інтегральна складова знаменника (2.65) дорівнює

$$\int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t dt = \int_0^{t_p} q'_t dt = q'_m \int_0^{t_p} \left[1-\left(\frac{t}{T_0}\right)^n\right] dt == q'_m t_p \left[1-\frac{1}{n+1}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n\right]. \quad (2.65)$$

Середню ширину водозборів $B_{сер}$, маючи функцію B_t у вигляді (2.63), можна отримати таким чином

$$B_{сер} = \frac{1}{t_p}\int_0^{t_p} B_t dt = \frac{m}{m+1} B_m . \quad (2.66)$$

Тепер (2.64) – (2.66) підставимо в (2.59) і здійснимо нескладні перетворення, тоді

$$k_1 = \frac{1-\frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n}{1-\frac{1}{n+1}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n} . \quad (2.67)$$

Аналогічним чином виконуються розрахунки k_2 в редакції (2.60). Чисельник в (2.60) від (2.59) відрізняється лише областю інтегрування, оскільки

$$\int_0^{T_0} q'_t B_t dt = q'_m B_m T_0 \left[\frac{n}{n+1} - \frac{n}{(m+1)(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]. \qquad (2.68)$$

Вирішенням інтегрального виразу у знаменнику буде

$$\int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m T_0 \frac{n}{n+1}. \qquad (2.69)$$

Середня ширина $B_{сер}$, що входить у знаменник (2.60), визначається формулою (2.66). Після підстановки (2.68), (2.69) і (2.66) в (2.60) та перетворень отримаємо аналітичний вираз для k_2

$$k_2 = \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m . \qquad (2.70)$$

Щоб отримати фізичні межі для $k_г$, підставимо в (2.67) умову нижньої границі. Тоді $k_г = k_1 = 1{,}0$, при $t_p / T_0 = 0$, незалежно від форми річкових водозборів і динаміки схилового припливу у часі. Верхньою границею $k_г$ (при $t_p >> T_0$) буде $k_2 = \frac{m+1}{m}$. Зокрема, для невеликих водозборів ($m = 2{,}0$) $\frac{m+1}{m} = 1{,}5$, для середніх ($m = 1{,}0$) – 2,0, для великих ($m = 0{,}5$) – 3,0. Характер зміни $k_г$ в залежності від співвідношення t_p / T_0 і форми водозборів ілюструється рис.2.3.

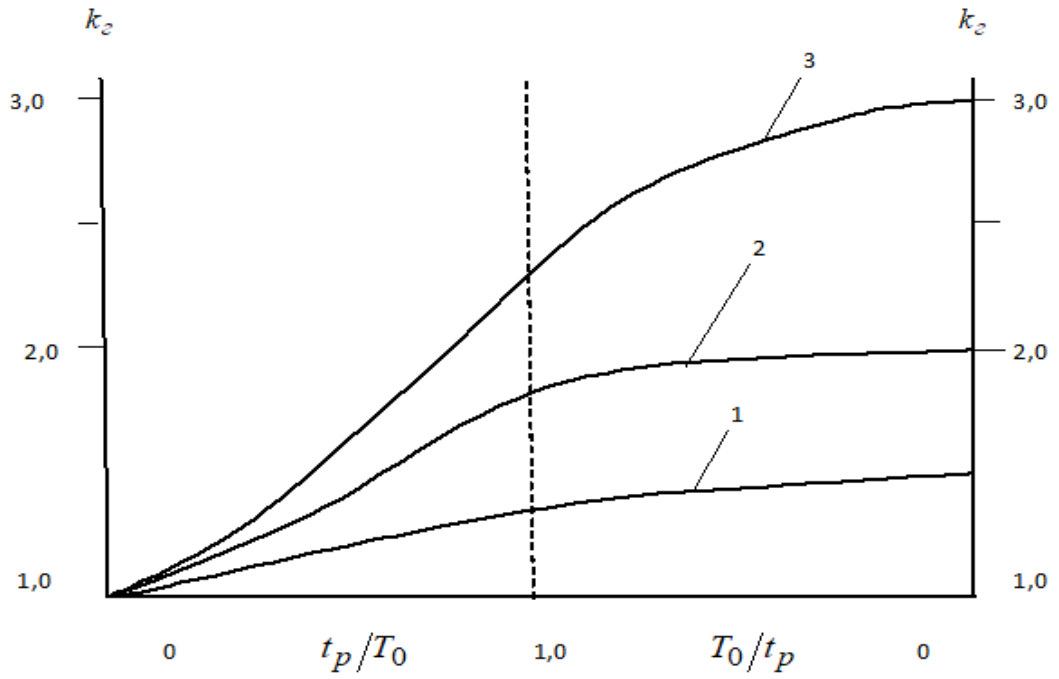

Рис.2.3 - Залежність гідрографічних коефіцієнтів $k_г$ від співвідношення t_p/T_0 при $m = 2{,}0$ (1); 1,0 (2); 0,5 (3)

2.4 Методи розрахунку максимального стоку, які використовуються у зарубіжній практиці

Емпіричний метод використовуються у зарубіжній практиці ВМО [15]. За допомогою емпіричних формул можна отримати прості залежності між змінними паводку (зазвичай максимальною витратою) і факторами їх формування, представленими різними геоморфологічними і метеорологічними змінними. Загальний вигляд формули, що виражає максимальна витрата Q у вигляді статечної функції площі водозбору A, має вигляд

$$Q = CA^n, \tag{2.71}$$

де коефіцієнт C і показник ступеня n змінюються в широких межах, їх значення для окремих випадків визначаються на основі емпіричних даних [16].

Застосування емпіричних формул зазвичай обмежується тим районом, для якого вони були розроблені, тому їх слід використовувати з великою обережністю і тільки тоді, коли не можна застосувати більш точний метод. Інший недолік емпіричних формул - труднощі оцінки періоду повторюваності, отриманого на їх основі. Максимальні паводковий витрати, спостережені за великим числом станцій, можуть бути нанесені на клітковину як функція площі водозбору, і отримане поле точок охоплена згладженої кривої. Такі криві несуть корисну інформацію, особливо в разі, коли за кожною окремою станції є обмежені вибірки. Були спроби розробити методику побудови різних огинають кривих стосовно до різних кліматичних і геоморфологічних факторів [17]. Однак загальним недоліком методу огинають кривих є невизначеність періоду повторюваності отриманих максимальних витрат.

Детерміновані моделі використовуються в практиці ВМО [15]., для генерування розрахункових паводків на основі імітації фізичних процесів, які керують формуванням паводків. Моделі, які використовуються для цієї мети, за своєю сутністю - такі ж, як і ті, які використовуються для генерування основних процесів стоку. Модель повинна забезпечувати точне відтворення максимальних витрат обсягів і форм гідрографа окремих паводків, що відповідають реальним умовам випадання опадів і сніготанення. У той же час спроможність моделі передбачити точне положення кожного окремого паводку має другорядне значення. Залежно від того, як моделюється розрахунковий паводок - на підставі даних про опади та / або умовах сніготанення, або на підставі відомих гідрографів паводку, отриманих для вище розташованого створу, детерміновані моделі поділяються на дві великі групи:

а) моделі опади-стік;

б)моделі трансформації річкового стоку.

2.5 Нормативні документи

До нормативних документів, які діють на території України для розрахунку характеристик максимального стоку паводків та водопіль відноситься СНіП 2.01.14–83, в якому використані дані спостережень до 1976 р [18].

Посібник містить основні методи і схеми розрахунку середніх річних, максимальних витрат води та об’ємів стоку весняного водопілля та дощових паводків, гідрографів, внутрішньорічного розподілу стоку, відміток найвищих рівнів води річок , озер та мінімальних витрат води.

Також при визначенні розрахункових гідрологічних характеристик необхідно враховувати такі прийоми розрахунків:

а) при наявності даних гідрометричних спостережень - безпосередньо за цими даними;

б) при недостатності даних гідрометричних спостережень - приведенням їх до багаторічного періоду за даними річок-аналогів з більш тривалими рядами спостережень;

в) при відсутності даних гідрометричних спостережень - за формулами із застосуванням даних по річках-аналогах і картам, заснованим на сукупності даних спостережень всієї мережі гідрометричних станцій і постів даного району або більшій території, включаючи матеріали інженерно-гідрометеорологічних вишукувань.

Базові рівняння в основному належать до структури редукційного типу. Для максимального стоку весняного водопілля розрахункова формула описується рівнянням

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+b)^{n_1}}, \qquad (2.72)$$

де q_m - максимальний модуль стоку;

Y_m - розрахунковий шар стоку;

k_0 - коефіцієнт дружності весняного водопілля;

F - площа водозбору;

b - параметр, який враховує уповільнення редукції максимальних модулів стоку;

n_1 - показник редукції.

Для максимального стоку дощових паводків при F ≥ 200 $км^2$ розрахункова формула (2.72) має дещо іншу редакцію

$$q_m = q_{200}\left(\frac{200}{F}\right)^{n_1}, \qquad (2.73)$$

де q_{200} - максимальний модуль стоку, приведений до умовної площі водозбору $F = 200$ км^2.

Максимальні модулі стоку дощових паводків в діапазоні F □ 200 $км^2$ визначаються за формулою граничної інтенсивності

$$q_m = A_m H_m \eta \ , \qquad (2.74)$$

де A_m - максимальний модуль стоку, виражений у частках добутку ηH_m і визначається за таблицями, залежно від геоморфологічної характеристики русла Φ і тривалості схилового добігання t_{cx}, причому

$$\Phi = \frac{1000\,L}{m_p\, I^m F^{1/4} (\eta\, H_m)^{1/4}}, \qquad (2.75)$$

де L – гідрографічна довжина річок;

m_p - гідравлічний параметр русла;

m - степеневий показник;

H_m - максимальний добовий шар опадів;

η - збірний коефіцієнт паводкового стоку.

2.6 Методика, що пропонується для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Науково-методична база, що пропонується для визначення розрахункових характеристик весняного водопілля на території північно - західного Причорномор'я (включаючи р. Південний Буг) , ґрунтується на геометричній моделі гідрографів стоку [11-14].

Як відомо, високі водопілля мають структуру, наближену до одно - модальних гідрографів. Схематично модель гідрографів можна представити у вигляді двох гілок, які перетинаються у верхів'ї (рис 2.4).

Гідрографи схилового припливу і руслового стоку проф. Гопченком Є.Д. у розгорнутому вигляді описується рівняннями:

– схиловий гідрограф

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \qquad (2.76)$$

– русловий гідрограф

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right], \qquad (2.77)$$

де T_0 - тривалість схилового припливу;

T_n - тривалість водопілля (паводка);

q'_m і q_m - максимальні модулі схилового і руслового стоку;

t_p - тривалість руслового добігання.

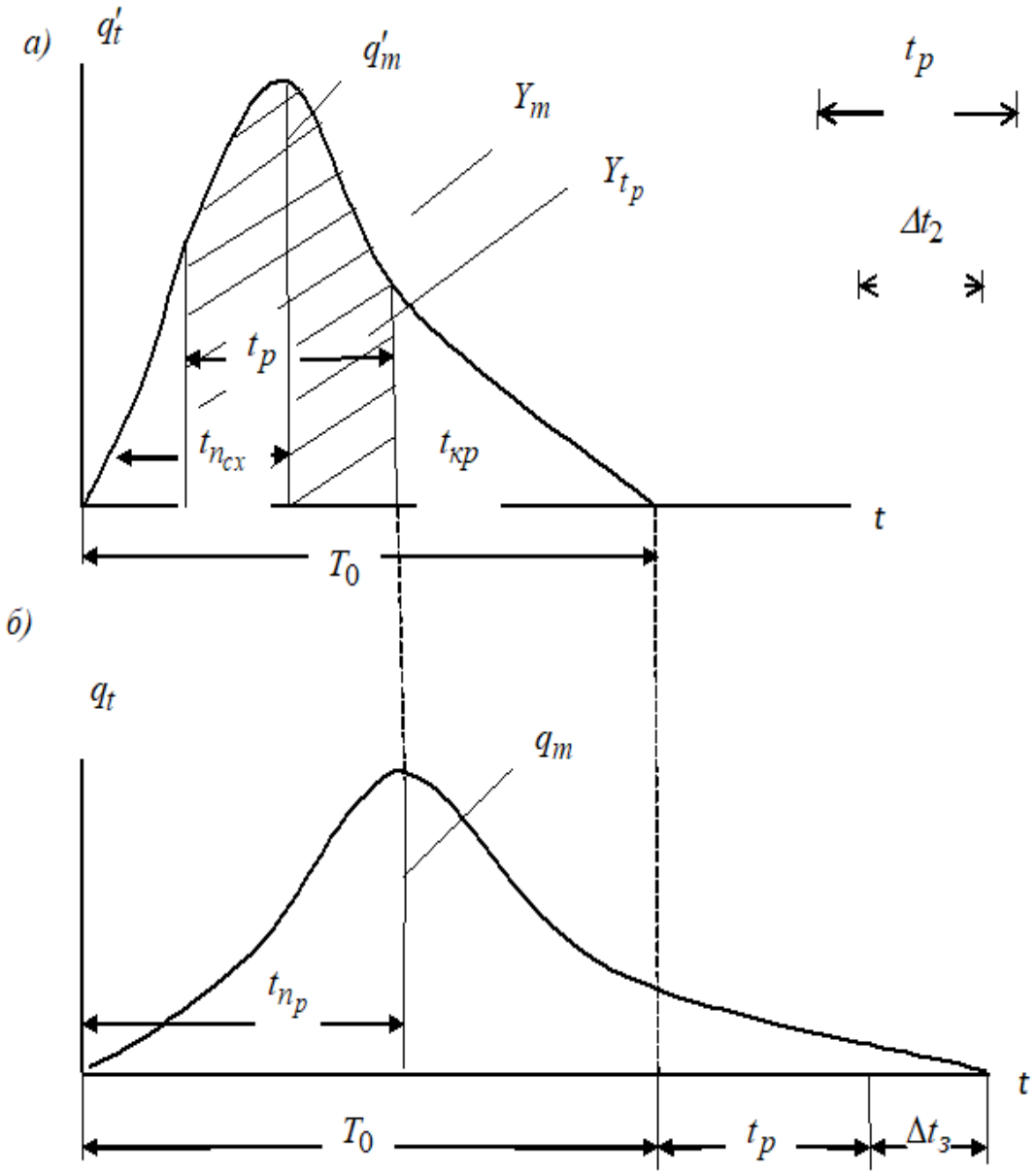

Рис. 2.4 – Модель формування річкового стоку: а) гідрограф схилового припливу; б) гідрограф руслового стоку

За відомих функцій q'_t і q_t можна знайти шар схилового припливу $(Y_m)_{пр}$ і руслового стоку $(Y_m)_{ст}$:

$$(Y_m)_{пр} = \int_0^{T_0} q'_t dt = \frac{n}{n+1} q'_m T_0 , \qquad (2.78)$$

а

$$(Y_m)_{ст} = \int_0^{T_n} q_t dt = \frac{m_1}{m_1+1} q_m T_n . \qquad (2.79)$$

В період весняного водопілля розбіжності у розмірах $(Y_m)_{пр}$та $(Y_m)_{ст}$різняться між собою незначно, тобто $(Y_m)_{пр} = (Y_m)_{ст} = Y_m$, а максимальний модуль руслового стоку буде дорівнювати:

$$q_m = \left(\frac{m_1+1}{m_1} \Big/ \frac{n+1}{n} \right) \frac{q'_m T_0}{T_n} . \qquad (2.80)$$

де $k_m = \frac{m_1+1}{m_1} \Big/ \frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт трансформації форми гідрографа стоку;

$\frac{m_1+1}{m_1}$ - коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

В структурі (2.80) реалізується природна послідовність трансформації «схиловий приплив – русловий стік», але редукція максимального модуля q_m по площі відбувається не лише за рахунок параметра $1 \Big/ \left(1 + \frac{t_p}{T_0}\right)$, але й під впливом k_n і k_m, тобто

$$\frac{1}{(F+1)^{n_1}} = \frac{k_m k_n}{1 + {t_p}/{T_0}}. \qquad (2.81)$$

Таким чином розрахункова формула максимального модуля стоку набуває вигляду:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}. \qquad (2.82)$$

Відповідно до (2.82) максимальний модуль схилового припливу дорівнює

$$q'_m = \frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}Y_m, \qquad (2.83)$$

де $\frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0} = k_0$ - коефіцієнт трансформації силового стоку (відповідає терміну «коефіцієнт дружності», наведеного в СНіП 2.01.14-83) [17].

З урахуванням цього

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}}. \qquad (2.84)$$

У магістерській роботі ми скористаємося структурним рівняння (2.84).

3. Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Теоретичним обґрунтуванням можливості застосування статистичних методів при розрахунках стокових величин є так звані граничні теореми теорії ймовірності. Перша група теорем (закон великих чисел) має такий фізичний зміст: при досить великій кількості випадкових явищ їх середній результат практично перестає бути випадковим і передбачається з великим ступенем певності, тобто встановлюється факт наближення середніх характеристик великої кількості дослідів до деяких визначених сталих.

Друга група теорем (центральна гранична теорема) стосується законів розподілу випадкових величин. Усі форми центральної граничної теореми присвячуються установленню умов, при яких виникає нормальний закон розподілу. А виникає він у тих випадках, коли випадкова величина може бути представленою у вигляді суми великої кількості незалежних доданків, кожен з яких досить мало впливає на саму суму.

Дійсно, річковий стік можна розглядати як подію, що є результатом взаємодії великої кількості різних стокоформуючих факторів, але ступінь впливу кожного з них на формування явища, що розглядається, не можна врахувати в повній мірі, окрім того, деякі фактори можуть бути пов'язані одне з одним. У зв'язку з цим ряди стоку мають свої особливості, що відокремлюють їх від більшості сукупностей випадкових гідрометеорологічних величин. Ці особливості можна сформулювати таким чином[12,13]:

1. У розпорядженні спеціаліста-гідролога найчастіше є обмежена вихідна інформація: тривалість спостережень за стоком, як правило, не перевищує 30-40 років. Тому під час гідрологічних розрахунків практично не використовуються згруповані ряди;

2. Ряди стокових величин характеризуються додатною асиметрією, тобто переважають додатні відхилення від центру розподілу, на відміну від нормально розподіленої випадкової величини, де асиметрія дорівнює нулю. Окрім того, між суміжними членами рядів встановлено зв'язок, який кількісно може бути охарактеризованим коефіцієнтом автокореляції;

3. Значення стоку завжди додатні. Область визначення стоку, як випадкової величини, знаходиться у границях від нуля до незкінечності: $X \in (0,+\infty)$.

4. Ряди стокових величин можуть бути неоднорідними за часом, що обумовлюється водогосподарськими перетвореннями на водозборах (будівництво водосховищ, перекид стоку з однієї річки в другу, скидання у поверхневі водотоки підземних вод, інтенсивні забори води на зрошення та ін.).

Перелічені особливості вимагають пошуку вирішення таких задач при первинній статистичній обробці результатів:

• оцінка статистичної однорідності рядів;

• вибір теоретичного закону розподілу випадкової величини, який задовільно узгоджується з емпіричним (у практиці гідрологічних розрахунків найчастіше застосовуються закон Пірсона III-го типу та трипараметричний гама-розподіл С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля);

• оцінка статистичних параметрів розподілу по стокових рядах;

• оцінка точності розрахунку статистичних параметрів по вибіркових даних;

• урахування у розрахунках зв'язку між суміжними членами рядів стоку.

Отже, якщо річний стік – випадкова величина, то він має якийсь розподіл ймовірностей, що може бути описаний тим чи іншим теоретичним законом розподілу. Параметрами розподілу ймовірностей (статистичними параметрами) є числові характеристики, що дозволяють робити висновки про властивості закону розподілу ймовірностей випадкової величини. Оскільки

ми маємо у розпорядженні тільки обмежені за часом результати спостережень за стоком (випадкову вибірку з усієї генеральної сукупності), то у подальшому мова може йти тільки про більш чи менш наближені кількісні характеристики розподілу. Тому статистичні параметри, які розраховані по вибірках, мають назву оцінок статистичних параметрів. До статистичних параметрів висуваються такі вимоги;

1. Оцінки повинні бути незміщеними, тобто математичне сподівання оцінки дорівнює значенню статистичного параметра генеральної сукупності.

2. Оцінки мають бути ефективними: їх розсіяння відносно значення параметру генеральної сукупності щонайменше з усіх можливих.

3. Оцінки повинні бути умотивованими, тобто збігатися по ймовірності до параметру генеральної сукупності [18].

3.1 Метод моментів

В основі цього методу лежить визначення статистичних параметрів кривих розподілу через статистичні моменти. У статистиці значення дискретної випадкової величини представляється у вигляді матеріальної точки з масою, пропорційною ймовірності з'явлення цієї випадкової величини.

Тоді сума добутків усіх можливих значень випадкової величини x, на ймовірність цих значень p, являє собою абсцису центру тяжіння усієї системи N матеріальних точок (математичне сподівання):

$$m_X = \sum_{i=1}^{N} p_i \, x_i \qquad (3.1)$$

або середньозважене із значень x_i, причому кожне із значень під час осереднення враховується з вагою, пропорційною ймовірності появи цього значення.

$$m_x = \frac{x_1p_1+x_2p_2+\ldots+x_np_n}{p_1+p_2+\ldots+p_n} = \frac{\sum_{i=1}^{N} p_i x_i}{\sum_{i=1}^{N} p_i}; \qquad (3.2)$$

де $\sum_{i=1}^{N} p_i = 1$

При описуванні властивостей статистичних сукупностей використовуються моменти двох видів: початкові α та центральні μ

$$a_s = \sum_{i=1}^{N} p_i\, x_i^s; \qquad (3.3)$$

$$\mu_s = \sum_{i=1}^{N} (x[_i] - m_x)^s p_i; \qquad (3.4)$$

де S — порядок моменту.

Перший початковий момент $S = a_1$ дорівнює математичному сподіванню m_x. Другий центральний момент називається дисперсією і позначається σ_x^2. З них найбільше застосування у статистиці знайшли:

статистичні моменти a_1,μ_2;μ_3;μ_4 та їх безрозмірні характеристики (нормовані моменти). Останні мають такий вигляд:

• коефіцієнт варіації

$$C_V = \frac{\sqrt{\mu 2}}{m_x}, \quad \text{або} \quad C_V = \frac{\sigma_x}{m_x}, \qquad (3.5)$$

• коефіцієнт асиметрії

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3}, \qquad (3.6)$$

• ексцес

$$E = \frac{\mu_4}{\sigma_x^4} - 3, \qquad (3.7)$$

Перший початковий момент a_1 або математичне сподівання m_x , є центром розподілу випадкової величини.

Другий центральний момент μ_2 або дисперсія σ_x^2 характеризує розсіювання значень випадкової величини відносно математичного сподівання. Дисперсія випадкової величини має розмірність квадрату випадкової величини. Але для більш наочної характеристики розсіювання зручно користуватися величиною, розмірність якої співпадає з розмірністю випадкової величини.

Для цього з дисперсії добувають квадратний корінь. Отримана величина називається середнім квадратичним відхиленням(стандартом) випадкової величини і позначується символом σ_x. Стандарт, представлений у безрозмірному вигляді формули (3.5) називається коефіцієнтом варіації.

Третій центральний момент μ_3 служить характеристикою асиметрії розподілу. Якщо розподіл випадкової величини симетричний відносно m_x, то μ_3 дорівнює нулю. Безрозмірна характеристика асиметрії з формули (3.6) називається коефіцієнтом асиметрії.

Четвертий центральний момент μ_4 використовується для характеристики так званої «крутості», тобто гостровершинності, кривої розподілу. Ця властивість розподілу описується за допомогою так званого ексцесу формули (3.7). Число 3 віднімається від співвідношення тому, що для нормального закону розподілу μ_4/σ_x^4=3. Отже ексцес нормального закону розподілу E дорівнює 0. Додатній ексцес означає, що крива більш гостро - вершинна у порівнянні з нормальною. Більш плоскі відносно нормальної криві мають від'ємний ексцес.

Розглянемо вибіркові оцінки перелічених моментів

$$\hat{a}_1 = \sum_{i=1}^{n} x_i \, p_i; \tag{3.8}$$

$$\beta_2 = \sum_{i=1}^{n}(x_i - m_x)^2_{p_i}; \quad (3.9)$$

$$\beta_3 = \sum_{i=1}^{n}(x_i - m_x)^3 p_i; \quad (3.10)$$

$$\beta_4 = \sum_{i=1}^{n}(x_i - m_x)^4 p_i; \quad (3.11)$$

де n – тривалість вибірки;

$\hat{a}_{1,}, \beta_2, \beta_3, \beta_4 -$ - вибіркові оцінки статистичних моментів;

$p_i -$ відносна частота кожного значення x_i .

Вибіркова оцінка математичного сподівання називається середнім арифметичним значенням. Коли вихідний ряд розглядати як згрупований, у якому кожному значенню випадкової величини відповідає абсолютна частота, що дорівнює одиниці, тоді відносна частота розраховується за формулою

$$p_i = {}^{1}/_{n} \quad (3.12)$$

Формули для розрахунків статистичних моментів набувають такого вигляду

$$\hat{a} = \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \quad (3.13)$$

$$\beta_2 = \sigma_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^2}{n}, \quad (3.14)$$

$$\beta_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3}{n}, \quad (3.15)$$

$$\beta_4 = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^4}{n} \quad (3.16)$$

Нормовані статистичні моменти C_V та C_s можна виразити через модульні коефіцієнти K_I .

$$C_V = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i-1)^2}{n-1}}, \quad (3.\ 17)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i-1)^3}{nC_V^3}, \quad (3.18)$$

де $$k_i = x_i \ / \ \bar{x} \quad (3.19)$$

Оцінки центральних статистичних моментів другого, третього та більш вищих порядків не відповідають вимогам незміщеності. Отже при використанні розрахункових формул, наведених вище, ми будемо обчислювати моменти з систематичною похибкою. Для уникнення її у формули (3.14), (3.15) та (3.17), (3.18) вводяться поправочні коефіцієнти:

для другого центрального моменту:

$$\frac{\mathrm{n}}{\mathrm{n}-1}, \quad (3.20)$$

для третього:

$$\frac{\mathrm{n}^2}{(n-1)(n-2)} \quad (3.21)$$

В результаті розрахункові формули мають такий вигляд

$$\sigma_{\mathrm{x}}^2 = \frac{\sum_{\mathrm{i}=1}^{\mathrm{n}}(\mathrm{x_i}-\bar{\mathrm{x}})^2}{\mathrm{n}-1}, \quad (3.22)$$

або

$$C_V = \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i-1)^2}{n-1}}, \quad (3.23)$$

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(x_i - \bar{x})^3 n}{\sigma_x^3 (n-1)(n-2)}, \quad (3.24)$$

або

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^{n}(k_i - 1)^3 n}{C_V^3 (n-1)(n-2)}, \quad (3.25)$$

Що стосується ексцесу, то ця характеристика розподілу не використовується у гідрологічних розрахунках, тому що навіть при відносно тривалих рядах стоку вона є недостовірною. Слід відзначити, що введення поправкових множників (3.20) та (3.21) допомагає усунути зміщеність параметрів стокових рядів лише при $C_v \leq 0,5$. При $C_v > 0,5$ застосування методу моментів у гідрологічних розрахунках не рекомендується[12].

За допомогою даного методу були розраховані гідрологічні параметри для максимальних витрат води весняного водопілля, результати яких наведені у дод. А.2.

При розрахунках гідрологічних параметрів найбільше значення коефіцієнтів варіації спостерігалось на б. Тараклия – смт. Тараклия (C_v=2,3), а найменше значення коефіцієнтів варіації спостерігалось на р. Когильник - смт. Котовське (C_v=0,53). Мінімальне значення коефіцієнта асиметрії на р. Інгул-с. Новогорожене (C_s=0,35), а найбільше значення коефіцієнта асиметрії - на р. Кодима - с. Катеринка (C_s=4,8).

За допомогою даного методу були розраховані статистичні параметри й для шарів стоку, результати яких наведені у дод. А.3.

При розрахунках гідрологічних параметрів найбільші значення коефіцієнтів варіації спостерігалось на б. Тараклия- смт. Тараклия (C_v=1,55), а найменші значення коефіцієнтів варіації спостерігались на р.Південний Буг - с. Пирогівці (C_v=0,54). Мінімальне значення коефіцієнтів асиметрії на р. Когильник - смт. Котовское (C_s=0,60), а найбільше значення — на р. Кодима - с. Катеринка (C_s=4,83).

3.2 Метод найбільшої правдоподібності

Походження назви цього методу пов’язане з застосуванням функції правдоподібності до визначення статистичних параметрів три параметричного гама-розподілу С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля.

З одного боку, функція правдоподібності – це ймовірність сумісної появи вибірки в цілому. З другого, ймовірність сумісної появи події – це добуток ймовірності усіх елементів вибірки, що містять у собі невідомий параметр, який треба оцінити.

*Метод найбільшої правдоподібност*і – 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, звідки і пішла назва – метод найбільшої правдоподібності. Математичний вираз для функції правдоподібності з невідомим параметром θ має такий вигляд:

$$L\left(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n^{\theta}\right) = f\left(x_1^{\theta}\right), f\left(x_2^{\theta}\right), \dots, f(x_n^{\theta}) \tag{3.26}$$

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

$$\frac{\partial L}{\partial \theta} = 0 \tag{3.27}$$

Якщо для деякого параметра θ існує його ефективна оцінка, то вона с єдиним в цьому випадку вирішенням рівняння (3.27). Метод найбільшої правдоподібності приводить до обґрунтованих оцінок з незначним зміщенням. Але вигляд розрахункових формул статистичних параметрів залежить від обраного закону розподілу випадкової величини. Є.Г. Блохінов застосував метод найбільшої правдоподібності до три параметричного гама-

розподілу С.М. Крицького та М.Ф. Менкеля. Строге вирішення приводить до складних трансцендентних рівнянь. У зв'язку з цим був запропонований спрощений засіб оцінки параметрів. У результаті отримані такі статистики

$$\lambda_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i}{n}, \tag{3.28}$$

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} lg\frac{x_i}{\bar{x}}}{n}, \tag{3.29}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} \frac{x_i}{\bar{x}} lg\frac{x_i}{\bar{x}}}{n}, \tag{3.30}$$

Перша із статистик λ_1 дорівнює середньоарифметичному значенню випадкової величини *X*. Дві другі (λ_2, λ_3) функціонально зв'язані з коефіцієнтом варіації C_V та коефіцієнтом асиметрії C_s. Для переходу від λ_2 та $\boldsymbol{\lambda_3}$ до C_V та C_s/C_V побудовані спеціальні номограми [13] .

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

$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} lgk_i}{n-1}, \tag{3.31}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^{n} k_i lgk_i}{n-1}, \tag{3.32}$$

Розрахунки для максимальних витрат води весняного водопілля були виконані за методом найбільшої правдоподібності, результати приведені в дод. А.2. При розрахунках гідрологічних параметрів найбільше значення коефіцієнтів варіації спостерігалось на б.Тараклия — смт.Тараклия (становить 2,7), а найменше значення коефіцієнта варіації спостерігалось на Когильник- смт Котовське (становить 0,54).

Для шарів стоку весняного водопілля розрахунки були виконані за методом найбільшої правдоподібності, результати приведені в дод. А.3. При розрахунках гідрологічних параметрів найбільше значення коефіцієнтів варіації спостерігалось на р.Кодима-с.Катеринка (становить 5,67), а найменше значення коефіцієнта варіації спостерігалось на р.Когильник—смт. Котовское (становить 0,66).

3.3 Визначення розрахункових характеристик максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля забезпеченістю Р=1% виконувалось з використанням метода найбільшої правдоподібності. Розрахункові значення $Q_{1\%}$ та $Y_{1\%}$ визначались на основі таблиці трипараметричного гама – розподілу[18].

При цьому

$$Q_{1\%} = (K_{1\%})_Q \cdot \bar{Q}_m \,, \qquad (3.33)$$

$$Y_{1\%} = (K_{1\%})_y \cdot \bar{Y}_m \,, \qquad (3.34)$$

де $(K_{1\%})_Q$, $(K_{1\%})_Y$ – модульні коефіцієнти , які визначаються з застосуванням залежності $(K_{1\%})_Q = f\,(C_v)$ і відношення C_s/C_v = 2,5, та$(K_{1\%})_Y = f\,(C_v)$ і відношення C_s/C_v = 2,0.

Модулі максимального стоку весняного водопілля забезпеченістю Р=1% (дод. А.4.) змінюються по території від 0,46 м^3/с км^2 (р. Соб – с. Зозів) до 0,032 м^3/с км^2 (р. Тилігул – с. Березівка).

Як видно з дод. А.5., розрахункові шари стоку водопілля забезпеченістю Р=1% змінюються у межах Причорномор’я від 43,2 мм (б.Тараклія—смт.Тараклія) до 186 мм (Пожарна—с. Сипотени).

3.4 Просторове узагальнення розрахункових шарів стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини(включаючи р. Південний Буг)

Просторове узагальнення шарів стоку забезпеченістю P=1% узагальнено у вигляді відповідної карти.

Вихідні дані представлені в дод. А.5. Вони охоплюють водозбори 34 пунктів спостережень за гідрологічним режимом річок. При картувані $Y_{1\%}$ відносились до геометричних центрів водозборів. Ізолінії проведені через 20 мм . У загальному спостерігається убування $Y_{1\%}$ у напрямку з північного заходу і північного сходу на південь від 120-140мм до 40мм. Чітко представлена замкнута область в басейні р. Кодима. Для цієї області характерні величини шарів стоку, які становлять не більше 60 мм . Карто схема ізоліній представлена на рис.3.1.

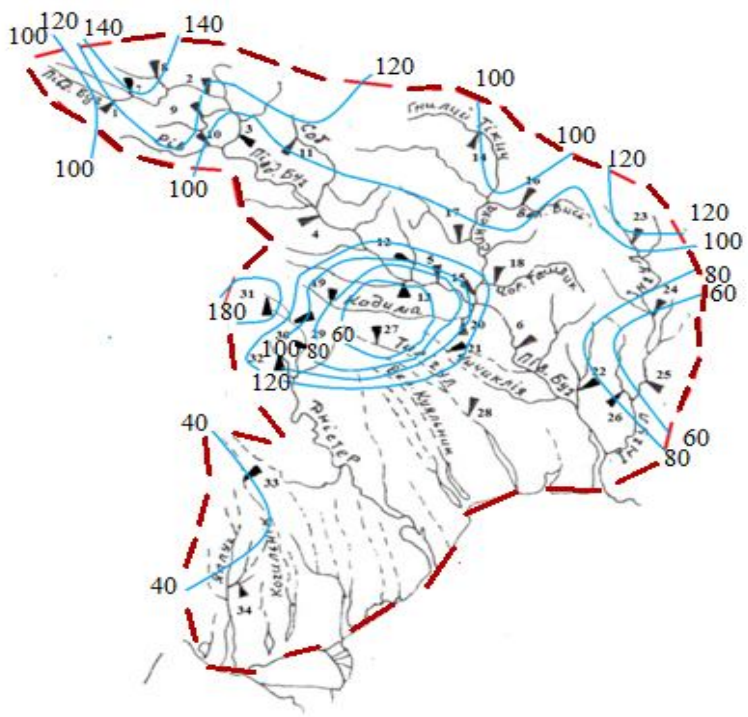

Рис.3.1 – Карта- схема ізоліній просторового розподілу шарів стоку весняного водопілля 1% забезпеченості на території Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Відповідність карти(рис.3.1) вихідним даним представлена залежністю яка наведена в дод. А.6. Середнє відхилення становить 9,8%, що в цілому відповідає вихідним даним та СНіП 2,01,14-83 [18].

3.5 Оцінка точності визначення розрахункових параметрів одновідсоткових витрат води та шарів стоку

Точність вихідних даних по максимальних витратах води $Q_{1\%}$ ($м^3/с\ км^2$) та шарах стоку весняного водопілля $Y_{1\%}$ (мм) визначалось за критерієм С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля (дод. А.7., дод. А.8.):

— для максимальних витрат води

$$\sigma_{Q_{1\%}} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} 100\%, \qquad (3.35)$$

де $\sigma_{Q_{1\%}}$ — середньоквадратична похибка витрати води $Q_{1\%}$;

E_σ — стандартна похибки, визначені в залежності від коефіцієнта

C_v — та тривалості спостереження часових рядів витрат води ;

n — тривалість спостережень;

— для шарів стоку

$$\sigma_{Y_{1\%}} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} 100\%, \qquad (3.36)$$

де $\sigma_{Y_{1\%}}$ — середньоквадратична похибка шарів стоку весняного водопілля $Y_{1\%}$;

E_σ — стандартна похибки, визначені в залежності від коефіцієнта C_v та тривалості спостереження часових рядів шарів стоку весняного водопілля .

Як видно з дод. А.7., середня похибка максимальних витрат води весняного водопілля ймовірності перевищення P = 1% знаходиться на рівні 19,6%. Для шарів стоку весняного водопілля ймовірносне перевищення P= 1% (у дод. А.8.) середня похибка складає 16,5%.

4 Обґрунтування методики для розрахунку максимального стоку весняного водопілля на території північно - західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

4.1 Розрахункова методика для визначення максимальних витрат води весняного водопілля на території Причорноморської низовини

Для визначення максимальних витрат води весняного водопілля забезпеченість P= 1% нами використана формула (2.84).

Для визначення коефіцієнта схилової трансформації K_0 та степного показника n_1 побудована у логарифмічних координатах залежність (рис. 4.1) $\lg(q_{1\%}/Y_{1\%})= f \lg(F+1)$. Вихідні дані представлені в дод. Б.1..

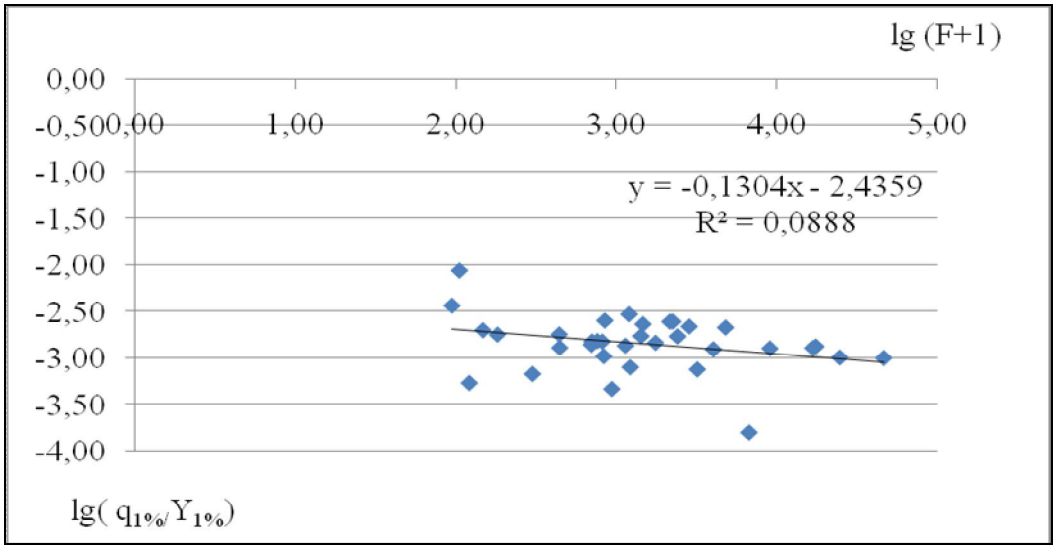

Рис. 4.1 — Залежність $lg\ (q_{1\%}/Y_{1\%}) = f\ lg(F+1)$

Залежність, наведена на рис.4.1, описується рівнянням

$$q_{1\%} = \frac{0.0036 \cdot Y_{1\%}}{(F+1)^{0.13}}; \qquad (4.1)$$

Оскільки коефіцієнт кореляції відноситься до значущих , то при наявності 34 гідрологічних пунктів спостережень залежність (рис. 4.1) відноситься до значущих. Вона може бути використаною для практичних цілей .

Перевірочні розрахунки при n_1=0,13 та K_0 = 0,0036 за формулою (4.1) наведені в дод. Б.2.

Як видно з дод. Б.2, похибки за цією формулою змінюються у досить широкому діапазоні — від 0,08 (р. Тилігул - с. Новоукраїнка) до 630 (р. Інгул-с. Новогорожене). У середньому по регіону похибка становить 61%. Такий результат протерічить вимогам нормативного документу СНіП 2.01.14 -83 [17] ($\sigma_{Q_{1\%}}$ < 20%) і вихідним даним ($\sigma_{Q_{1\%}}$ = 19,6%). Значні похибки потребують удосконалення розрахункової формули для визначення характеристик максимального стоку весняного водопілля на території Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

4.2 Визначення параметрів регіональної методики для розрахунку максимальних витрат води весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Розрахункова методика для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля річок Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) пропонується в редакції (2.84), яка відповідає структурі СНіП 2.01.14 – 83 [18]. При осередненні у межах розглядуваної території коефіцієнта схилової трансформації K_0 виявилось, що похибка її в середньому становить 61%.

Таким чином, удосконалення використаної методики можливе за рахунок деталізації коефіцієнту K_0 , який входить до формули (2.84). С цією метою, виходячи із структури (2.84),

$$K_0 = (q_{1\%} / Y_{1\%})\,(F+1)^{0,13}, \qquad (4.2)$$

де $q_{1\%}$ — модуль максимального стоку весняного водопілля забезпеченістю P=1%;

$Y_{1\%}$ — максимальний шар стоку весняного водопілля забезпеченістю P=1%.

Слід зауважити, що степеневий показник n_1 можна прийняти на рівні 0,13, оскільки він був отриманий за схемою формули (4.1). Встановлені індивідуальні значення коефіцієнтів трансформації K_0 представлені у дод. Б.3. Коливається від 0,0010 (р.Пожарна — с. Сипотени) до 0,0161 (б.Тараклія-смт.Тараклія).

Просторове узагальнення коефіцієнта схилової трансформації весняного водопілля K_0 представлено у вигляді відповідної карти. Методичною основою для картування K_0 є наявність залежності цього параметру від широтного положення водозборів. Як видно рис.4.2, залежність описується рівнянням

$$K_0 = 1,10 - 0,0007\,\varphi\,; \qquad (4.3)$$

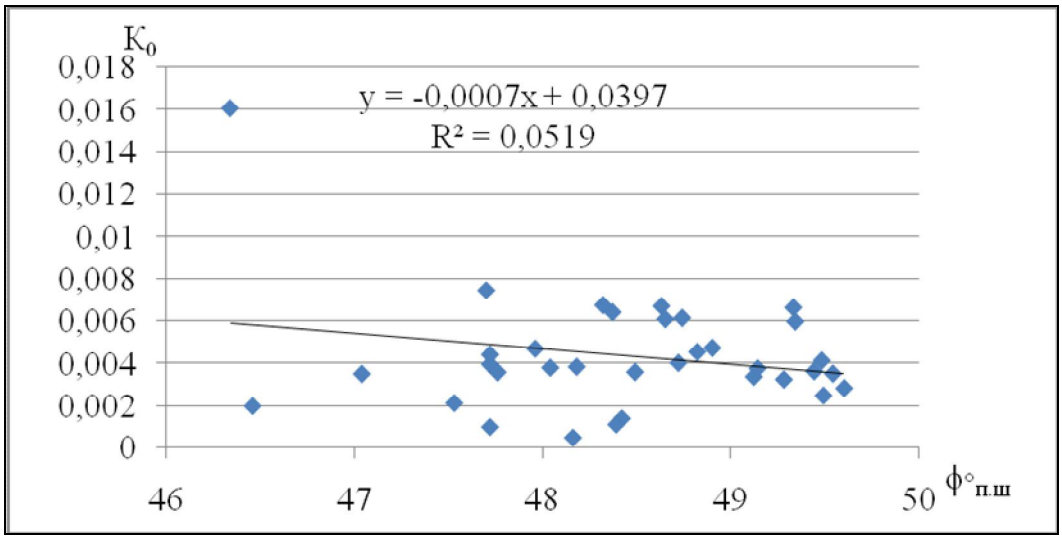

Рис.4.2 – Залежність коефіцієнту схилової трансформаца K_0 від географічного положення розборів($\varphi°_{п.ш.}$)

Коефіцієнт кореляції r = 0,23 і відноситься до значущих, що дає змогу K_0 картувати. При побудові карти (рис. 4.3) використані дані дод. Б.3. Вони охоплюють водозбори 34 пунктів спостережень за гідрологічним режимом річок. При картуванні значення K_0 відносились до геометричних центрів водозборів. Ізолінії проведені через 0,0020. В цілому вони зміщуються у напрямку північного – заходу і півночі на південь. Карта— схема ізоліній K_0 представлена на рис.4.3.

Відповідність карти (рис.4.3) вихідним даним характеризується задовільною збіжністю. Середнє відхилення становить 21,8% (дод. Б.4) , що в цілому відповідає вимогам СНіП 2,01,14-83 [18] ($\sigma_{Q_{1\%}}$ < 20%), і точності вихідної інформації по максимального стоку ($\sigma_{Q_{1\%}}$ = 19,6%).

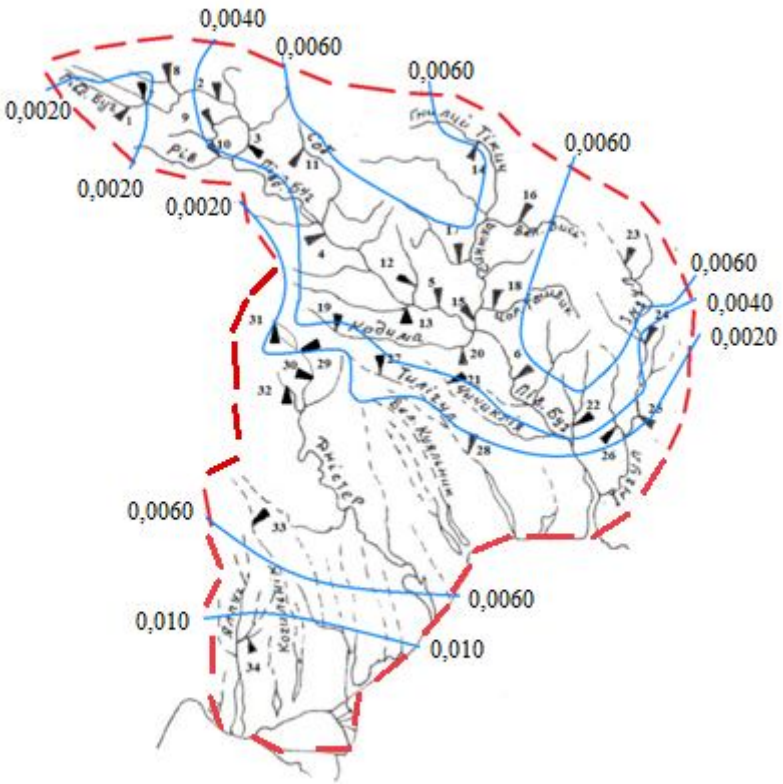

Рис. 4.3 - Карта-схема ізоліній K_0 на території північно - західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

Для розрахунку максимального стоку за формулою (2.84) пропонуємо використовувати карту — схему ізоліній K_0 та карту — схему ізоліній просторового розподілу максимальних шарів стоку $Y_{1\%}$ весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (рис.3.1 та 4.3). Середньоквадратична похибка розрахунків максимального стоку весняного водопілля для річок досліджуваної території складає ± 15,4%, що дозволяє рекомендувати пропоновану методику для визначення максимальних витрат весняного водопілля річок Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) . Результати розрахунку наведені у додатках Б5 та Б6.

5 Методика просторових довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини і р. Південний Буг

5.1 Теоретичні основи для довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля

5.1.1 Аналіз існуючих методів довгострокових прогнозів

Основним методом прогнозу стоку за водопілля на сьогодні є використання рівняння водного балансу для водозборів. У практиці вирішення рівняння балансу відносно стоку відбувається за графічним методом, шляхом побудови воднобалансових залежностей шарів стоку від сумарних запасів води у сніговому покриві і весняних опадів періоду водопілля, а також показників вологості ґрунтів та їх промерзання [19-21] чи визначенні втрат талої води через коефіцієнт стоку. Такі залежності для довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля розроблені в основному по річках з тривалими періодами спостережень і, головним чином, для великих водозборів.

Однак, досить часто потрібна оцінка характеристик весняного стоку в цілому для великих регіонів, у тому числі й для річок, не досить вивчених у гідрологічному відношенні. Така задача потребує розробки територіальних прогностичних методик, які дозволяли б розраховувати величини шарів стоку водопілля для будь-якого окремо взятого басейну. Територіальний варіант воднобалансових залежностей, узагальнених для декількох річок з однорідними умовами формування водопіль, вперше був запропонований В.Д.Комаровим.

На теперішній час в практиці оперативного прогнозування шарів стоку весняного водопілля в Україні використовується модель М.М. Сосєдка «Шар», яка дозволяє прогнозні шари стоку представляти у картографічному вигляді.

Відомі методи прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля засновані на встановлені для окремих гідрометричних створів емпіричних зв’язків між максимальними витратами та шарами стоку у вигляді $Q_m = f(Y_m)$. Однак, узагальнення таких залежностей для декількох річок і тим паче, представлення прогнозних величин максимальних витрат води у вигляді карт їх розподілу по території не можливе у зв’язку з залежністю максимальних витрат води, а також їх модулів від площ возборів, пов'язаних з трансформацією паводкових хвиль.

Часто в катастрофічно високі водопілля, потрібна оцінка характеристик весняного стоку в цілому для великих регіонів, у тому числі й для річок недостатньо вивчених у гідрологічному відношенні.

Така задача може бути вирішена на основі розробки територіальних прогностичних методик, які дозволяли б розраховувати розмір максимальної весняної витрати води або шару стоку водопілля для будь-якого, навіть невеликого водозбору.

У зв'язку з тим, що на відміну від шарів стоку, не тільки витрата води, але й модуль стоку залежать від площ водозборів задача побудови територіальних прогнозів максимальних витрат води водопіль вирішується значно складніше. Обумовленість модулів стоку розмірами водозбірних площ пов’язана з трансформацією паводкових хвиль під впливом часу руслового добігання й ефектів русло-заплавного регулювання.

Тому навіть при наявності територіальних методик прогнозу шарів стоку при переході до максимальних витрат води весняного водопілля завжди використовують індивідуальні залежності $Q_m = f(Y_m)$ для окремих річкових басейнів.

Прикладом побудови ***територіальної методики*** для довгострокового прогнозу максимального весняного стоку є розробка О.С.Змійової. В її основу покладена модель одномодального гідрографу, яку подано у вигляді відомої в гідрологичних розрахунках редукційної формули

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{F^{n_1}}, \tag{5.1}$$

де q_m - максимальний модуль стоку, м^3/(с·км^2);

k_0 - параметр, що залежить від ландшафту водозборів (в редакції Є.С.Змійової);

n_1 - показник редукції модуля стоку по площі F.

Варіант формули (5.1) близький до широко відомої структури, яка використовується для нормування характеристик максимального стоку весняної повені [22-24]. Остання має вигляд:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}} \delta_1 \delta_2 \delta, \tag{5.2}$$

де δ - коефіцієнт впливу озер;

δ_1 і δ_2 - відповідно, коефіцієнти, які ураховують зниження q_m під впливом залісеності і заболоченості водозборів.

Незважаючи на те, що формули (5.1) і (5.2) практично збігаються за зовнішнім виглядом, між ними є й істотні розбі.жності. Так, при $F \to 0$ має місце невизначеність вигляду 1/0. У той же час, у рівнянні (5.2) при $F \to 0$ ми маємо

$$q_m = k_0 \cdot Y_m = q'_m \ , \tag{5.3}$$

тобто максимальний модуль досягає свого верхнього граничного значення, яке збігається з максимальним модулем схилового припливу q'_m .

У розробці Є.С.Змійової прийняття в якості базового для побудови методики прогнозу весняного максимуму рівняння (5.1) на результатах не

позначиться, тому що прогнозна схема охоплює діапазон зміни площ водозборів понад 500 км^2.

Реалізація прогнозної моделі полягає в одержанні середніх для річок однорідного району параметрів розрахункової формули (5.1) і побудови просторової залежності між весняним максимумом води і шаром стоку за водопілля, де в якості третьої змінної виступає площа водозбору. Прогноз максимуму весняного припливу здійснюється на основі розрахунку шару стоку за водопілля, як середнього значення для річок однорідного району, відповідно до ландшафтно-гідрологічного районування території.

Дещо інший підхід до побудови територіальної методики прогнозу максимальних витрат води весняної повені запропонований у «Посібнику з гідрологічних прогнозів» [22-24]. Тут максимальні витрати води (Q_{mi}) представляються у вигляді модульних коефіцієнтів

$$k_i = Q_{mi} / Q_0 , \qquad (5.4)$$

де Q_0 - норма максимальної витрати води водопілля в i-му створі річки, м^3/с.

Це дає можливість, з одного боку, уникнути редукції модуля стоку з ростом площі, з іншого - здійснити регіональне узагальнення даних по максимальних витратах весняного водопілля. При цьому модульні коефіцієнти k_i осереднюються по території ($\bar{k}$) і зв'язуються із сумарним значенням запасів води в сніговому покриві й опадів за час сніготанення (S_m + X_1) і показником попереднього зволоження грунту на басейні (U), тобто

$$\bar{k} = f[(S_m + X_1), U] . \qquad (5.5)$$

Прогноз максимальної витрати води водопілля по запропонованій методиці проводиться у відповідності зі схемою: по значенню (S_m + X_1) і U і залежності (5.5) визначаються очікувані середні значення $\bar{k}$. По

середньобагаторічних значеннях максимальних витрат води Q_0 для кожної річки встановлюються величини витрат за рівнянням $Q_m = \bar{k} Q_0$.

Використання такого методу для територіального прогнозу Q_m можливе лише для басейнів, по яких є ряди спостережень, що дозволяють надійно обчисляти норму Q_0. Таким чином, метод не забезпечує розрахунків максимуму по річках, на яких спостереження не ведуться.

В основу даної роботи покладена методологія, яка базується на моделі руслових ізохрон і дозволяє побудувати прогнозну схему з урахуванням процесів, що відбуваються на схилах річкових басейнів і в русловій мережі.

5.1.2 Методична база методу територіального довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля

В якості методичної бази для довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на річках рівнинної території України прийняті залежності модульних коефіцієнтів шарів стоку від сумарних запасів води в сніговому покриві та весняних опадів, виражених відносно їх середнього багаторічного значення для річок, по яких є багаторічні ряди гідрометеорологічних спостережень у вигляді [22-24]

$$Y_m / Y_0 = f[(S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})] \qquad (5.6)$$

чи, що те ж саме,

$$k_Y = f(k_X), \qquad (5.7)$$

де Y_m и Y_0 - шар весняного стоку і його норма, мм;

S_m и S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві і його норма, мм;

X_1 и X_{1_0} - опади періоду танення снігу і їх норма, мм;

X_2 и X_{2_0} - опади періоду спаду весняного водопілля і їх норма, мм;

k_Y - модульний коефіцієнт шару стоку весняного водопілля;

k_X - модульний коефіцієнт сумарного надходження води на водозбір у період весняного водопілля, причому

$$k_X = (S_m + X_1 + X_2)/(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0}) \qquad (5.8)$$

На графіках залежності (5.6) розкид точок обумовлений багатофакторністю процесу формування весняного стоку. В основу побудови залежностей для прогнозу шарів весняного стоку покладено типізацію водопіль за їх водністю (багато -, середнє - чи маловодне) за допомогою багатомірної статистичної моделі – дискримінантної функції, яка враховує комплекс факторів, що впливають на формування весняного водопілля.

Дискримінантний аналіз належить до класу багатомірних моделей, в основу яких покладена методика множинної лінійної регресії. Ця прогностична модель застосовується в тих випадках, коли передвіщається одна з можливих ситуацій настання деякого явища за умови, що кожний випадок (об'єкт) характеризується вектором змінних ознак (вектором - предиктором).

Лінійна дискримінантна функція (*DF*) виступає як вимірювач приналежності випадку (об'єкту) до тієї або іншої апріорної групи явищ. Функція *DF* записується у вигляді

$$DF = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + ... + a_mx_m, \qquad (5.9)$$

де $A = (a_0, a_1, a_2, ... , a_m)$ - вектор коефіцієнтів дискримінантної функції;

$X = (x_1, x_2, ... ,x_m)$ - вектор ознак (вектор - предиктор);

m - кількість вимірюваних ознак (j = 1, 2, ... , m).

Успіх дискримінації залежить від того, наскільки вдало заданий вектор-предиктор. Вирішення цієї задачі потребує поглибленого аналізу досліджуваного процесу з метою здійснити вибір найбільш інформативних чинників (предикторів), які могли б обгрунтувати особливості розвитку природного процесу стоку в різноманітних ситуаціях. Оцінити вірність вибору вектора-предиктора можливо тільки, здійснивши конкретну дискримінацію.

Для застосування моделі дискримінантного аналізу попередньо необхідно розбити вихідну вибірку на класи (групи) за тією або іншою ознакою. Стосовно до поставленої задачі, приналежність предиктанта (модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку) до даного класу здійснювалася за положенням точок на графіках зв'язку $k_Y = f(k_X)$.

У вектор-предиктор дискримінантної функції можуть бути включені такі чинники водопілля, як сумарні запаси вологи на водозборі, що беруть участь у формуванні весняного водопілля, індекси зволоження грунтів і глибини їх промерзання та інші, виражені в модульних коефіцієнтах.

В такому випадку рівняння для розрахунку дискримінантної функції (5.9) буде мати, наприклад, такий вигляді

$$DF = a_0 + a_1 \frac{X}{X_0} + a_2 \frac{q_{09-01}}{(q_{09-01})_0} + a_3 \frac{L}{L_0} \quad , \qquad (5.10)$$

де $q_{09\text{-}01}$ і $(q_{09\text{-}01})_0$ – індекс зволоження ґрунтів - середній модуль стоку осінньо-зимового періоду і його норма, л/(с·км^2);

L і L_0 – глибина промерзання ґрунтів та її норма, см.

За знаком дискримінантних рівнянь (більше або менше нуля) водопілля на річках можна диференціювати по типах водності. Так, коли дискримінантна функція $DF1>0$, то слід очікувати формування шару стоку вище за норму (ситуація 1). Якщо ж $DF1 \leq 0$, а $DF2 \geq 0$, то водопілля буде

розвиватися за ситуацією 2, тобто об’єм весняних вод очікується близьким до норми. У випадку, коли *DF1*<0 і *DF2*<0, водопілля буде нижчим за норму (ситуація 3).

Побудовані прогностичні зв'язки вигляду (5.7) можна описати рівняннями поліному 3-ї степені у вигляді

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3, \qquad (5.11)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному.

Для районів з близькими умовами формування весняного водопілля дискримінантні рівняння зазвичай стійкі, а криві можуть бути узагальнені по річках таких районів.

На дати випуску прогнозу шарів стоку води весняного водопілля, встановлених Гідрометцентром України, невідомі фактори - максимальні запаси води у сніговому покриві і опади під час весняного водопілля розраховуються за такою схемою:

$$\left(S_m + X_1^* + X_2^*\right)_{ДСП} = \left[S_{ДСП}\left(1 - fл\right) + k_л S_{ДСП} fл\right] + \Delta\overline{S} + X_1^* + X_2^*, \qquad (5.12)$$

де $S_{ДСП}$ - максимальні запаси води в сніговому покриві (за вимірами у полі), які накопичилися на дату складання прогнозу, мм;

- $fл$ залісеність водозборів, у частках від загальної площі водозбору;

- $k_л$ коефіцієнт снігонакопичення у лісі, прийнятий на рівні 1.13;

- $\Delta\overline{S}$ нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві, мм.;

- X_1^* рідкі опади періоду сніготанення, тобто періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля, мм.;

- X_2^* рідкі опади періоду спаду весняного водопілля (періоду завчасності прогнозу шарів стоку весняного водопілля), мм;

Оскільки довгострокові прогнози кількості як твердих, так і рідких опадів не складаються, то їх необхідно враховувати, орієнтуючись на прогноз погоди. Це стосується і величин нормальної добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta\overline{S}$ та кількості опадів X_1^*. Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві встановлюються за рівнянням

$$\Delta\overline{S} = b + a(\varphi° - 50), \tag{5.13}$$

де $\varphi°$ - широта метеостанцій, в частках ° півн.ш.

Коефіцієнти a і b у формулі визначаються для календарних дат випуску прогнозів шляхом побудови узагальнених залежностей.

Умови введення добавки $\Delta\overline{S}$ і значення коефіцієнтів в рівнянні (5.13), узагальнених для всієї рівнинної території України наведені у таблиці 5.1 .

Таблиця 5.1 - Нормальні добавки до максимальних запасів води в сніговому покриві $\Delta\overline{S}$, мм

Умови введення добавки ($\Delta\overline{S}$) в залежності від очікуваної температури повітря в березні	Значення коефіцієнтів рівняння (5.8)	
	a	b
Вище норми	2.14-0.074 $Д$	7.47-0.25 $Д$
Біля норми	3.38-0.109 $Д$	20.4-0.61 $Д$
Нижче норми	3.27-0.086 $Д$	26.8-0.55 $Д$

У зв’язку з відсутністю інформації про величини опадів (X_1^* та X_2^*) на період завчасності прогнозу, їх величини можуть бути оцінені:

1) за нормою X_{1_0} або X_{2_0};

2) з урахуванням метеорологічного прогнозу, як опади очікуються: вище норми, на рівні норми або нижче норми, шляхом введення відповідного коефіцієнту до норм опадів

$$X_1^* = k_1 X_{1_0}, \tag{5.14}$$

$$X_2^* = k_2 X_{2_0}. \tag{5.15}$$

Умови введення коефіцієнтів k_1, k_2 до норм опадів X_{1_0} і X_{2_0}, їх значення відповідно метеорологічного прогнозу представлені у табл. 5.1 та табл.5.2 для рівнинної території України.

Таблиця 5.2 - Коефіцієнти до норм опадів X_{1_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу опадів

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{1_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (5.14)
Опади вище норми: ($X_1 > X_{1_0}$)	$k_1 = 1.83-0.055\ (\varphi° - 50)$
Опади біля норми: ($X_1 = X_{1_0}$)	$k_1 = 0.84+0.009\ (\varphi° - 50)$
Опади нижче норми: ($X_1 < X_{1_0}$)	$k_1 = 0.29+0.029\ (\varphi° - 50)$

Таблиця 5.3 - Коефіцієнти до норм опадів X_{2_0} з урахуванням метеорологічного прогнозу опадів

Умови введення коефіцієнтів до норм опадів X_{2_0}	Коефіцієнти до норм опадів у формулі (5.15)
Опади вище норми: ($X_2 > X_{2_0}$)	$k_2 = 1.75-0.027\ (\varphi° - 50)$
Опади біля норми: ($X_2 = X_{2_0}$)	$k_2 = 0.86+0.022\ (\varphi° - 50)$
Опади нижче норми: ($X_2 < X_{2_0}$)	$k_2 = 0.36+0.031\ (\varphi° - 50)$

де $\varphi°$ - широта геометричних центрів тяжіння водозборів, в частках град. півн.ш.

При наявності регіональних залежностей вигляду $k_Y = f(k_X)$, а також даних снігомірних зйомок, середньобагаторічних (або з урахуванням метеорологічного прогнозу) значень дощових опадів під час весняного водопілля X_{1_0} і X_{2_0}, знаходиться Y_m/Y_o, числовими значеннями яких є модульні коефіцієнти

$$k_Y = \frac{Y_m}{Y_o}. \qquad (5.16)$$

Перехід від k_Y до очікуваних значень шарів стоку весняної повені Y_m такий:

$$Y_m = k_Y \cdot Y_o, \qquad (5.17)$$

де Y_0 - норма шару весняного стоку, яка розраховується для кожної конкретної річки за часовим рядом спостережень Y_i по ній за n років

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}. \qquad (5.18)$$

При відсутності часових рядів на річці норма шарів весняного стоку визначається за картою розподілу Y_0 по досліджуваній території.

Середній багаторічний шар стоку за період весняного водопілля (Y_0) є однією з основних характеристик в методі просторових довгострокових прогнозів максимального стоку води весняного водопілля при встановленні

норм шарів стоку та максимальних модулів весняного водопілля для невивчених у гідрологічному відношенні річок.

На рис. 5.1 показана карта ізоліній норм шарів стоку $Y_0 / k_л k_б$, при виключенні впливу на шари стоку залісеності і заболоченості. Змінюються вони у широтному напрямку, зменшуючись з півночі на південь від 140-100 мм (верхня течія р. Десна, у межах Росії), 70-80 мм (північ України), 50-60 мм (центральна частина території) до 30-10 мм (басейни півдня рівнинної України). На території північно – західної частини Причорноморської низовини значення норм шарів стоку $Y_0 / k_л k_б$ змінюються від 10-30 мм.

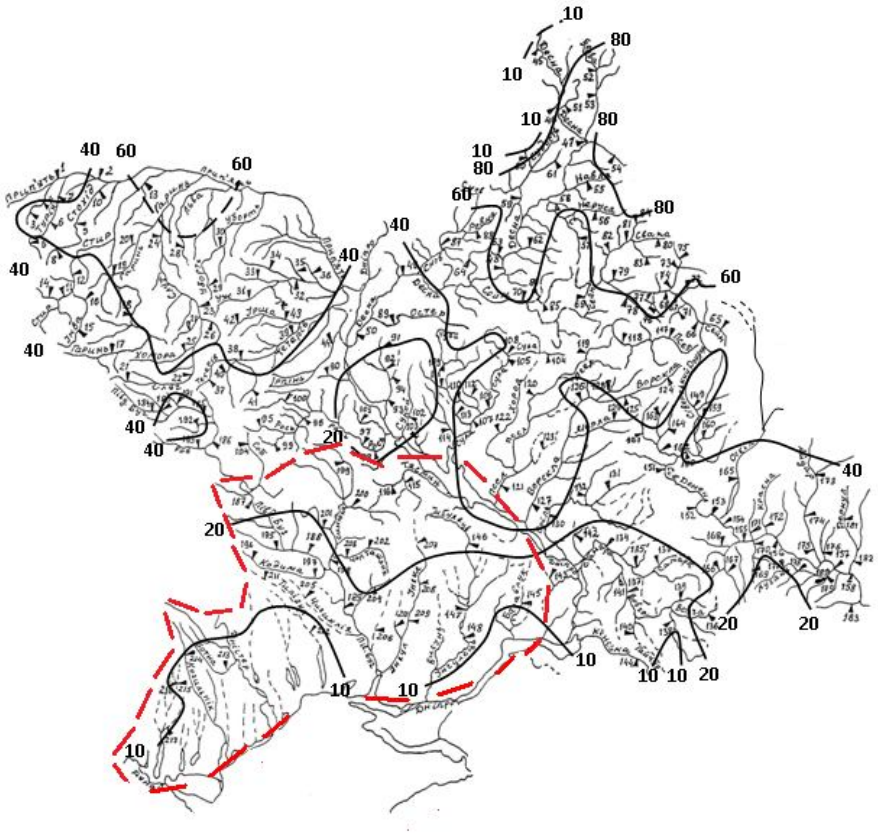

Рис. 5.1 - Розподіл по території середньобагаторічних величин шарів стоку весняного водопілля (при $f_л$ =0, $f_б$ =0) в басейнах річок рівнинної території України, мм.

Отримати значення Y_m, використовуючи карту, можна за рівнянням

$$Y_0 = (Y_0)_{карт} \cdot k_л k_б, \tag{5.19}$$

де $(Y_0)_{карт}$ - значення норм шарів весняного стоку, які зняті з карти для геометричних центрів тяжіння водозборів.

Значення коефіцієнтів впливу залісеності ($f_ё$, %) і заболоченості

($f_á$,%) на середні багаторічні величини шарів стоку визначаються за рівняннями

$$k_л = 1 - \lambda_л \, lg(f_л + 1), \tag{5.20}$$

$$k_б = 1 - \lambda_б \, lg(f_б + 1), \tag{5.21}$$

де $\lambda_л$ та $\lambda_б$ - коефіцієнти, які дорівнюють 0.082 і 0.24, відповідно.

5.1.3 Методичні основи методу територіального довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля

Для *довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля* на рівнинних річках прийняті, як і для шару стоку, залежності модульних коефіцієнтів максимальних витрат води від сумарних запасів води в сніговому покриві та весняних опадів періоду сніготанення, нормованих по їх середньобагаторічних значеннях у вигляді [22-24]

$$q_m / q_0 = f[(S_m + X_1)/(S_0 + X_{1_0})] \tag{5.22}$$

або залежність

$$k_q = f(k_X), \tag{5.23}$$

де q_m і q_0 - максимальний модуль весняного водопілля і його норма, м^3/(с·км^2);

S_m і S_0 - максимальний запас води в сніговому покриві перед початком весняного сніготанення та його норма,мм;

X_1 і X_{1_0} - рідкі опади періоду весняного сніготанення та їх норма, мм;

k_q - максимальний модульний коефіцієнт весняного водопілля;

k_X - модульний коефіцієнт запасів вологи на басейні, які приймають участь у формуванні максимальної витрати води весняного водопілля

$$k_X = (S_m + X_1)/(S_0 + X_{1_0}). \qquad (5.24)$$

При побудові залежностей для прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля у вигляді $q_m/q_0 = f[(S_m + X_1)/(S_0 + X_{1_0})]$ діагноз або розподіл весен за характером їх водності також може бути здійснений при використанні моделі дискримінантного аналізу, яка дозволяє віднести водопілля до високого, середнього чи низького за водністю за знаком дискримінантних рівнянь вигляду:

$$DF = a_0 + a_1(S_m + X_1)/(S_0 + X_{1\,o}) + a_2[Qпв/Qпв_0] + a_3 L/L_0 + a_4\,\Theta^0_{02}\,, \qquad (5.25)$$

де $(S_m + X_1)$ та $(S_0 + X_{1_0})$ – сумарні запаси вологи, які формують максимальну витрату води весняного водопілля та їх норма, мм;

індекси зволоження ґрунтів:

$Qпв$ і $Qпв_0$ – середня місячна (декадна) витрата води перед початком весняного водопілля та її норма (м^3/с) або $q_{09\text{-}01}$ і $(q_{09\text{-}01})_0$ – середній модуль стоку осінньо-зимового періоду і його норма, м^3/(с·км^2);

L і L_0 – глибина промерзання ґрунтів та її норма, см;

$\Theta^{o}{}_{02}$ - середня місячна температура повітря у лютому, ^{0}C;

Встановлено, що для річкових систем, які знаходяться в близьких умовах формування весняних водопіль дискримінантні рівняння сталі і можуть використовуватися для усіх річок однорідного за умовами формування весняного стоку району.

Побудовані за знаком дискримінантних функцій прогнозні залежності $\frac{q_m}{q_0} = f\left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}}\right)$ описуються поліномом, наприклад, 3-го степеня

$$\frac{q_m}{q_0} = b_0 + b_1 \frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}} + b_2 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}}\right)^2 + b_3 \left(\frac{S_m + X_1}{S_0 + X_{1_0}}\right)^3, \qquad (5.26)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3 – коефіцієнти поліному.

Перехід від k_q до очікуваних значень максимальних модулів весняного водопілля q_m, м^3/(с·км^2), такий:

$$q_m = k_q \cdot q_o \qquad (5.27)$$

або до прогнозних максимальних витрат води (м^3/с) –

$$Q_m = k_q \cdot q_o \cdot F, \qquad (5.28)$$

де F – площа водозбору, км^2;

q_o - норма максимального модуля весняного водопілля, м^3/(с·км^2).

Територіальний прогноз тут пов'язаний з можливістю розрахунку середнього багаторічного максимального модуля весняного стоку q_0, який при наявності гідрологічних спостережень отримується як

$$q_o = \frac{\sum_{i=1}^{n} q_{m_i}}{n}, \qquad (5.29)$$

де q_{m_i} - максимальні модулі водопілля і-х років за період спостережень, м^3/(с·км^2).

Для річок з короткими рядами спостережень або для тих, на яких спостереження взагалі не ведуться, даний метод територіального прогнозу максимуму водопілля дозволяє розраховувати величину q_0 в рамках моделі типового одномодального гідрографу у вигляді [12]

$$q_o = q'_o \psi(t_p / T_o) \varepsilon_F \cdot r, \qquad (5.30)$$

де q_o – середній багаторічний модуль максимального стоку, м^3/(с·км^2);

q'_o – середній багаторічний модуль максимальної витрати води схилового припливу,м^3/(с·км^2);

$\psi(t_p / T_o)$ - трансформаційна функція розпластування повеневих хвиль під впливом руслового добігання;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

r – коефіцієнт трансформації водопіль під впливом озер і водосховищ руслового типу.

В рамках типових гідрографів

$$q'_o = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y_o, \qquad (5.31)$$

де $(n+1)\backslash n$ - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі;

T_o – тривалість схилового припливу, год;

Y_o – середній багаторічний шар стоку, мм.

Для розрахунку трансформаційної функції Є.Д. Гопченком [12] обгрунтовані рівняння:

а) при $0<t_p<T_o$

$$\psi(t_p/T_o)=1-\frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)}\left(\frac{t_p}{T_o}\right)^n; \qquad (5.32)$$

б) при $t_p \geq T_o$

$$\psi(t_p/T_o)=\frac{n}{n+1}\frac{T_o}{t_p}\left[\frac{m+1}{m}-\frac{n+1}{m(m+n+1)}\left(\frac{T_o}{t_p}\right)^m\right]; \qquad (5.33)$$

в) при $t_p/T_o=0$

$$\psi(t_p/T_o)=1.0, \qquad (5.34)$$

де t_p – тривалість руслового добігання, год;

m – показник степені у рівнянні кривої ізохрон, m=1.0;

n =0.2.

Розрахунок тривалості руслового добігання t_p здійснюється за формулою:

$$t_p=L/V_\partial, \qquad (5.35)$$

де L – гідрографічна довжина водотоку (відстань від найдальшої точки водозбору), км;

V_∂ – швидкість добігання, км/год.

Для визначення швидкості добігання використовується формула

$$V_{\partial} = a_2 \cdot F^{\alpha_2} \cdot I^{0.33}, \qquad (5.36)$$

де a_2 – швидкісний параметр, приймається за табл.5.3;

α_2 - параметр, який також визначається за табл.5.3;

I – середньозважений ухил річки, $^{o}/_{oo}$.

Таблиця 5.3 – Значення параметрів a_2 і α_2

Географічна зона	a_2	α_2
Полісся	1.27	0.12
Лісостепова	1.51	0.17
Степова	1.19	0.14

Якщо дані про середньозважені ухили річок відсутні, то їх можна визначити в залежності від площ водозборів

$$I = f(F). \qquad (5.37)$$

За відсутності даних про гідрографічну довжину водотоку також пропонується її визначення по залежностях вигляду

$$L = f(F). \qquad (5.38)$$

Для урахування впливу на максимальний стік весняного водопілля озер і водосховищ (5.30), рекомендується використовувати формулу СНіП 2.01.14-83 [18]

$$r = 1/(1 + Cf'_{оз}), \qquad (5.39)$$

де $f'_{оз}$ – середньозважена озерність;

C – емпіричний коефіцієнт, який визначається величиною Y_0 за табл.5.4.

Таблиця 5.4 – Значення коефіцієнта C

Y_0, мм	>100	99-50	49-20	<20
C	0.2	0.25	0.35	0.40

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F можна визначити з (5.30)

$$\varepsilon_F = \left(q_o / q'_o\right) / \left[\psi(t_p / T_o)\right] \cdot r, \tag{5.40}$$

а потім узагальнити в залежності від розмірів водозборів, наприклад, для рівнинних річок України у вигляді

$$\varepsilon_F = e^{-0.18 \cdot \lg(F+1)}. \tag{5.41}$$

Обґрунтування параметрів базової розрахункової величини q'_o в (5.30) може бути виконане через визначення коефіцієнтів нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$, тривалості схилового припливу T_o і шару стоку Y_0, які відповідають середнім багаторічним значенням.

Значення $(n+1)/n$ для басейнів рівнинних річок України можна прийняти на рівні 8.0. Норма шару весняного стоку Y_0 може бути визначена за картою її розподілу по території з введенням до знятих з карти значень норм шарів стоку поправочних коефіцієнтів на залісеність $k_л$ та заболоченість $k_б$ басейнів.

Аналогічним способом виконується в методиці обчислення тривалості схилового припливу тало-дощових вод на водозборах. З цією метою

території рівнинної України може бути використана карта тривалості схилового припливу, яка побудована після виключення впливу на T_0 місцевих факторів - залісеності і заболоченості. Спостерігається збільшення значень T_0 при зростанні частки лісу і боліт на водозборі.

Для розглядуваної території карта $T_0 / k'_л k'_б$ представлена на рис.5.2. Як видно, значення T_0 змінюються з півночі на південь від 200-300 годин (басейни Прип'яті, Десни і Сейму) до 400-500 годин (у центральній частині території) та далі на південь знов зменшуються до 200-300 годин. Найбільші значення T_0 відносяться до зони поширення карсту – басейнів рр. Стир та Горинь, р. Сули. На території північно-західної частини Причорноморської низовини значення T_0 змінюються від 200-300 годин.

Рис. 5.2 – Розподіл по території тривалості схилового припливу тало-дощової води (при $f_л$ =0, $f_б$ =0) в басейнах річок рівнинної України

Отримати значення T_0, використовуючи карту можна за рівнянням

$$T_0 = (T_0)_{карт} \cdot k'_л k'_б, \tag{5.42}$$

де $(T_0)_{карт}$ - значення тривалості схилового припливу води, які зняті з карти (див. рис.5.2) для геометричних центрів тяжіння водозборів.

Значення коефіцієнтів впливу залісеності ($f_ё$, %) і заболоченості ($f_á$, %) на величину тривалості схилового припливу визначаються за рівняннями

$$k'_л = 1 + \lambda_л \, lg(f_л + 1), \tag{5.43}$$

$$k'_б = 1 + \lambda_б \, lg(f_б + 1), \tag{5.44}$$

де $\lambda_л$ та $\lambda_б$ - коефіцієнти, які дорівнюють 0.34 і 1.23, відповідно.

5.1.4 Методика визначення забезпеченості прогнозних величин шарів стоку та максимальних витрат води

В гідрологічній практиці прогнози стоку представляються у вигляді очікуваних величин з наведенням ймовірнісної похибки [22-24], яка з ймовірністю 50 % визначає довірні межі інтервалу, в якому знаходиться дійсне значення прогнозної величини. Можливе й надання прогнозних величин стоку води різної ймовірності з відповідними довірними межами.

Запропонований метод територіального довгострокового прогнозу шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля передбачає використовувати його для річок не досить добре вивчених у гідрологічному відношенні, тобто для річок, на яких спостереження за стоком не відбуваються. Тому є актуальним питання встановлення ***забезпеченості*** або ***ймовірності перевищення прогнозних величин у багаторічному розрізі***.

При наявності багаторічних рядів стокових спостережень задача визначення ймовірності настання шарів стоку або максимальних витрат води

водопілля (P %) вирішується шляхом побудови емпіричних кривих забезпеченості модульних коефіцієнтів, наприклад для шарів стоку $k_Y = f(P\%)$. У прогнозному варіанті k_Y та k_q знаходяться по відповідних залежностях.

Для невивчених річок, встановлення забезпеченості прогнозних величин Y_m та Q_m може бути здійснено шляхом статистичної обробки стокових рядів спостережень.

При цьому величини коефіцієнтів варіації шарів стоку для частини території, яка забезпечена даними гідрометеорологічних вимірювань, можуть бути картовані або представлені залежністю коефіцієнтів варіації:

- шарів стоку $(Cv)_Y$ від середніх багаторічних значень шарів стоку Y_0 вигляді

$$(Cv)_Y = 1.46 - 1.21[lg(Y_0/10)] \qquad (5.45)$$

- максимальних витрат $(C_v)_Q$ від географічної широти водозборів

$$(C_v)_Q = 1.0 - 0.136(\varphi^o - 50) \qquad (5.46)$$

Відношення коефіцієнтів асиметрії та варіації (C_s/C_v) для шарів стоку та максимальних витрат води, осереднені по території рівнинної України на рівні 2.35. Це дозволило для оцінки забезпеченості прогнозних величин прийняти нормативне співвідношення $(C_S/C_V)_Y$=2.5, використовуючи криву трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф. Менкеля (для середнього по території значення C_s/C_v) [18].

Забезпеченість прогнозних величин Y_m встановлюється у вигляді інтервалу

$$P_1 < P_{Y(Q)} < P_2 \ , \qquad (5.47)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, які встановлюються за таблицями [18].

5.1.5 Картографічна форма представлення прогностичних величин шарів стоку і максимальних витрат води

В гідрологічній практиці для наявного представлення будь-якої величини у просторовому розподілі будують карти зміни цих величин по території. Це відноситься як до факторів, що формують весняне водопілля (максимальні запаси вологи в сніговому покриві, глибини промерзання ґрунтів та дати їх настання, температури повітря та ін.), так і до прогнозних величин шарів весняного стоку.

Оцінити розміри очікуваного водопілля у кожному році, особливо для невивчених річок, є можливим, якщо прогнозні значення шарів стоку та максимальних витрат представляти на підставі карт відносних величин модульних коефіцієнтів весняного стоку – k_Y та k_q. Оскільки модульний коефіцієнт нижньою межею має 0, то при k_Y (k_q)=1,0 його значення співпадає з середнього багаторічною величиною (нормою) значення. Якщо прогнозований модульний коефіцієнт k_Y (k_q)<1, то максимальні витрати (шари стоку) водопілля будуть нижчими за норму, якщо ж k_Y (k_q)>1, тобто водопілля очікується вище за норму, а якщо ж k_Y (k_q) знаходиться в межах одиниці, то водопілля буде близьким до норми.

Одночасно з картами прогнозних значень модульних коефіцієнтів весняного водопілля надається й карта ймовірності перевищення прогнозних величин у багаторічному розрізі ($P_{Y(Q)}$ %) у будь-якій частині території, незалежно від стану її гідрометеорологічної вивченості. Так, наприклад, при

$P_{Y(Q)}$ =20 % - водопілля буде спостерігатися один раз у 5 років, при $P_{Y(Q)}$ =1 % - один раз у 100 років і т.д.

Зазначені карти надаються споживачам – місцевим органам самоврядування, управлінням надзвичайних ситуацій та громадянського захисту населення та ін. і дозволяють оцінити розміри водопілля на значних територіях з підвищеною небезпекою при високих повенях, визначати їхню повторювальність у багаторічному розрізі. З іншого боку, карти надають можливості випускати прогнози шарів стоку та максимальних витрат води в конкретному пункті території, навіть для тих річок, по яких спостереження за стоком відсутні.

5.1.6 Обґрунтування методики прогнозів характеристик весняного водопілля при обмеженості гідрологічних спостережень на річках

Для розробки методики прогнозу максимальних витрат води водопіль на території, де не відбуваються стокові спостереження на річках [22-24] вибираються опорні водозбори таким чином, щоб вони рівномірно висвітлювали частину розглядуваної території.

Для кожного з них, як і для тих, що вивчені у гідрологічному відношенні, розраховуються фактори, осереднені для цих водозборів, які складають вектор-предиктор дискримінантної функції *DF*. Для прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля це стосується визначення основного фактору формування весняного водопілля –максимальних снігозапасів і опадів періоду сніготанення (у вигляді модульних коефіцієнтів) $k_X=(S_m+X_1)/(S_0+X_{1_0})$. Далі встановлюються інші фактори, що входять до вектор-предиктору дискримінантної функції *DF*.

Знак дискримінантної функції *DF* виду (5.10) та (5.25) дає змогу отримати розрахункову залежність, тобто дати альтернативний (якісний)

прогноз майбутніх шарів стоку та максимальних витрат води водопілля (вищих, близьких або нижчих за норму). Прогнозні значення модульних коефіцієнтів k_q отримуються за рівнянням поліному виду (5.11) та (5.26) з коефіцієнтами, згідно умов застосування, по знаку *DF*. Коефіцієнти прогнозної схеми, як і при прогнозі шарів весняного стоку, прийняті для району 11 б.

Ймовірність появи у багаторічному розрізі прогнозних максимальних витрат води весняного водопілля відбувається так: для обраних опорних водозборів встановлюються коефіцієнти варіації шарів стоку $(Cv)_Y$ та максимальних витрат води $(C_v)_Q$, що можуть бути отриманими за регіональним рівняннями (5.45) або (5.46).

Далі по отриманих за методикою значеннях очікуваних величин та k_Y k_q для цих водозборів, за таблицею трипараметричного гама-розподілу С.Н.Крицького і М.Ф. Менкеля [18] (для середнього по території значення $(C_s/C_v)_Q$=2.5), по $(Cv)_Y$ та $(C_v)_Q$ знаходиться забезпеченість *P*% очікуваних максимальних витрат води весняного водопілля для невивчених річок Причорноморської низовини.

Отримання самих значень шарів стоку та максимальних витрат води водопілля по спрогнозованих їх модульних коефіцієнтах для опорних створів або знятих для геометричних центрів водозборів модульних коефіцієнтів шарів стоку та максимальних модульних коефіцієнтів.

Випуск прогнозів шарів стоку здійснюється за рівняннням (5.17) та максимальних витрат води водопіль - (5.30).

Для отримання величин Y_0 та Q_0 (або q_0) для невивчених у гідрологічному відношенні річок запропонована розрахункова схема:

- для шарів стоку – по карто-схемі Y_0 (рис.5.1);
- для максимальних витрат води (модулів) з використанням моделі редукційних гідрографів водопіль (5.30) шляхом визначення

середньобагаторічних максимальних модулів схилового припливу та їх трансформації русловою мережею відповідно схемі - (5.31) та (5.42).

При цьому для отримання для невивчених у гідрологічному відношенні територій в цілому значення, що входять до розрахункової схеми величини Y_0 та q_0, використані регіональні рівняння залежності середньобагаторічних шарів весняного стоку від географічної широти геометричних центрів водозборів у вигляді

$$Y_0 = 33.0 \cdot exp[0.32(\varphi^o - 50)], \qquad (5.48)$$

де Y_0 - середньобагаторічний шар стоку весняного водопілля, мм;

φ^o - географічна широта центрів водозборів, в частках ^{o}півн.ш.

Визначення тривалості схилового припливу тало-дощової води на водозборах T_0 для невивчених у гідрологічному відношенні річок відбувається за регіональним рівнянням при його узагальненні по території у вигляді

$$T_0 = 24.2(\varphi^o - 50) + 507, \qquad (5.49)$$

де T_0 - тривалість схилового припливу тало-дощової води, год.

Вплив залісеності і заболоченості водозборів на середньобагаторічні величини шарів стоку весняного водопілля, а також на тривалість схилового припливу води у межах басейнів річок Причорномор’я практично не проявляється. Рекомендації по визначенню інших параметрів розрахункової схеми для невивчених у гідрологічному відношенні річок виконується відповідно рекомендаціям, наданим у п.5.1.1.

5.1.7 Загальні принципи оцінки методики довгострокового гідрологічного прогнозу

Згідно «Настанові по службі прогнозів» [25,26] оцінка прогнозу зводиться до визначення справджуваності даного прогнозу шляхом співставлення похибки прогнозу з допустимою похибкою.

Прогноз вважається *справджуваним*, якщо абсолютна величина його похибки менша або дорівнює допустимій
$\delta \le \delta_{доп}$.

Похибка прогнозу - це різниця між фактичним значенням величини Y_i та значенням, отриманим у прогнозі Y'_i

$$\delta = Y_з - Y'_з. \tag{5.50}$$

допустима похибка прогнозу $\delta_{доп}$ - це ймовірне відхилення прогнозної величини від середнього значення (норми) гідрологічної величини.

$$\delta_{доп} = \pm 0.674 \cdot \sigma \tag{5.51}$$

σ - середнє квадратичне відхилення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - \overline{Y}\right)^2}{n-1}}, \tag{5.52}$$

де Y_i – значення прогнозованої величини;

$\overline{Y}$ – середнє багаторічне значення прогнозної величини;

n – кількість членів ряду

Для невивчених в гідрологічному відношенні річок допустима похибка прогнозів встановлюється:

- для шарів стоку в залежності від географічної широти водозборів (φ^{o} півн. ш.)

$$\delta_{доп} = 1{,}95(\varphi^{\circ} - 50) + 18 \quad ; \tag{5.53}$$

- для максимальних витрат води весняного водопілля в залежності від площ водозборів (F, км^2);

$$\delta_{доп} = 0.0147F \, . \tag{5.54}$$

5.2 Схема довгострокового прогнозування шарів стоку весняного водопілля

5.2.1 Прогнозування шарів стоку весняного водопілля за гідрометеорологічними даними

Порядок прогнозування шарів стоку весняного водопілля на території при обмеженості даних гідрологічних спостережень в регіоні (як, наприклад, для річок північно-західної частини Причорноморської низовини), схожий зі схемою прогнозу як і для невивчених у гідрологічному відношенні річок територій, але відрізняється тим, що відбувається відновлення просторових полів гідрометеорологічних величин (факторів весняного водопілля) на основі картосхем та регіональних залежностей для їх визначення, а надалі – й самих прогнозних величин шарів стоку водопілля та їх забезпеченостей.

Схема прогнозу шарів стоку весняного водопілля ілюструється на прикладі водопілля 2017 – 2018 рр. в басейнах річок Причорноморської низовини та включає такі етапи:

а)аналіз гідрометеорологічних умов формування весняного водопілля 2017 -2018р.

За даними УкрГМЦ і ГМЦ ЧАМ відомо, що характер та параметри гідрологічного режиму водних об’єктів України поточної зими визначаються:

– попереднім тривалим періодом аномально теплої погоди першої половини зими, яка утримувалася до кінця першої декади січня;

– пізніми строками (до 1,5 місяця пізніше середніх) переходу температури повітря через 0°С у бік від’ємних значень (стійкий перехід відбувся 8 -10 січня одночасно по всій території країни);

– значною мінливістю атмосферних процесів (зимовий режим погоди перервався 28 січня-2 лютого короткою інтенсивною відлигою);

– достатньою кількістю опадів за листопад – грудень (яка була близькою та вищою за середні показники, більша частина їх випала у вигляді дощу), що разом із таненням снігового покриву в кінці грудня обумовило загальне підвищення водності більшості річок після періоду пониженої літньо-осінньої межені, яка на Південному Бузі негативно впливало на нормальну експлуатацію (режимах роботи) водогосподарських та енергетичних комплексів та на стан водного середовища. Формування на Південному Бузі третій рік підряд маловоддя негативно впливає на загальну екологічну ситуація в цілому басейні та сектори економіки, залежні від водного фактору.

Перша половина зими 2017-18 рр. була аномально-теплою. Середня за грудень температура повітря була позитивною (1-3°С тепла) і на 3-7°С вищою норму. 17-23 грудня спостерігалося короткочасне похолодання до 2-6°С морозу, встановися невисокий сніговий (переважно до 20 см), який, внаслідок наступного потепління, швидко розтанув.

Стійкий перехід температури повітря через 0°С в сторону від’ємних значень відбувся лише 8 січня (на 1,5 місяця пізніше середніх строків) одночасно по усій території країни. Зимовий режим погоди перервався 28 січня - 2 лютого короткою інтенсивною відлигою.

Такі погодні умови визначили нестабільне і нерівномірне снігонакопичення, неглибоке промерзання ґрунту, збільшення запасів вологи у ньому, порівняно з осіннім періодом, формування підвищеної водності річок, пізні строки льодоутворення, яке супроводжувалося заторно-зажорними явищами.

Середні по басейнах річок запаси води у сніговому покриві станом на 20 лютого дорівнювали (у мм і відсотках норми на цю дату): Південного Бугу до Вознесенська 15 (56). У басейні річки Інгул сніговий покрив відсутній.

Зимова межень більшості річок держави характеризується більш високою водністю, порівняно з осінньою (внаслідок достатньої кількості опадів). Середні за 20 днів лютого витрати води (у відсотках від місячної норми) на Південному Бузі та його притоках (30-80), Інгулі (40-90) менші за норму.

б) збір базової інформації по басейнах річок – морфометричні і середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики для басейнів річок Причорномор'я, які наведені в додатку В1.

Середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики або фактори весняного водопілля за відсутності багаторічних рядів їх спостережень підлягають відновленню. До них відносяться:

- шари стоку весняного водопілля Y_0 за відсутності часових гідрологічних даних на річках значних територій (як у межах Північно-Західного Причорномор'я) визначаються шляхом відновлення полів Y_0, мм, за карто-схемою їх розподілу або за регіональною залежністю від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ в частках град.) у вигляді

$$Y_0 = 33.0 \cdot exp[0.32(\varphi^o - 50)]. \qquad (5.55)$$

Вплив місцевих факторів (залісеності і заболоченості водозборів) на середньобагаторічні величини шарів стоку весняного водопілля у межах Причорноморської низовини слабко відчутний при їх значеннях в цілому не вище 10% загальної площі басейнів річок (додатку В1.);

- максимальні запаси води у сніговому покриві або картосхема розподілу по території величин S_0 , мм;

- весняні опади періоду танення снігу X_{1_0} і спаду весняного водопілля X_{2_0} , мм або регіональні рівняння для їх визначення:

$$X_{1_0} = 0.77 T_{X_1} + 7.0\,; \tag{5.56}$$

$$X_{2_0} = 1.09 T_{X_2} + 3.35, \tag{5.57}$$

де T_{X_1} – середня за багаторічний період тривалість періоду підсумовування опадів X_1 (діб), що узагальнена по басейнах в залежності від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ, в частках град.) у вигляді

$$T_{X_1} = 2.0\left(\varphi - 50^o\right) + 28\,, \tag{5.58}$$

T_{X_2} - середньобагаторічний період спаду водопіль, що може бути отримана за розмірами водозборів річок (F, км^2) за рівнянням

$$T_{X_2} = 10\lg\left(F + 1\right); \tag{5.59}$$

- максимальних значень глибин промерзання ґрунтів під озимими або картосхема розподілу по території L_0 (см) чи регіональна залежність L_0 від географічної широти пунктів виміру глибин промерзання ґрунтів (φ, в частках град.) у вигляді

$$L_{0_j} = 66 + 3.56(\varphi - 50^o); \qquad (5.60)$$

- регіональні залежності передповеневих витрат води $(Q_{п.в})_0$ від площ водозборів (F, км^2) – витрат води у січні $(Q_{01})_0$ або у лютому $(Q_{02})_0$, м^3/с

$$(Q_{п.в})_0 = (Q_{01})_0 = 0.0016F, \qquad (5.61)$$

$$(Q_{п.в})_0 = (Q_{02})_0 = 0.0023F; \qquad (5.62)$$

- середніх місячних температур повітря за лютий $(\Theta_{02})_0$ ^{0}С та березень $(\Theta_{03})_0$ ^{0}С за даними метеорологічних станцій (як середня величина по даних метеостанцій в межах водозбору) або по тих, що знаходяться близько до геометричних центрів водозборів;

- коефіцієнти варіації шарів стоку весняного водопілля на річках $(C_v)_Y$, що за відсутності спостережень на річках визначаються за рівнянням в залежності від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ в частках ^{0}півн.ш., приведених до умовної широти 50 ^{0}півн.ш.)

$$(C_v)_Y = 0.85 - 0.12(\varphi - 50^o) \qquad (5.63)$$

або від середньобагаторічних значень шарів стоку Y_0

$$(C_v)_Y = 1.62\left(\frac{Y_0}{5}\right)^{-0.38} \qquad (5.64)$$

- величина допустимої похибки прогнозу $\delta_{доп}$ при прогнозуванні шарів стоку водопілля отримується для річок за обмеженості або відсутності

рядів вимірів стоку за залежністю $\delta_{доп}$ від широти геометричних центрів водозборів річок (φ в частках град.) у вигляді

$$\delta_{доп} = 1.95(\varphi - 50^{o}) + 18\,; \qquad (5.65)$$

- таблиці трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф.Менкеля (при $C_s = 2.5C_v$);

в) збір та підготовка оперативної гідрометеорологічної інформації:

- дані снігомірних зйомок на метеостанціях, які розташовані у межах або поблизу басейнів річок, або у вигляді картосхем розподілу по території запасів води в сніговому покриві. Карта – схема розподілу максимальних запасів води в сніговому покриві на 5 березня у 2017-2018 р. на території північно - західної частини Причорноморської низовини представлено на рис 5.3. Картосхема показує, що величини модульних коефіцієнтів максимальних запасів води в сніговому покриві весняного водопілля 2017-2018 р. змінюються від 0,5 до 1,2.

- дані по глибинах промерзання ґрунтів на метеостанціях Причорноморської низовини або за картосхемою розподілу по території глибин промерзання у поточному році, але побудоване по поточних даних глибин промерзання ґрунтів. Карта – схема розподілу глибин промерзання ґрунтів у 2017-2018 р. на території північно - західної частини Причорноморської низовини представлено на рис 5.4. Картосхема показує, що величини модульних коефіцієнтів розподілу глибин промерзання ґрунтів весняного водопілля 2017-2018 р. змінюються від 0,1 до 0,6.

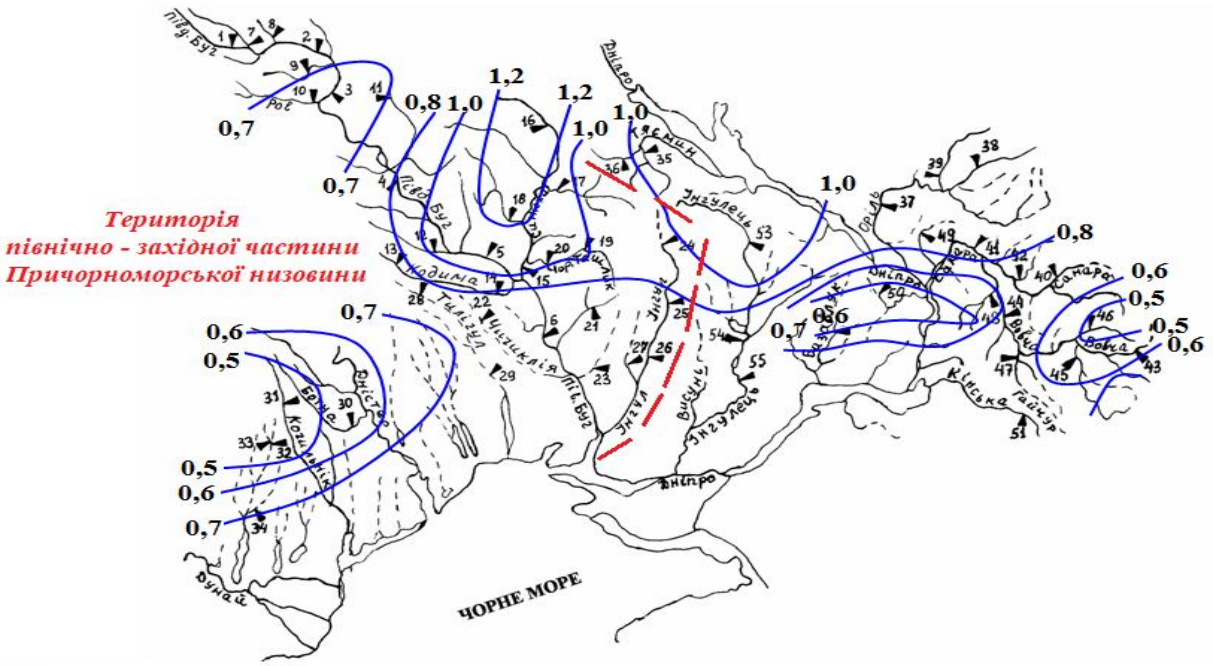

Рис. 5.3 — Карта – схема розподілу максимальних запасів води в сніговому покриві 5 березня 2017-2018 р. на території північно - західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

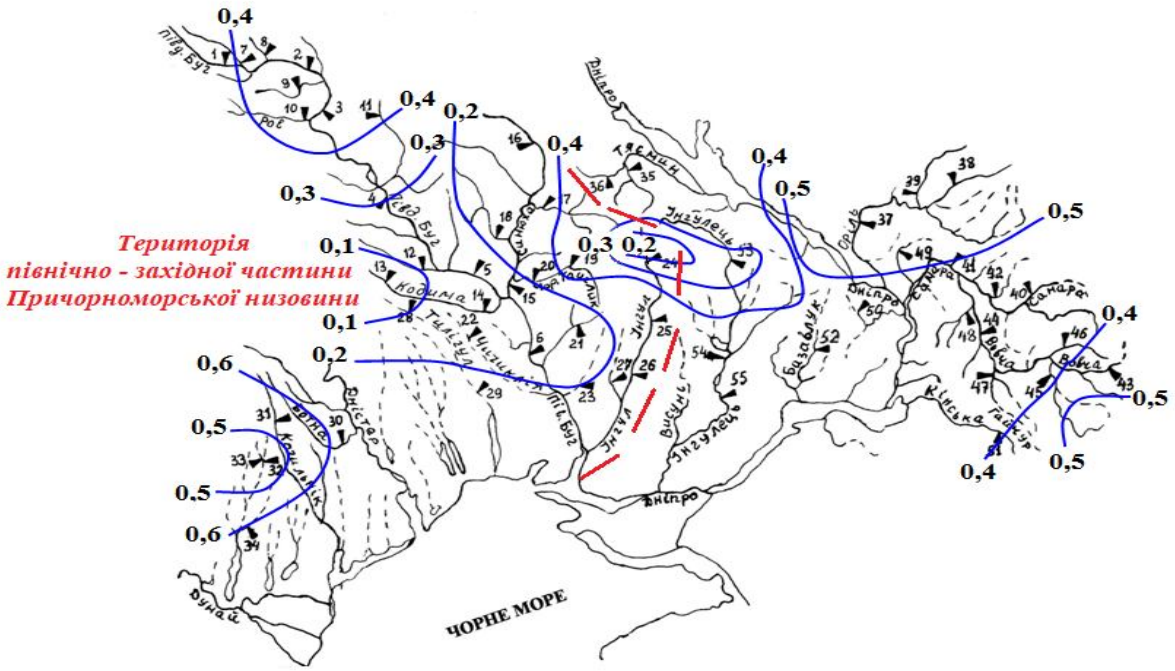

Рис. 5.4 — Карта – схема розподілу глибин промерзання ґрунтів на 28 лютого 2017-2018 р. на території північно - західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

- середньомісячні витрати води у січні (Q_{0I}) або лютому (Q_{02}), м^3/с на річках, що ведуть спостереження за стоком води і побудова регіональної залежності середньомісячних витрат води у січні (Q_{0I}) або лютому (Q_{02}), м^3/с від площ водозборів (F, км^2). Для 2017 -2018 рр. отримані такі індекси зволоженості ґрунтів у вигляді передповеневої витрати води $Q_{пв}$

$$Q_{пв} = Q_{01} = 0.0009\,F; \qquad (5.66)$$

- синоптичний прогноз опадів і температури повітря на поточні декади лютого-квітня.

Порядок складання, оцінка та представлення довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля за гідрометеорологічними факторами на невивчених у гідрологічному відношенні водозборах північно-західної частини Причорноморської низовини включає такі етапи:

1.Складання альтернативного (якісного) прогнозу водності очікуваного весняного водопілля виконується з урахуванням знаку лінійної дискримінантної функції *DF* за формулами вигляду:

- для правобережної частини території

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Qпв} + a_3 k_L + a_4\,\Theta^0_{02}\,; \qquad (5.67)$$

Коефіцієнти рівнянь, наведені (табл.5.5) відповідно району приналежності гідрологічного поста. За знаком дискримінантної функції встановлюється якісний (альтернативний) прогноз водності майбутнього водопілля

- дискримінантна функція $DF1>0$ – шари стоку очікуються більші за середньобагаторічні значення (ситуація 1);

- $DF1 \leq 0$, а $DF2 \geq 0$ – водопілля буде розвиватися за ситуацією 2, тобто шар стоку весняних вод очікується близьким до середньобагаторічних їх значень;

- $DF1 < 0$ і $DF2 < 0$ – шари стоку водопілля прогнозуються меншим за середньобагаторічні їх значення (ситуація 3);

Таблиця 5.5 Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини

Номер району (підрайону)	Басейни річок	*DF*	a_0	a_1	a_2	$\boldsymbol{a_3}$	$\boldsymbol{a_4}$
	$DF = a_0 + a_1 \frac{X}{X_0} + a_2 \frac{Q_{пв}}{(Q_{пв})_0} + a_3 \frac{L}{L_0} + a_4 \theta_{02}$						
11	Інгул, Інгулець, Кодима	*DF*1	-1.88	-14.4	5.73	6.46	-

2.Прогноз модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку k_Y здійснюється на дату його складання за регіональними рівняннями

$$k_Y = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3 , \qquad (5.68)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3,… – коефіцієнти полінома при прогнозуванні шарів стоку весяного водопілля на річках, які встановлюють за даними (табл.5.6) відповідно

району приналежності гідрологічного поста і знаку дискримінантного рівняння;

3.Здійснюється перехід від прогнозних значень модульних коефіцієнтів шарів стоку k_Y до значень шарів весняного стоку Y_m, мм за рівнянням

$$Y'_m = k_Y \cdot Y_0 \cdot K_{Y_{2010}}, \qquad (5.69)$$

де Y_0- середньобагаторічні величини шарів стоку весняного водопілля, мм;

$K_{Y_{2010}}$ - коефіцієнт, враховуючий зміну значень середньобагаторічних величин шарів стоку за період до 2010 р., що отримується за рівнянням (φ в частках град.)

$$K_{Y_{2010}} = 0.97 - 0.017(\varphi - 50^0); \qquad (5.70)$$

Таблиця 5.6 Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля на річках Причорноморської низовини

Номер району (підрайону)	Басейн річки	Умови застосування прогнозних кривих за знаком DF	b0	b1	b2	b3
11б	Базавлук, Чорний Ташлик, Інгулець,Інгул	$DF1>0$	$2.10\cdot10^{-2}$	0.521	-1.43	3.29
		$DF1\leq0$; $DF2\geq0$	$-3.5\cdot10^{-2}$	1.02	-2.40	1.79
		$DF1<0$; $DF2<0$	$-1.4\cdot10^{-2}$	0.25	-0.56	0.38

4.Встановлення забезпеченості прогнозованих величин шарів стоку весняного водопілля ведеться за таблицею трипараметричного гама-

розподілу С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля за очікуваним k_Y і значеннями коефіцієнтів варіації шарів весняного стоку $(C_v)_Y$ при $C_S = 2.5C_v$.

Забезпеченість прогнозних величин Y_m встановлюється в межах

$$P_1 < P_Y < P_2 \ , \qquad (6.71)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, %.

Результати прогнозів шарів стоку весняного водопілля, їх представлення та оцінка.

Результати прогнозів шарів стоку весняного водопілля 2017 -2018 рр. на дату випуску прогнозу дату S_m по 13 опорних водозборах, що мають стокові ряди спостережень.

5.Формою представлення прогнозних величин шарів стоку весняного водопілля у поточному році є:

- таблиці очікуваних величин (найбільш ймовірні їх значення, отримані за методикою прогнозу, та інтервал Y_m з урахуванням допустимої похибки прогнозу) та забезпеченості їх настання у багаторічному періоді (додаток В.2);

- картосхеми розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів k_Y та їх забезпеченості у багаторічному розрізі *P %*, що відносяться до геометричних центрів водозборів і проведення ізоліній комп'ютерними засобами на основі аналізу гідрометеорологічної ситуації на водозборах. Приклад таких картосхем для спрогнозованих по запропонованій методиці довгострокових прогнозів шарів стоку весяного водопілля 2017 - 2018 рр в басейнах рівнинних річок України наведений на картосхемах (рис. 5.5 та 5.6).

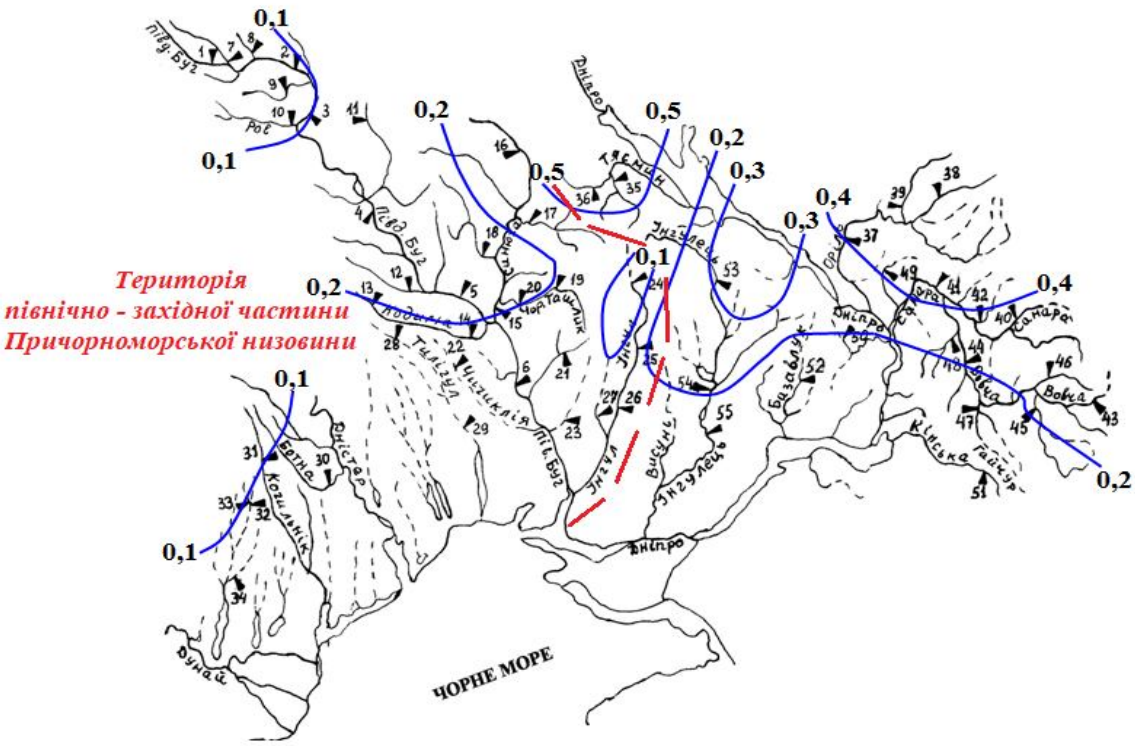

Рис. 5.5 – Карто - схема розподілу по території очікуваних модульних коефіцієнтів k_Y весняного водопілля 2017-2018 р. (ДВП 05.03.2018 р.)

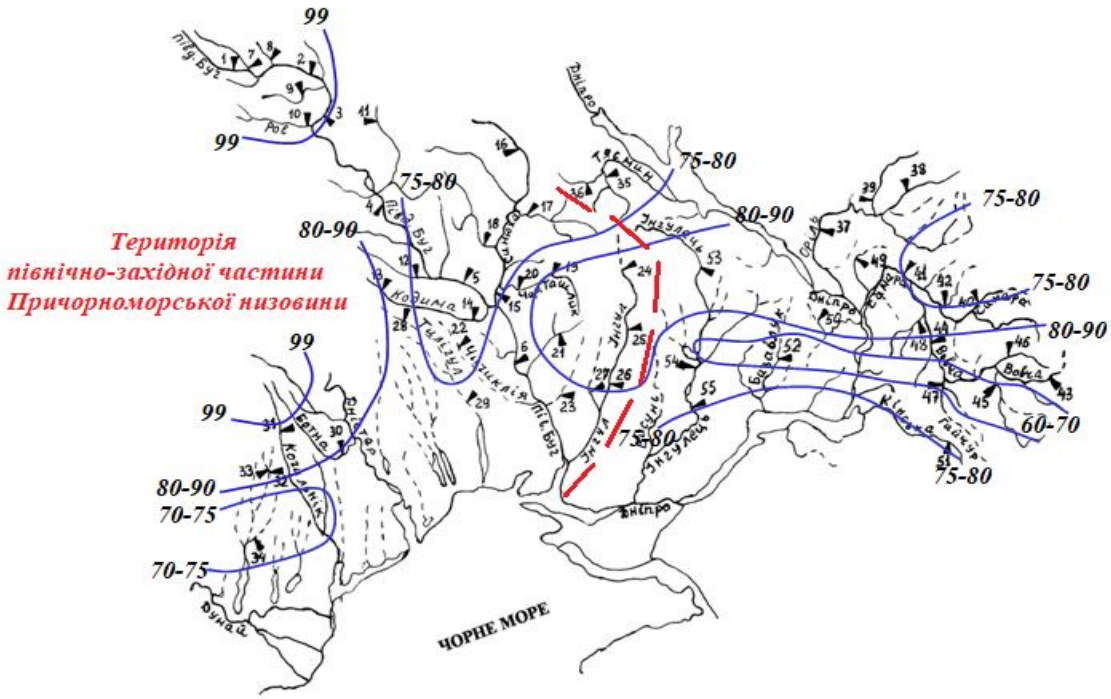

Рис.5.6 – Карто - схема розподілу по території очікуваних забезпеченостей у багаторічному розрізі $P\ \%$ весняного водопілля 2017-2018р.

Картосхеми показують, що величини модульних коефіцієнтів для шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 р. змінюються від 0,10 до 0,2 та очікувані забезпеченості змінюються від 70-99 %.

Виходячи з гідрометеорологічної ситуації, що склалася у басейнах річок України упродовж осінньо-зимового періоду 2017-2018 рр. та за нормального розвитку гідрометеорологічних процесів у березні-травні, за даними УкрГМЦ, на річках басейну Південного Бугу формуватиметься водопілля нижче норми.

Негативними наслідками, під час водопілля на рівнинних річках 2018 р. за даними УкрГМЦ можливі на притоці Південного Бугу р. Кодима (Миколаївська обл.), є досягнення і перевищення небезпечних відміток часткового затоплення територій, прирічкових населених пунктів, господарських об'єктів та інфраструктури.

6.Оцінка якості довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля виконується шляхом визначення похибки прогнозу δ та в частках від допустимої похибки, тобто $\delta/\delta_{доп}$ [26].

Здійснено оцінку шарів стоку весняного водопілля 2017 -2018 р. по р. Кодима – с. Катеринка та р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка. Для шарів стоку весняного водопілля прогноз є справджуваним з оцінками добре ($\delta/\delta_{доп}$ = 0,32) та відмінно ($\delta/\delta_{доп}$ = 0,9) відповідно.

Здійснити оцінку прогнозу для інших річок північно – західної частини Причорноморської низовини неможливо, за відсутності спостережень.

Величина похибки прогнозу δ визначається за рівнянням

$$\delta = Y_m - Y'_m \quad , \tag{5.72}$$

де Y_m і Y'_m – спостережене і прогнозне значення шарів стоку весняного водопілля, мм;

Прогноз вважається справджуваним, якщо відношення $\delta / \delta_{доп} \leq 1.0$.

5.2.2 Прогнозування шарів стоку весняного водопілля за наявності картосхем очікуваних модульних коефіцієнтів та їх ймовірності настання

За наявності картосхем спрогнозованих за розробленою методикою модульних коефіцієнтів шарів весняного стоку $k_Y = Y_m / Y_0$ та ймовірності їх настання у багаторічному розрізі P_Y %, які складаються у кожному році, можливі два варіанти випуску прогнозу: за наявності даних гідрологічних спостережень на водозборі та за їх відсутності.

З картосхеми модульних коефіцієнтів шарів весяного стоку k_Y знімаються по геометричних центрах водозборів розглядуваної території очікувані значення модульних коефіцієнтів шарів стоку водопілля. Прогнозна величина шарів стоку Y_m (мм) буде дорівнювати

$$Y'_m = k_Y \cdot Y_0 \cdot K_{Y_{2010}}, \qquad (5.73)$$

де Y_0- середньобагаторічні величини шарів стоку весняного водопілля, мм;

$K_{Y_{2010}}$ - коефіцієнт, враховуючий зміну значень середньобагаторічних величин шарів стоку за період 2017 -2018 рр .,що отримується за рівнянням (φ в частках град.)

$$K_{Y_{2010}} = 0.97 - 0.017(\varphi - 50^0). \qquad (5.74)$$

Випуск прогнозу тут пов'язаний з визначенням середньобагаторічної величини Y_0, що за наявності на річках рядів стокових вимірів розраховується безпосередньо по даних за стоком води Y_i за n років спостережень, за формулою

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Y_i}{n}. \qquad (5.75)$$

За відсутності або при коротких часових гідрологічних рядах спостережень на річках середньобагаторічна величина шарів стоку Y_0, як і k_Y, знімається з відповідної картосхеми (рис.5.3) по геометричних центрах водозборів.

Для регіону, де спостереження на річках взагалі відсутні (у межах Північно-Західного Причорномор'я) середньобагаторічні значення шарів весняного стоку визначаються по залежності їх від географічної широти водозборів (φ в частках град.)

$$Y_0 = 33.0 \cdot exp[0.32(\varphi - 50^o)]. \qquad (5.76)$$

Для оцінювання повторюваності прогнозного значення Y_m по картосхемі ймовірностей територіального прогнозу шарів стоку знаходиться величина забезпеченості P_Y% для будь-яких річок розглядуваної території, незалежно від стану їх гідрологічної вивченості. Величина P_Y% знімається з відповідної картосхеми для геометричних центрів тяжіння водозборів річок.

Таким чином, оцінити величини шарів стоку весняного водопілля у поточному році можна для будь-якої річки розглядуваної території, незалежно від наявності гідрологічної інформації на ній.

5.3 Схема довгострокового прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля

5.3.1 Прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля за гідрометеорологічними даними

Схема прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля на території при обмеженості даних гідрологічних спостережень в регіоні (наприклад, для річок Північно-Західного Причорномор'я) відбувається при відновленні полів просторового розподілу гідрометфакторів водопілля для їх отримання, а потім й самих прогнозних величин максимальних модульних коефіцієнтів та ймовірностей настання у багаторічному періоді максимальних витрат води.

Схема прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля ілюструється на прикладі водопілля 2017 - 2018 р. в басейнах річок Причорноморської низовини і включає такі кроки:

1. Збір базової інформації по річкових басейнах – морфометричні і середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики для басейнів річок Причорномор'я, що наведені в додатку В3.

Середньобагаторічні гідрометеорологічні характеристики або фактори весняного водопілля за відсутності багаторічних рядів їх спостережень підлягають відновленню. До них відносяться:

- максимальні витрати води весняного водопілля Q_m ,м^3/с або їх модулі q_0, м^3/(с·км^2), що встановлюються за моделлю редукційних типових гідрографів водопіль за рівнянням

$$q_0 = q_0' \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r . \qquad (5.77)$$

Середньобагаторічний модуль максимальних витрат води схилового припливу q'_0, м^3/(с·км^2) в (5.24), визначається в рамках редукційних гідрографів

$$q'_o = 0.28\frac{n+1}{n}\frac{1}{T_0}Y_0, \qquad (5.78)$$

де *(n*+1*)/n* - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі, що приймається для басейнів рівнинних річок України на рівні 8.0;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Y_0 – середньобагаторічний шар стоку, мм.

Середньобагаторічні шари стоку весняного водопілля Y_0 для невивчених у гідрологічному відношенні річок Причорномор'я в (5.78) визначаються за регіональною залежністю від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ в частках град.) у вигляді

$$Y_0 = 33.0 \cdot exp[0.32(\varphi - 50^o)]. \qquad (5.79)$$

Тривалість схилового припливу тало-дощової води на водозборах T_0, год отримується в залежності

$$T_0 = 24.2(\varphi - 50^o) + 507. \qquad (5.80)$$

Визначення інших складових рівнянь (5.77) і (5.78) виконується аналогічно тому, як описано в розділі;

- середньобагаторічні величини максимальних запасів води в сніговому покриві (S_0, мм) – встановлюються по картосхемах їх розподілу по території для центрів тяжіння водозборів;

- середньобагаторічні величини суми опадів періоду танення снігу, тобто формування максимальних витрат води весняного водопілля –

X_{1_0} (визначаються від дати максимальних снігозапасів S_m до середньої дати максимальних витрат води невеликих річок - T_{X_1}) за рівнянням

$$X_{1_0} = 0.77T_{X_!} + 7, \tag{5.81}$$

а значення T_{X_1} (діб)

$$T_{X_1} = 2.0\left(\varphi - 50^o\right) + 28, \tag{5.82}$$

де φ - географічна широта геометричних центрів тяжіння водозборів, в частках град.;

- середньобагаторічні величини глибин промерзання ґрунтів на водозборах за відсутності даних вимірів можуть бути отримані по їх залежностях від географічної широти (φ в частках град). Для басейнів річок L_0 становить, відповідно до рівняння

$$L_0 = 65.6 + 3.56(\varphi - 50^o); \tag{5.83}$$

- регіональні залежності передповеневих витрат води $(Q_{п.в})_0$ від площ водозборів (F, км^2) – витрат води у січні $(Q_{01})_0$ або у лютому $(Q_{02})_0$, м^3/с

$$(Q_{п.в})_0 = (Q_{12})_0 = 0.0013F, \tag{5.84}$$

- коефіцієнт варіації максимальних витрат води весняного водопілля визначається в залежності від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ в частках град.) за формулою

$$(C_v)_Q = 1.12 - 0.18(\varphi - 50^o) \qquad (5.85)$$

або від площ водозборів (F, км^2)

$$(C_v)_Q = 1.75 - 0.17 \cdot \lg(F + 1); \qquad (5.86)$$

- величина допустимої похибки при прогнозах максимальних витрат води $\delta_{доп}$ отримується для річок, за відсутності рядів стокових вимірів на них, в залежності $\delta_{доп}$ від площ водозборів (F, км^2) у вигляді

$$\delta_{доп} = 0.0147\ F; \qquad (5.87)$$

- таблиці трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф.Менкеля (при $C_s = 2.5 C_v$);

2. Збір та підготовка оперативної гідрометеорологічної інформації:

- дані снігомірних зйомок на метеостанціях, які розташовані у межах або поблизу басейнів річок, або у вигляді картосхем розподілу по території запасів води в сніговому покриві, які складаються у гідрометцентрі України;

- дані по глибинах промерзання ґрунтів на метеостанціях Причорноморської низовини або за картосхемою розподілу по території глибин промерзання, чи за рівнянням типу (5.84), але побудованого по поточних даних глибин промерзання ґрунтів;

- середньомісячні витрати води у січні (Q_{0I}) або лютому (Q_{02}), м^3/с на річках, що ведуть спостереження за стоком води і побудова регіональної залежності середньомісячних витрат води у січні (Q_{0I}) або лютому (Q_{02}),

м^3/с від площ водозборів (F, км^2). Для 2018 р. отримані такі індекси зволоженості ґрунтів у вигляді передповеневої витрати води $Q_{пв}$

$$Q_{пв} = Q_{02} = 0.0009\ F\ ; \tag{5.88}$$

- синоптичний прогноз опадів і температури повітря на поточні декади лютого-квітня.

Порядок складання, оцінка та представлення довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля за гідрометеорологічними факторами на невивчених у гідрологічному відношенні водозборах Північно-Західного Причорномор'я включає такі ж етапи:

1. складання альтернативного (якісного) прогнозу висоти підйому води в річках у весняне водопілля виконується з урахуванням знаку лінійної дискримінантної функції *DF* за формулами вигляду:

- для правобережної частини території

$$DF = a_0 + a_1 k_x + a_2 k_{Qпв} + a_3 k_L + a_4\ \Theta^0_{02}\ ; \tag{5.89}$$

Таблиця 5.7 - Коефіцієнти рівнянь дискримінантних функцій при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля на річках Причорномор'я

Номер району (підрайону)	Басейни річок	*DF*	a_0	a_1	a_2	a_3
11 б	Кодима, Інгул нижче м.Кіровоград, Інгулець нижче с.Олександро-Степанівка	DF1	-0.24	-9.37	3.84	4.30
		DF2	-2.77	-12.5	-5.74	21.4

Коефіцієнти рівнянь наведені в таблиці[8] відповідно району приналежності гідрологічного поста. За знаком дискримінантної функції

встановлюється якісний (альтернативний) прогноз висоти майбутнього водопілля:

- дискримінантна функція $DF1>0$ – максимальні витрати води будуть більшими за середньобагаторічні значення (ситуація 1);

- за $DF1\leq 0$, а $DF2\geq 0$ – максимальні витрати води весняних вод очікуються близьким до середньобагаторічних їх значень (ситуація 2);

- за $DF1<0$ і $DF2<0$ – максимальні витрати води водопілля прогнозуються меншим за середньобагаторічні їх значення (ситуація 3);

2. прогноз величин модульних коефіцієнтів k_q здійснюється на дату його складання за регіональними залежностями у вигляді рівняння поліному

$$k_q = b_0 + b_1 k_X + b_2 k_X{}^2 + b_3 k_X{}^3 \ , \qquad (5.90)$$

де b_0, b_1, b_2, b_3, … – коефіцієнти полінома при прогнозуванні шарів стоку весняного водопілля на річках, які встановлюють за даними табл.5.8, відповідно району приналежності гідрологічного поста і знаком дискримінантної функції DF;

3. здійснюється перехід від прогнозних максимальних модульних коефіцієнтів k_q до значень максимальних витрат води Q_m , м^3/с за рівнянням

$$Q'_m = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F \ . \qquad (5.91)$$

де q_0 – середньобагаторічні величини максимальних модулів весняного водопілля, м^3/(с·км^2);

$K_{Q_{2010}}$ – коефіцієнт, раховуючий зміну значень середньобагаторічних величин максимальних витрат води станом на 2010 р., що отримується за рівняннням (φ в частках град.)

$$K_{Q_{2010}} = 0.92 - 0.022(\varphi - 50^0); \qquad (5.92)$$

Таблиця 5.8 - Коефіцієнти поліномів при прогнозуванні максимальних витрат води весняного водопілля на річках Причорномор'я

Номер району (підрайону)	Басейни річок	Умови застосування прогнозних кривих за знаком *DF*	b_0	b_1	b_2	b_3
11б	Кодима, Інгул нижче м.Кіровоград, Інгулець нижче с.Олександро-Степанівка	*DF1 > 0*	$5.5 \cdot 10^{-2}$	-0.15	1.16	0.77
		DF1 ≤0; DF2 ≥ 0	0.035	-0.111	0.69	-0.13
		DF1<0; DF2<0	$0.14 \cdot 10^{-2}$	0.27	-0.18	0.10

4. визначення прогнозних значень максимальних рівнів води весняного водопілля здійснюється по спрогнозованим максимальними витратами води за кривою витрат води $Q = f(H)$;

5. встановлення забезпеченості прогнозованих максимальних витрат води весняного водопілля здійснюється за таблицею трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького і М.Ф.Менкеля за очікуваним k_q і значеннями коефіцієнтів варіації максимальних витрат води $(C_v)_Q$ при $C_s = 2.5C_v$.

Забезпеченість прогнозних величин Q_m надається у вигляді інтервалу *P%*

$$P_1 < P_Q < P_2 \ , \qquad (5.93)$$

де P_1 і P_2 – верхня та нижня межі забезпеченості, %, які встановлюються за таблицею [26].

Формою представлення прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля поточного року, як і для річок, що вивчені у гідрологічному відношенні є:

- таблиці очікуваних величин (найбільш ймовірного їх значення, отриманих за методикою, та інтервал Q_m з врахуванням допустимої похибки прогнозу) та забезпеченості їх настання у багаторічному періоді (додаток В4);

- побудова картосхем зміни по території модульних коефіцієнтів k_q та забезпеченості $P_Q\%$ прогнозних величин максимальних витрат води весняного водопілля, як і для інших річок території . При цьому прогнозні значення k_q відносяться до геометричних центрів опорних створів для території, яка не охоплена даними гідрологічних спостережень (рис. 5.7, 5.8).

Картосхеми показують, що величини модульних коефіцієнтів для максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 р. змінюються від 0,15 до 0,20 та очікувані забезпеченості змінюються від 50-95 %.

6. Оцінка якості довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля виконується шляхом визначення похибки прогнозу δ та в частках від допустимої похибки, тобто $\delta/\delta_{доп}$ [26].

Здійснено оцінку максимальних витрат води весняного водопілля 2017 -2018 р. по р. Кодима – с. Катеринка та р. Чорний Ташлик – с. Тарасівка. Для максимальних витрат води весняного водопілля прогноз є справджуваним з відмінними оцінками ($\delta/\delta_{доп}$ = 0,009) та ($\delta/\delta_{доп}$ = 0,1) відповідно.

Здійснити оцінку прогнозу для інших річок північно – західної частини Причорноморської низовини неможливо, за відсутності спостережень.

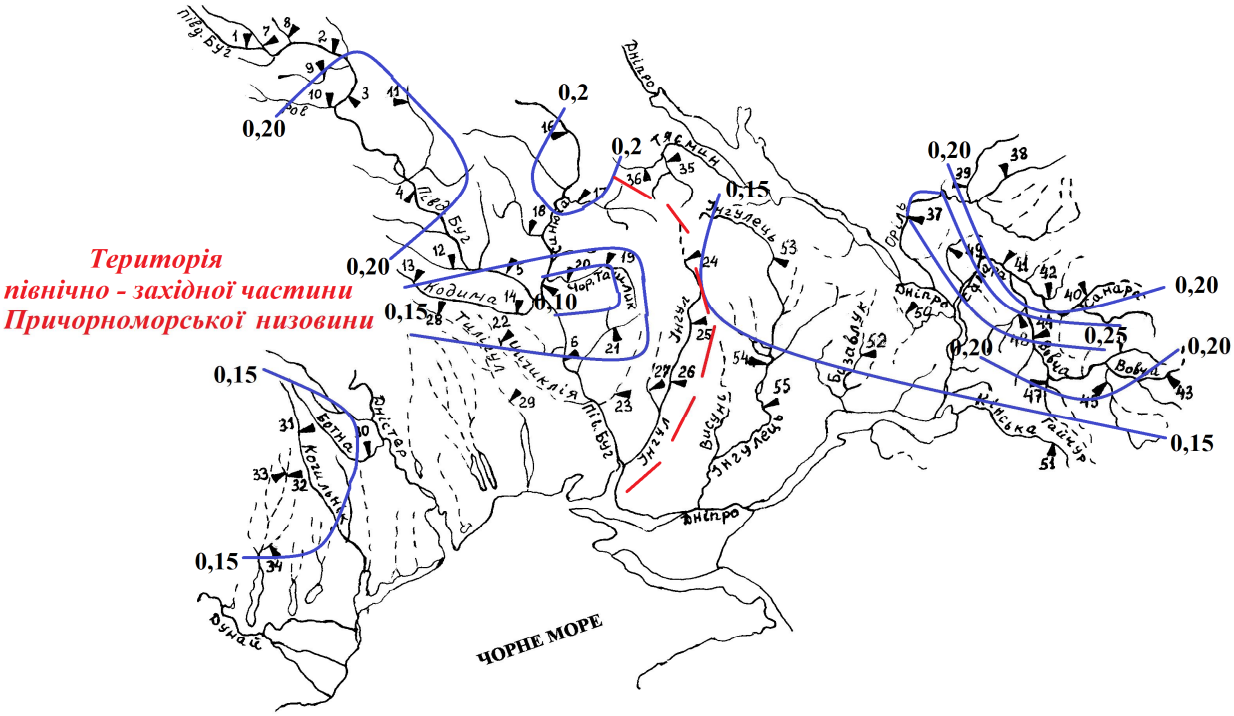

Рис.5.7 - Карто - схема зміни по території модульних коефіцієнтів k_q весняного водопілля 2017-2018р. (ДВП 05.03.2018 р.)

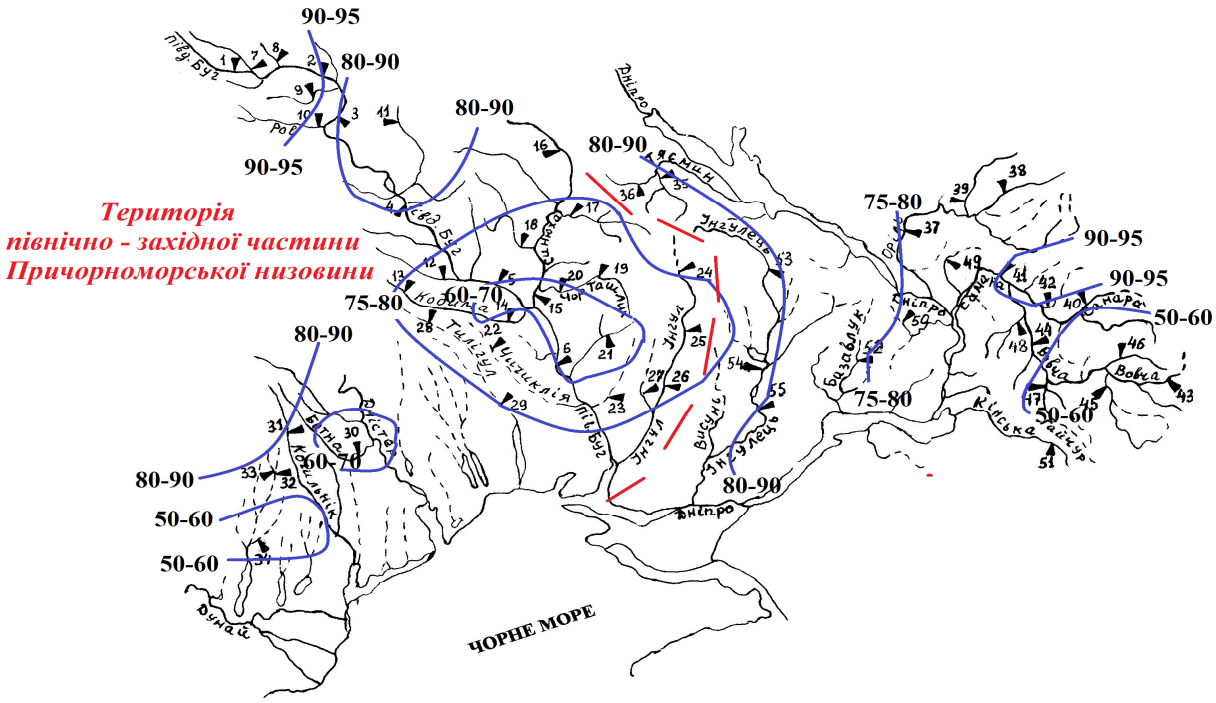

Рис. 5.8 - Карто - схема зміни по території забезпеченості $P_Q\%$ весняного водопілля 2017-2018р.

5.3.2 Прогнозування максимальних витрат води по картосхемах прогнозних модульних коефіцієнтів та їх забезпеченості

За наявності картосхем очікуваних модульних коефіцієнтів $k_q = q_m / q_o$ та їх ймовірностей P_Q%, які складаються у регіональних відділах гідрологічних прогнозів, можливі два варіанти випуску прогнозу: за наявності даних гідрологічних спостережень на водозборах або за їх відсутності.

З картосхеми модульних коефіцієнтів максимальних витрат води знімається (по геометричних центрах водозборів) пошукові значення модульних коефіцієнтів k_q. Прогнозні величини максимальних витрат води Q_m, м^3/с будуть дорівнювати

$$Q'_m = k_q \cdot q_0 \cdot K_{Q_{2010}} \cdot F, \tag{5.94}$$

де F – площа водозбору, км^2;

$K_{Q_{2010}}$ – коефіцієнт, раховуючий зміну значень середньобагаторічних величин максимальних витрат води за період до 2017 -2018 рр ,що отримується за рівнянням (φ в частках град.)

$$K_{Q_{2010}} = 0.92 - 0.022(\varphi - 50^0); \tag{5.95}$$

q_0 - норма максимального модуля водопілля, м^3/(с·км^2), яка визначається для кожної конкретної річки за часовими рядами спостережень на ній за

$$q_0 = \frac{\sum_{i=1}^{n} Q_{m_i}}{nF}, \tag{5.96}$$

де Q_{m_i} - максимальні витрати води водопілля *i*-х років за період спостережень *n*, м^3/с.

За обмеженості або відсутності часових гідрологічних спостережень на річках середньобагаторічне значення максимального модуля весняного водопілля q_0, м^3/(с·км^2) встановлюються за моделлю редукційних типових гідрографів водопіль за рівнянням

$$q_0 = q_0' \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r \qquad (5.97)$$

q_0 - норма максимального модуля водопілля, м^3/(с·км^2)

Так, середньобагаторічний модуль максимальних витрат води схилового припливу q'_0, м^3/(с·км^2) в (5.43), визначається в рамках редукційних гідрографів

$$q_0' = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_0, \qquad (5.98)$$

де *(n*+1*)/n* - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі, що приймається для басейнів рівнинних річок України на рівні 8.0;

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Y_0 – середньобагаторічний шар стоку, мм.

За відсутності або при коротких часових гідрологічних рядах спостережень на річках середньобагаторічна величина шарів стоку Y_0 знімається з відповідної картосхеми по геометричних центрів водозборів. Отримати значення Y_0, використовуючи картосхему, можна за рівнянням

$$Y_0 = (Y_0)_{карт} \cdot k_л k_б, \qquad (5.99)$$

де $(Y_0)_{карт}$ - значення середньобагаторічних величин шарів весняного стоку, що зняті з картосхеми для геометричних центрів водозборів, мм.

Значення коефіцієнтів впливу залісеності і заболоченості на середньобагаторічні величини шарів стоку визначаються за рівняннями:

$$k_б = 1 - 0.11 \lg(f_б + 1); \tag{5.100}$$

$$k_л = 1 + 0.078 \lg(f_л + 1). \tag{5.101}$$

де $(Y_0)_{карт}$ - середньобагаторічні значення шарів весняного стоку, зняті з картосхеми для геометричних центрів водозборів річок, мм.

Визначення тривалості схилового припливу тало-дощової води на водозборах T_0 в (5.44) для невивчених у гідрологічному відношенні річок можуть бути визначені за картосхемою їх розподілу по території при введенні поправочних коефіцієнтів на урахування впливу місцевих факторів – залісеності і заболоченості:

$$k'_л = 1 + 0.37 \lg(f_л + 1); \tag{5.102}$$

$$k'_б = 1 + 1.23 \lg(f_б + 1). \tag{5.103}$$

Отримати значення T_0, використовуючи картосхему, можна за рівнянням

$$T_0 = (T_0)_{карт} \cdot k'_л k'_б, \tag{5.104}$$

де $(T_0)_{карт}$ - значення тривалості схилового припливу води, які зняті з картосхеми для геометричних центрів водозборів річок.

Для регіону півдня країни, де спостереження на річках взагалі відсутні (північно-західна частина Причорноморської низовини) середньобагаторічні значення максимальних модулів весняного стоку також визначаються за моделлю (5.98). При цьому середньобагаторічні шари стоку весняного водопілля Y_0 для невивчених у гідрологічному відношенні річок Північно-Західного Причорномор'я в (5.99) можуть бути визначені за регіональною залежністю від географічної широти геометричних центрів водозборів (φ , в частках град.) у вигляді

$$Y_0 = 33.0 \cdot exp[0.32(\varphi^o - 50)], \qquad (5.105)$$

Y_0 – середньобагаторічний шар стоку, мм,

а тривалість схилового припливу тало-дощової води на водозборах T_0 - по залежності

$$T_0 = 24.2(\varphi - 50^o) + 507 . \qquad (5.106)$$

T_0 – тривалість схилового припливу, год;

Визначення інших складових рівнянь (5.98) і (5.99) виконується аналогічно тому, як описано в [22-24].

Для оцінювання ймовірності прогнозного значення Q_m з картосхеми ймовірностей територіального прогнозу максимальних витрат води водопілля знаходиться величина забезпеченості P_Q%.

Таким чином, оцінити величину максимальних витрат води весняного водопілля у даному році представляється для будь-якої річки розглядуваної території, навіть за відсутності гідрологічної інформації на ній або у цілому регіоні.

Апробація результатів дослідження представлена в основних роботах автора [27-32].

ВИСНОВКИ

В магістерській роботі теоретично обґрунтований і практично реалізований метод розрахунку максимального стоку весняного водопілля та використано метод територіального довгострокового прогнозу гідрологічних характеристик весняного водопілля річок на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг).

Метод розрахунку максимального стоку весняного водопілля дає можливість розраховувати витрати рідкісної ймовірності перевищення та оцінки проектних гідрологічних ризиків, які виникають при проектуванні гідротехнічних споруд в період весняного водопілля, а метод територіального довгострокового прогнозу гідрологічних характеристик весняного водопілля дозволяє надати кількісну прогностичну оцінку характеристикам весняного стоку в цілому для всього досліджуваного басейну, попередження виникнення катастрофічно високого водопілля та оцінки щорічних гідрологічних ризиків, у тому числі річок недостатньо вивчених у гідрологічному відношенні.

За результатами дослідження максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) можна зробити такі висновки:

1) територія Причорноморської низовини є практично невивченою у гідрологічному відношені, тому до дослідження включено річку Південний Буг. У межах досліджуваної території розташовано 34 гідрологічних постів, з них 26 розташовано на річці Південний Буг та її притоках;

2) статистична обробка максимальних витрат води та шарів стоку весняного водопілля виконана за методом моментів та найбільшої правдоподібності. За методом найбільшої правдоподібності, для максимальних витрат води весняного водопілля коефіцієнти варіації коливається в межах 0,54-2,7, коефіцієнти асиметрії 0,60-4,83, співвідношення Cs /Cv становить 0,1-4,7 (при середньому значені 2,5); для

шарів стоку весняного водопілля C_v= 0,66-5,67, C_s=0,66-5,67, співвідношення Cs /Cv = 1,1-4,2 (при середньому значені 2,5);

3) характеристики весняного водопілля (максимальні витрати води та шари стоку) рідкісної ймовірності перевищення забезпеченістю P=1% розраховувались за допомогою таблиці трипараметричного гама – розподілу. Розрахункові модулі максимального стоку весняного водопілля забезпеченістю P=1% змінюються по території від 0,46 м^3/с км^2 до 0,032 м^3/с км^2, шари стоку забезпеченістю P=1% від 43,2 мм до 186 мм ;

4) шари стоку забезпеченістю P=1% узагальнені у вигляді карто-схеми, відповідність карто-схеми вихідним даним становить ±9,8%, що в цілому відповідає точності вихідних данних (±16,5%) та вимогам СНіП 2.01.14-83 ($\sigma_{Q_{1\%}}$ < 20%) ;

5) удосконалення розрахункової методики здійснено за рахунок використання структури до якої входить не тільки шар стоку, а також коефіцієнт трансформації схилового припливу K_0, який представлений у вигляді карто-схеми. Відповідність карто-схеми вихідним даним становить ± 21,8% та вимогам СНіП 2.01.14-83 ($\sigma_{Q_{1\%}}$ < 20%) ;

6) середньоквадратична похибка розрахунків за методикою, що пропонується для визначення максимальних витрат весняного водопілля невивчених річок Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг) складає ± 15,4%, що дозволяє рекомендувати розрахункову методику для використання на практиці.

7) за методикою довгострокових прогнозів характеристик весняного водопілля на річках південно-західного Причорномор’я (включаючи р. Південний Буг), що базується на встановленні регіональних залежностей максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля для опорних водозборів від комплексу гідрометеорологічних факторів, були складені прогнози шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля протягом декількох років;

8) здійснена картографічне представлення прогнозних величин весняного водопілля 2017-2018 р. модульних коефіцієнтів та їх забезпеченостей у багаторічному періоді. Карто-схеми показують, що величини модульних коефіцієнтів для шарів стоку весняного водопілля 2017-2018 р. змінюються від 0,10 до 0,20 та очікувані забезпеченості змінюються від 70-99 %, а величини модульних коефіцієнтів максимальних витрат води весняного водопілля 2017-2018 рр. □ від 0,15 до 0,20 та P= 50-95%;

9) здійснено оцінку шарів стоку та максимальних витрат води весняного водопілля по р. Кодима-с.Катеринка та р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка. Для шарів стоку весняного водопілля прогноз є справджуваним з оцінками добре ($\delta/\delta доп$=0,32) та відмінно ($\delta/\delta доп$=0,09) відповідно. Для максимальних витрат води весняного водопілля прогноз є справджуваним з відмінними оцінками ($\delta/\delta доп$=0,01 та $\delta/\delta доп$ =0,1 відповідно). Здійснити оцінку прогнозу для інших річок північно – західної частини Причорноморської низовини неможливо, за відсутності стокових спостережень на них.

Список використаної літератури

1. Ресурсы поверхностных вод СССР Т.6 Украина и Молдова. Вип.2. Средние и нижние Поднипровье / Под ред. М.С.Каганера. Л.: Гидрометеоиздат, 1971. 656 с
2. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно – гідрологічний аналіз). К.: Ніка – Центр, 2010. 316 с.
3. Вишневський В.І., Косовець О.О. Гідрологічні характеристики річок України. К.: Ніка – Центр, 2003. 324с.
4. Клімат України / За ред.. В.М. Ліпінського, В.А. Дячука, В.М. Бабіченко. Київ: Вид – во Раєвського, 2003.343 с.
5. Атлас України / кер. проекту Л.Г.Руденко, В.С.Чабанюк, А.І.Бочковська / Інститут географії Національної академії наук України і Товариство з обмеженою відповідальністю «Інтелектуальні системи ГЕО», Інтелектуальні Системи ГЕО, 1999-2000. UPL:http:www.isgeo.kiev.ua
6. 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
7. Кліматичний кадастр України. Державна гідрометеорологічна служба. – К: 2006, електронний ресурс.
8. Адаменко Т.І., Кульбіда М.І., Прокопенко А.Л. Агрокліматичний довідник по території України. Кам’янець – Подільський: ПП Галагодза Р.С., 2011. 108с.
9. Врублевська О.О., Катеруша Г.П. Клімат України та прикладні аспекти його використання: навчальний посібник. Одесса: Вид. ТЕС, 2012. 180 с.
10. Степаненко С.М. Динаміка та моделювання клімату: підручник для студентів вищих навчальних закладів. Одеса: Екологія, 2013. 204 с.
11. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования стока на территории СССР. Вып.2.Обнинск: 1981. 60 с.

12. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. Л.:Гидрометеоиздат, 1989. 302 с.

13. Соколовский Д.Л. Річний стік .Л., Гідрометеоіздат, 1968, 532с.

14. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки. Одеса, ТЕС, 2014, 483с.

15. Руководство по гидрологической практике. Сбор и обработка данных, анализ, прогнозирование и другие применения. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО - №168). Пятое изд, 1994. 844 с. (електронний ресурс).

16. Eagleson, P. S., 1970: Dynamic Hydrology. McGraw-Hill, New York.

17. Francou, J. and Rodier, J., 1967: Essai de classification des crues maximales observées dans le monde. Cahier d'hydrologie de l' ORSTOM, Vol. IV, No. 3.

18. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоиздат, 1984. 448 с.

19. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоиздат , 1974. -419 с.

20. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеоиздат, 1983. – 390 с.

21. Руководство по гидрологическим прогнозам. – Вып. 1.Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеоиздат, 1989. – 358 с.

22. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля рівнинних річок та естуаріїв території України: монографія. Одеса: ФОП Бондаренко М.О., 2015. 252 с.

23. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р. Територіальное долгосрочное прогнозирование максимальних расходов воды весеннего половодья. Учебное пособие . – К.: КНТ, 2005. 240 с.

24. Шакірзанова Ж.Р. Довгострокові прогнози: Конспект лекцій. Одеса: Вид-во ТЕС, 2010. 154 с.

25. Наставление по службе прогнозов. – Вып.3, ч.1,Л.: Гидрометеоиздат. – 1962. – 194 с.

26. Настанова з оперативної гідрології. Прогнози режиму вод суші. Гідрологічне забезпечення і обслуговування / Керівний документ. – Київ.: Український гідрометеорологічний центр, 2012. 120 с.

27. Ємельянова К.Б. *Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля на території Причорноморської низов*ини - Шевченківська весна – 2017. Географія: Збірник наукових праць XV міжнародної наукової конференції студентів, аспірантів та молодих вчених. – К.: Прінт Сервіс, 2017. Випуск XV. с. 41-45.

28. Ємельянова К.Б. *Довгострокове прогнозування характеристик максимального стоку весняного водопілля на території північно-західної частини Причорноморської низовини* – Матеріали XVI наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2017. с. 92-93.

29. Ємельянова К.Б. *Розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини* // Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2017: Сборник тезисов. – Иваново: Научный мир, 2017. с. 10-15.

30. Ємельянова К.Б. *Розрахунок та прогноз гідрологічних характеристик максимального стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини* // Матеріали V Міжнародної наукової конференції молодих вчених "Екологія, неоекологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування" ХНУ ім. В.Н. Каразіна,29-30 листопада 2017р.с. 44 – 45.

31. Ємельянова К.Б., Костенко О.І. *«Удосконалення науково – методичних підходів щодо визначення розрахункових характеристик максимального стоку рівнинних річок»* // Матеріали III Міжнародної наукової конференції молодих вчених «Сучасна гідрометеорологія : актуальні проблеми та шляхи їх вирішення» ОДЕКУ, 21-23 березня 2018 р. с. 93-94.

32. Ємельянова К.Б. *Розрахункові та прогнозні характеристики максимального стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини* – Матеріали XVII наукової конференції молодих вчених ОДЕКУ. Одеса: ОДЕКУ, 2018. –подано до друку

Додатки

Додаток А

Додаток. А.1— Список гідрологічних постів на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№, п/п	Річка-пост	F,км²	n,років
1	2	3	4
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	4000	67
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	56
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	77
5	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	71
6	р. Південний Буг -смт Олександрівка	46200	97
7	р. Бужок - смт Меджибож	698	37
8	р. Іква - смт Стара Синява	439	65
9	р. Згар - смт Літин	692	80
10	р. Рів - с. Демидівка	1130	89
11	р. Соб - с. Зозів	92,5	66
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	753	42
13	р. Савранка - с. Осички	1740	72
14	р. Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	66
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	84
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	83
17	р. Ятрань - с . Покотилове	2140	56
18	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76
19	р. Кодима - с. Обжила	145	43
20	р. Кодима - с. Катеринка	2390	77

Продовження дод. А.1

№, п/п	Річка-пост	F,км²	n,років
21	р. Чичиклія - с. Василівка	436	36
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	1190	41
23	р. Інгул - м. Кіровоград	840	65
24	р. Інгул - с. Седнівка	4770	57
25	р. Інгул - с. Новогорожене	6670	77
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	1410	43
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	810	34
28	р. Тилігул - с. Березівка	3170	49
29	р. Бик-г. Калараш	296	20
30	р. Бик-г. Кишинів	930	21
31	р. Пожарная -с. Сипотени	119	17
32	р. Ботна - с. Каушани	1210	27
33	р. Когильник -смт Котовское	179	17
34	б. Тараклія - смт Тараклія	103	16

Додаток. А.2— Статистичні параметри часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№, п/п	Річка-пост	F, км²	n, років	$\overline{Q}m$, м³/с	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
					Cv	Cs	Cs /Cv	Cv	Cs	Cs /Cv
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47	16,9	0,88	3,0	3,4	0,96	4,5	4,7
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	4000	67	113	1,2	3,3	2,7	1,3	4,4	3,5
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	56	293	0,98	2,4	2,5	1,0	3,2	3,2
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	77	389	0,96	1,9	1,9	0,98	2,1	2,2
5	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	71	424	1,2	2,5	2,4	1,1	3,1	3,0
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	97	767	1,1	2,9	2,5	1,2	3,4	3,0
7	р. Бужок - смт Меджибож	698	37	22,6	1,0	2,4	2,4	1,0	3,3	3,2
8	р. Іква - смт Стара Синява	439	65	16,0	1,1	2,3	2,1	1,1	2,9	2,6
9	р. Згар - смт Літин	692	80	23,6	1,0	1,9	1,8	1,1	2,2	2,1

Продовження дод. А.2

№, п/п	Річка-пост	F, км²	n, років	$\overline{Q}m$, м³/с	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
					Cv	Cs	Cs /Cv	Cv	Cs	Cs /Cv
10	р. Рів - с. Демидівка	1130	89	43,5	0,89	1,7	1,9	0,90	1,9	2,2
11	р. Соб - с. Зозів	92,5	66	5,89	1,44	3,6	2,5	1,5	5,2	3,5
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	753	42	27,0	1,0	2,0	1,9	1,0	2,6	2,4
13	р. Савранка - с. Осички	1740	72	22,0	1,56	4,8	3	1,7	7,3	4,3
14	р. Гнилий Тікич- смт Лисянка	1450	66	50,8	1,3	3,0	2,3	1,4	2,7	2,9
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	84	369	1,2	2,1	1,7	1,3	2,4	1,9
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	83	67,0	1,6	3,0	1,9	1,6	4,0	2,4
17	р. Ятрань - с . Покотилове	2140	56	63,0	1,6	2,6	1,6	1,7	3,3	2,0
18	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76	98,0	1,3	2,0	1,5	1,4	2,3	1,7
19	р. Кодима - с. Обжила	145	43	2,31	1,2	2,5	2	1,3	3,4	2,7
20	р. Кодима - с. Катеринка	2390	77	32,6	2,3	4,8	2,1	2,4	7,5	3,2
21	р. Чичиклія - с. Василівка	436	36	10,1	1,1	1,6	1,4	1,2	2,1	1,8

Продовження дод. А.2

№, п/п	Річка-пост	F, км²	n, років	$\overline{Q}m$, м³/с	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
					Cv	Cs	Cs /Cv	Cv	Cs	Cs /Cv
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	1190	41	60,3	1,5	2,1	1,4	1,6	2,7	1,7
23	р. Інгул - м. Кіровоград	840	65	35,1	1,4	1,9	1,3	1,5	2,3	1,5
24	р. Інгул - с. Седнівка	4770	57	113	1,5	2,2	1,5	1,5	2,8	1,9
25	р. Інгул - с. Новогорожене	6670	77	170	1,3	0,35	1,2	1,3	1,8	1,4
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	1410	43	23,6	1,1	1,4	1,3	1,2	1,8	1,4
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	810	34	9,55	1,2	2,3	1,8	1,3	3,3	2,5
28	р. Тилігул - с. Березівка	3170	49	14,4	1,4	2,0	1,4	1,5	2,4	1,6
29	р. Бик-г. Калараш	296	20	6,22	0,69	1,2	1,8	0,70	1,6	2,3
30	р. Бик-г. Кишинів	930	21	11,5	1,0	1,4	1,3	1,1	1,8	1,7
31	р. Пожарная -с. Сипотени	119	17	3,38	0,74	1,3	1,7	0,76	1,7	2,2
32	р. Ботна - с. Каушани	1210	27	10,2	1,6	2,2	1,3	1,75	3,2	1,9
33	р. Когильник -смт Котовское	179	17	4,64	0,53	-0,46	-0,9	0,54	-0,03	-0,1
34	б. Тараклія - смт Тараклія	103	16	3,97	2,3	2,5	1,1	2,7	5,0	1,8

Додаток. А.3 - Статистичні параметри часових рядів максимальних шарів стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№, п/п	Річка-пост	F, км²	n, років	Ym, мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподоби		
					Cv	Cs	Cs /Cv	Cv	Cs	Cs /Cv
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	47	33,3	0,54	0,87	0.16	0,54	0,94	1,7
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	4000	67	39,2	0,75	1,52	0.33	0,76	1,73	2,3
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	56	43,5	0,60	0,69	0.26	0,61	0,75	1,2
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	77	31,4	0,72	1,42	0.38	0,73	1,58	2,2
5	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	71	27,5	0,67	1,33	0.37	0,68	1,48	2,2
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	97	27,2	0,65	0,66	0.21	0,66	1,26	1,9
7	р. Бужок - смт Меджибож	698	37	30,4	0,75	1,32	0.22	0,77	1,62	2,1
8	р. Іква - смт Стара Синява	439	65	37,4	0,84	1,48	0.22	0,85	1,70	2,0
9	р. Згар - смт Літин	692	80	38,4	0,68	0,88	0.24	0,67	0,93	1,4
10	р. Рів - с. Демидівка	1130	89	33,9	0,76	1,20	0.16	0,76	1,29	1,7
11	р. Соб - с. Зозів	92,5	66	33,6	0,79	0,98	0.42	0,81	1,08	1,3
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	753	42	28,9	0,88	2,09	0.23	0,90	2,52	2,8
13	р. Савранка - с. Осички	1740	72	17,4	0,84	1,48	0.37	0,85	1,70	2,0
14	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	66	21,7	0,97	2,25	0.10	0,99	2,73	2,8
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	84	25,4	0,86	1,34	0.15	0,87	1,43	1,7

Продовження дод. А.3

№, п/п	Річка-пост	F, км²	n, років	Ym, мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподоби		
					Cv	Cs	Cs /Cv	Cv	Cs	Cs /Cv
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	83	20,9	0,92	1,84	0.09	0,93	2,07	2,2
17	р. Ятрань - с. Покотилове	2140	56	20,2	1,05	2,27	-0.06	1,06	2,85	2,7
18	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	76	24,8	1,03	1,67	0.18	1,05	1,90	1,8
19	р. Кодима - с. Обжила	145	43	12,3	0,79	2,90	-0.04	0,85	4,24	5,0
20	р. Кодима - с. Катеринка	2390	77	13,6	1,23	4,83	0.23	1,34	5,67	4,2
21	р. Чичиклія - с. Василівка	436	36	13,2	1,18	2,13	0.45	1,26	3,1	2,5
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	1190	41	19,7	1,12	1,45	0.05	1,15	1,7	1,5
23	р. Інгул - м. Кіровоград	840	65	19,8	1,28	2,60	0.15	1,30	3,3	2,5
24	р. Інгул - с. Седнівка	4770	57	17,3	0,99	1,61	0.02	1,00	1,9	1,8
25	р. Інгул - с. Новогорожене	6670	77	20,8	1,07	1,56	0.23	1,09	1,8	1,6
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	1410	43	10,8	1,11	2,38	0.11	1,14	3,2	2,8
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	810	34	10,7	0,96	2,22	0.05	0,99	3,10	3,2
28	р. Тилігул - с. Березівка	3170	49	6,1	1,48	2,88	-0.02	1,53	3,96	2,6
29	р. Бик - г. Калараш	296	17	36,9	0,55	0,73	0.29	0,56	0,87	1,6
30	р. Бик -г. Кишиневі	930	19	36,1	0,81	1,35	0.22	0,84	1,85	2,2
31	р. Пожарная - с. Сипотени	119	17	41,5	0,94	1,94	0.32	0,98	3,27	3,3
32	р. Ботна -с. Каушани	1210	25	21,5	0,89	1,21	0.26	0,91	1,50	1,6
33	р. Когильник - смт Котовськ	179	17	13,5	0,62	0,60	0.14	0,62	0,66	1,1
34	б. Тараклія – смт Тараклія	103	16	11,4	1,55	2,04	0.01	1,66	3,00	1,8

Додаток. А.4 — Розрахункові витрати води і модулі стоку весняного водопілля забезпеченістю Р=1% (C_s/C_v = 2,5)

№, п/п	Річка-пост	F, км²	$\overline{Qm}$, м³/с	Cv	$K_{1\%}$	$Q_{1\%}$, м³/с	$q_{1\%}$, м³/(с км²)
1	р. Південний Буг – с. Пирогівці	827	16,9	0,96	4.6	77,7	0,094
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	4000	113	1,26	6.02	681,5	0,17
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	293	1,01	4.83	1416	0,16
4	р. Південний Буг – с. Тростянчик	17400	389	0,98	4.69	1825	0,10
5	р. Південний Буг - с. Підгір'я	24600	424	1,05	5,02	2129	0,087
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	767	1,15	5.07	3890	0,084
7	р. Бужок - смт Меджибож	698	22,6	1,02	4.88	110,3	0,16
8	р. Іква - смт Стара Синява	439	16,0	1,1	5.26	84,3	0,19
9	р. Згар - смт Літин	692	23,6	1,06	5.07	119,8	0,17
10	р. Рів - с. Демидівка	1130	43,5	0,90	4.32	187,8	0,17
11	р. Соб - с. Зозів	92,5	5,89	1,49	7.15	42,1	0,46
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	753	27,0	1,04	4.97	134,2	0,18
13	р. Савранка - с. Осички	1740	22,0	1,7	8.20	180,6	0,10
14	р. Гнилий Тікич – смт Лисянка	1450	50,8	1,37	6.56	333,0	0,23
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	369	1,26	6.02	2223	0,13
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	67,0	1,63	7.85	525,7	0,19
17	р. Ятрань - с. Покотилове	2140	63,0	1,69	8.15	513,0	0,24
18	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	98,0	1,38	6.61	647,9	0,29

Продовження дод. А.4

№, п/п	Річка-пост	F, км²	$\overline{Qm}$, м³/с	Cv	$K_{1\%}$	$Q_{1\%}$, м³/с	$q_{1\%}$, м³/(с км²)
19	р. Кодима - с. Обжила	145	2,31	1,29	5.73	13,2	0,091
20	р. Кодима - с. Катеринка	2390	32,5	2,37	(9.74)	317,1	0,13
21	р. Чичиклія – с. Василівка	436	10,1	1,19	5.68	57,4	0,13
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	1190	60,3	1,56	7.5	452,3	0,30
23	р. Інгул - м. Кіровоград	840	35,1	1,48	7.1	249,0	0,30
24	р. Інгул - с. Седнівка	4770	113,2	1,49	7.15	809,1	0,17
25	р. Інгул - с. Новогорожене	6670	170,0	1,29	6.17	1049	0,016
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	1410	23,6	1,17	5.59	132,0	0,094
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	810	9,55	1,29	6.17	58,9	0,073
28	р. Тилігул - с. Березівка	3170	14,4	1,47	7.05	101,3	0,032
29	р. Бик - г. Калараш	296	6,22	0,70	3.42	21,3	0,072
30	р. Бик-г. Кишинів	930	11,5	1,05	5.02	57,6	0,062
31	р. Пожарна - с. Сипотени	119	3,38	0,76	3.69	12,5	0,10
32	р. Ботна - с. Каушани	1210	10,2	1,75	8.46	85,8	0,071
33	р. Когильник - смт. Котовськ	179	4,64	0,54	2.75	12,7	0,071
34	б. Тараклія – смт Тараклія	103	3,97	2,74	(9.74)	38,7	0,38

Додаток. А.5— Розрахункові шари стоку весняного водопілля забезпеченістю Р=1% (C_s/C_v = 2,0)

№, п/п	Річка-пост	F, км²	$\overline{Ym}$, мм	Cv	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}$ мм
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	827	33,3	0,54	2,7	89,9
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	4000	39,2	0,75	3,5	137
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	9010	43,5	0,60	2,89	126
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	17400	31,4	0,72	2,39	75,0
5	р. Південний Буг -с. Підгір'я	24600	27,5	0,67	3,12	85,8
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	46200	27,2	0,65	3,09	84,0
7	р. Бужок - смт Меджибож	698	30,4	0,75	3,5	106
8	р. Іква - смт Стара Синява	439	37,4	0,84	3,93	147
9	р. Згар - смт Літин	692	38,4	0,68	3,19	122
10	р. Рів - с. Демидівка	1130	33,9	0,76	3,7	125
11	р. Соб - с. Зозів	92,5	33,6	0,79	3,71	125
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	753	28,9	0,88	4,08	118
13	р. Савранка - с. Осички	1740	17,4	0,84	3,93	68,4
14	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	1450	21,7	0,97	4,56	99,0
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	16700	25,4	0,86	3,97	101
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	2820	20,9	0,92	4,15	86,7
17	р. Ятрань - с. Покотилове	2140	20,2	1,05	4,8	97,0
18	р. Чорний Ташлик - с. Тарасівка	2230	24,8	1,03	4,7	117
19	р. Кодима - с. Обжила	145	12,3	0,79	3,71	45,6
20	р. Кодима - с. Катеринка	2390	13,6	1,23	5,58	75,9
21	р. Чичиклія - с. Василівка	436	13,2	1,18	5,47	72,2
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	1190	19,7	1,12	5,12	101
23	р. Інгул - м. Кіровоград	840	19,8	1,28	5,96	118

Продовження дод. А.5

№, п/п	Річка-пост	F, км²	$\overline{Ym}$, мм	Cv	$K_{1\%}$	$Y_{1\%}$ мм
24	р. Інгул - с. Седнівка	4770	17,3	0,99	4,6	79,6
25	р. Інгул - с. Новогорожене	6670	20,8	1,07	4,89	102
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	1410	10,8	1,11	5,05	54,5
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	810	10,7	0,96	4,52	48,4
28	р. Тилігул - с. Березівка	3170	6,1	1,48	6,96	42,5
29	р. Бик-г. Калараш	296	36,9	0,55	2,9	107
30	р. Бик-г. Кишинів	930	36,1	0,81	3,71	134
31	р. Пожарная - с. Сипотени	119	41,5	0,94	4,49	186
32	р. Ботна -с. Каушани	1210	21,5	0,89	4,15	89,2
33	р. Когильник - смт. Котовское	179	13,5	0,62	2,93	39,6
34	б. Тараклія - смт.Тараклія	103	11,4	1,55	3,79	43,2

Додаток. А.6 – Розрахунок точності побудованої карти-схеми ізоліній максимального шару стоку весняної повені $Y_{1\%}$ на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№, п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$ р, мм	$Y_{1\%}$ к, мм	Δ,%
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	89,9	100	11,23
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	137	130	5,11
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	126	120	4,76
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	75	100	33,33
5	р. Південний Буг - с. Підгір’я	85,8	100	16,55
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	84	100	19,05

Продовження дод. А.6

№, п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$ р, мм	$Y_{1\%}$ к, мм	Δ,%
7	р. Бужок - смт Меджибож	106	120	13,21
8	р. Іква - смт Стара Синява	147	140	4,76
9	р. Згар - смт Літин	122	120	1,64
10	р. Рів - с. Демидівка	125	120	4,00
11	р. Соб - с. Зозів	125	120	4,00
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	118	120	1,69
13	р. Савранка - с. Осички	68,4	70	2,34
14	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	99	100	1,01
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	101	100	0,99
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	86,7	100	15,34
17	р. Ятрань - с. Покотилове	97	100	3,09
18	р. Чорний Ташлик -с . Тарасівка	117	100	14,53
19	р. Кодима - с. Обжила	45,6	70	53,51
20	р. Кодима - с. Катеринка	75,9	60	20,95
21	р. Чичиклія - с. Василівка	72,2	60	16,90
22	р. Гнилий Єланець - с. Женево-Криворіжжя	101	100	0,99
23	р. Інгул - м. Кіровоград	118	120	1,69
24	р. Інгул - с. Седнівка	79,6	80	0,50
25	р. Інгул - с. Новогорожене	102	90	11,76
26	р. Громоклія - с. Михайлівка	54,5	60	10,09
27	р. Тилігул - с. Новоукраїнка	48,4	50	3,31
28	р. Тилігул - с. Березівка	42,5	50	17,65
29	р. Бик - г. Калараш	107	120	12,15
30	р. Бик-г. Кишинів	134	130	2,99

Продовження дод. А.6

№, п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$ р, мм	$Y_{1\%}$ к, мм	Δ,%
31	р. Пожарная - с. Сипотени	186	180	3,23
32	р. Ботна - с. Каушани	89,2	100	12,11
33	р. Когильник - смт Котовськ	39,6	40	1,01
34	б. Тараклія – смт Тараклія	43,2	40	7,41

Сред.=9,8

Додаток. А.7 — Середньоквадратичні похибки витрат води весняного водопілля ймовірності перевищення Р = 1%

№, п/п	Річка-пост	$Q_{1\%}$, $м^3/с$	n, років	C_v	E_σ	$\sigma_{Q1\%}$,%
1	р. Південний Буг - с. Пирогівці	72,3	47	0,88	1,17	17,1
2	р. Південний Буг - с. Лелітка	647	67	1,2	1,34	16,4
3	р. Південний Буг - с. Сабарів	1371	56	0,98	1,2	16,0
4	р. Південний Буг - с. Тростянчик	1782	77	0,96	1,19	13,6
5	р. Південний Буг - с. Підгір'я	2430	71	1,2	1,34	15,9
6	р. Південний Буг - смт Олександрівка	4034	97	1,1	1,3	13,2
7	р. Бужок - смт Меджибож	108	37	1	1,2	19,7
8	р. Іква - смт Стара Синява	84,2	65	1,1	1,3	16,1
9	р. Згар - смт Літин	113	80	1	1,2	13,4
10	р. Рів - с. Демидівка	187	89	0,89	1,11	11,8
11	р. Соб - с. Зозів	40,9	66	1,44	1,42	17,5
12	р. Синиця - с. Кам'яний Брід	129	42	1	1,2	18,5
13	р. Савранка -с. Осички	165	72	1,56	1,53	18,0
14	р. Гнилий Тікич - смт Лисянка	316	66	1,3	1,4	17,2

Продовження дод. А.7

№, п/п	Річка-пост	$Q_{1\%}$, $м^3/с$	n, років	C_v	E_σ	$\sigma_{Q1\%}$,%
15	р. Синюха - с. Синюхин Брід	2114	84	1,2	1,34	14,6
16	р. Велика Вись - с. Ямпіль	516	83	1,6	1,55	17,0
17	р.Ятрань-с.Покотилове	485	56	1,6	1,55	20,7
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	610	76	1,3	1,4	16,1
19	р.Кодима-с.Обжила	13,2	43	1,2	1,34	20,4
20	р.Кодима-с.Катеринка	318	77	2,3	1,86	21,2
21	р.Чичиклія-с.Василівка	53,1	36	1,1	1,3	21,7
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	434	41	1,5	1,5	23,4
23	р.Інгул-м.Кіровоград	236	65	1,4	1,45	18,0
24	р.Інгул-с.Седнівка	814	57	1,5	1,5	19,9
25	р.Інгул-с.Новогорожене	1057	77	1,3	1,4	16,0
26	р.Громокліяс.Михайлівка	124	43	1,1	1,3	19,8
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	54,7	34	1,2	1,34	23,0
28	р.Тилігул-с.Березівка	96,6	49	1,4	1,45	20,7
29	р.Бик-г. Калараш	21,2	20	0,69	1	22,4
30	Бик-г. Кишинів	55,0	21	1	1,2	26,2
31	Пожарная-с. Сипотени	12,2	17	0,74	1,1	26,7
32	Ботна-с. Каушени	78,5	27	1,6	1,55	29,8
33	Когильник-смт. Котовское	12,2	17	0,53	0,81	19,6
34	б.Тараклія-смт.Тараклія	38,7	16	2,3	1,86	46,5

Серед. = 19,6

Додаток. А.8 — Середньоквадратичні похибки шарів стоку ймовірності перевищення Р=1%

№, п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$, мм	n, років	C_v	E_σ	$\sigma_{Y1\%}$
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	72,3	47	0,54	0,85	12,4
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	647	67	0,75	1	12,2
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	1371	56	0,6	0,9	12,0
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	1782	77	0,72	1,05	12,0
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	2430	71	0,67	0,98	11,6
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	4034	97	0,65	0,9	9,14
7	р.Бужок-смт Меджибож	108	37	0,75	1	16,4
8	р.Іква-смт Стара Синява	84,2	65	0,84	1,15	14,3
9	р.Згар-смт Літин	113	80	0,68	0,98	11,0
10	р.Рів-с.Демидівка	187	89	0,76	1	10,6
11	р.Соб-с.Зозів	40,9	66	0,79	1,1	13,5
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	129	42	0,88	1,15	17,7
13	р.Савранка-с.Осички	165	72	0,84	1,12	13,2
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	316	66	0,97	1,18	14,5
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	2114	84	0,86	1,13	12,3
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	516	83	0,92	1,16	12,7
17	р.Ятрань-с.Покотилове	485	56	1,05	1,22	16,3
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	610	76	1,03	1,2	13,8
19	р.Кодима-с.Обжила	13,2	43	0,79	1,1	16,8
20	р.Кодима-с.Катеринка	318	77	1,23	1,33	15,2
21	р.Чичиклія-с.Василівка	53,1	36	1,18	1,32	22,0
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	434	41	1,12	1,22	19,1

Продовження дод. А.8

№, п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$, мм	n, років	C_v	E_σ	$\sigma_{Y1\%}$
23	р.Інгул-м.Кіровоград	236	65	1,28	1,4	17,4
24	р.Інгул-с.Седнівка	814	57	0,99	1,2	15,9
25	р.Інгул-с.Новогорожене	1057	77	1,07	1,1	12,5
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	124	43	1,11	1,1	16,8
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	54,7	34	0,96	1,18	20,2
28	р.Тилігул-с.Березівка	96,6	49	1,48	1,44	19,0
29	р.Бик-г. Калараш	21,2	20	0,55	0,9	20,1
30	р.Бик-г. Кишинев	55,0	21	0,81	1,1	24,0
31	р.Пожарная-с. Сипотены	12,2	17	0,94	1,18	28,6
32	р.Ботна-с. Каушены	78,5	27	0,89	1,1	21,2
33	р.Когильник-пгт. Котовское	12,2	17	0,62	0,91	22,1
34	б.Тараклия-пгт.Тараклия	38,7	16	1,55	1,5	34,5

Сред. =16,5

Додаток Б

Додаток. Б.1— Вихідні дані для побудування залежності

$lg\ (q_{1\%}/Y_{1\%}) = f\ lg(F+1)$ (рис. 4.1)

№, п/п	Річка-пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$Y_{1\%}$, мм	$q_{1\%}/Y_{1\%}$	lg ($q_{1\%}/Y_{1\%}$)	lg(F+1)
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	827	0,094	89,9	0,0010	-2,98	2,92
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	0,17	137	0,0012	-2,91	3,60
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	0,16	126	0,0013	-2,90	3,95
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	17400	0,1	75	0,0013	-2,88	4,24
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	0,087	85,8	0,0010	-2,99	4,39
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	0,084	84	0,0010	-3,00	4,66
7	р.Бужок-смт Меджибож	698	0,16	106	0,0015	-2,82	2,84
8	р.Іква-смт Стара Синява	439	0,19	147	0,0013	-2,89	2,64
9	р.Згар-смт Літин	692	0,17	122	0,0014	-2,86	2,84

Продовження дод. Б.1

№, п/п	Річка-пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$Y_{1\%}$, мм	$q_{1\%}/Y_{1\%}$	lg ($q_{1\%}/Y_{1\%}$)	lg(F+1)
10	р.Рів-с.Демидівка	1130	0,17	125	0,0014	-2,87	3,05
11	р.Соб-с.Зозів	92,5	0,46	125	0,0037	-2,43	1,97
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	0,18	118	0,0015	-2,82	2,88
13	р.Савранка-с.Осички	1740	0,1	68,4	0,0015	-2,84	3,24
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	0,23	99	0,0023	-2,63	3,16
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	16700	0,13	101	0,0013	-2,89	4,22
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,19	86,7	0,0022	-2,66	3,45
17	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,24	97	0,0025	-2,61	3,33
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,29	117	0,0025	-2,61	3,35
19	р.Кодима-с.Обжила	145	0,091	45,6	0,0020	-2,70	2,16
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,13	75,9	0,0017	-2,77	3,38
21	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0,13	72,2	0,0018	-2,74	2,64
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	1190	0,3	101	0,0030	-2,53	3,08

Продовження дод. Б.1

№, п/п	Річка-пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$Y_{1\%}$, мм	$q_{1\%}/Y_{1\%}$	lg ($q_{1\%}/Y_{1\%}$)	lg(F+1)
23	р.Інгул-м.Кіровоград	840	0,3	118	0,0025	-2,59	2,92
24	р.Інгул-с.Седнівка	4770	0,17	79,6	0,0021	-2,67	3,68
25	р.Інгул-с.Новогорожене	6670	0,016	102	0,0002	-3,80	3,82
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	0,094	54,5	0,0017	-2,76	3,15
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	0,073	48,4	0,0015	-2,82	2,91
28	р.Тилігул-с.Березівка	3170	0,032	42,5	0,0008	-3,12	3,50
29	р.Бик-г. Калараш	296	0,072	107	0,0007	-3,17	2,47
30	Бик-г. Кишинев	930	0,062	134	0,0005	-3,33	2,97
31	р.Пожарная-с. Сипотени	119	0,1	186	0,0005	-3,27	2,08
32	р.Ботна-с. Каушени	1210	0,071	89,2	0,0008	-3,10	3,08
33	р.Когильник-смт. Котовськ	179	0,071	39,6	0,0018	-2,75	2,26
34	б.Тараклія-смт.Тараклія	103	0,38	43,2	0,0088	-2,06	2,02

Додаток. Б.2 — Перевірочні розрахунки за формулою (3.16)

$K_0 = 0{,}0036$; $n_1=0{,}13$

№	Річка-пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$(q_{1\%})_{роз}$, м^3/с км^2	$\lvert\Delta q_{1\%}\rvert$,%
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	827	0,094	0,14	43,7
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	0,17	0,17	1,31
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	0,16	0,14	13,2
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	17400	0,1	0,076	24,1
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	0,087	0,083	4,62
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	0,084	0,075	10,9
7	р.Бужок-смт Меджибож	698	0,16	0,163	1,79
8	р.Іква-смт Стара Синява	439	0,19	0,24	26,2
9	р.Згар-смт Літин	692	0,17	0,19	10,4
10	р.Рів-с.Демидівка	1130	0,17	0,18	6,12
11	р.Соб-с.Зозів	92,5	0,46	0,25	45,8
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	0,18	0,179	0,26
13	р.Савранка-с.Осички	1740	0,1	0,093	6,66
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	0,23	0,138	39,8
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	16700	0,13	0,103	20,9
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,19	0,111	41,5
17	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,24	0,129	46,3

Продовження дод. Б.2

№	Річка-пост	F,км^2	$q_{1\%}$, м^3/с км^2	$(q_{1\%})_{роз}$, м^3/с км^2	$\lvert\Delta q_{1\%}\rvert$,%
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,29	0,15	46,7
19	р.Кодима-с.Обжила	145	0,091	0,086	5,62
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,13	0,099	23,5
21	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0,13	0,117	9,29
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	1190	0,3	0,145	51,7
23	р.Інгул-м.Кіровоград	840	0,3	0,177	41,0
24	р.Інгул-с.Седнівка	4770	0,17	0,095	43,9
25	р.Інгул-с.Новогорожене	6670	0,016	0,117	630
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	0,094	0,076	18,7
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	0,073	0,073	0,08
28	р.Тилігул-с.Березівка	3170	0,032	0,054	67,6
29	р.Бик-г. Калараш	296	0,072	0,184	155
30	Бик-г. Кишинев	930	0,062	0,198	219
31	р.Пожарная-с. Сипотени	119	0,1	0,359	259
32	р.Ботна-с. Каушени	1210	0,071	0,128	79,7
33	р.Когильник-смт. Котовське	179	0,071	0,072	2,22
34	б.Тараклия-смт.Тараклія	103	0,38	0,085	77,6

Серед.= 61%

Додаток. Б.3 — Розрахунок коефіцієнтів схилової трансформації весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№	Річка-пост	F,км^2	q1%, м^3/с км^2	Y1%, мм	q1%/Y1%	(F+1)	K_0
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	827	0,094	89,9	0,0010	828	0,0025
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	0,17	137	0,0012	4001	0,0036
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	0,16	126	0,0013	9011	0,0041
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	17400	0,1	75	0,0013	17401	0,0047
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	0,087	85,8	0,0010	24601	0,0038
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	0,084	84	0,0010	46201	0,0040
7	р.Бужок-смт Меджибож	698	0,16	106	0,0015	699	0,0035
8	р.Іква-смт Стара Синява	439	0,19	147	0,0013	440	0,0029
9	р.Згар-смт Літин	692	0,17	122	0,0014	693	0,0033
10	р.Рів-с.Демидівка	1130	0,17	125	0,0014	1131	0,0034
11	р.Соб-с.Зозів	92,5	0,46	125	0,0037	93,5	0,0066
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	0,18	118	0,0015	754	0,0036
13	р.Савранка-с.Осички	1740	0,1	68,4	0,0015	1741	0,0039
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	0,23	99	0,0023	1451	0,0060
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	16700	0,13	101	0,0013	16701	0,0046
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,19	86,7	0,0022	2821	0,0062
17	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,24	97	0,0025	2141	0,0067

Продовження дод. Б.3

№	Річка-пост	F,км^2	q1%, м^3/с км^2	Y1%, мм	q1%/Y1%	(F+1)	K_0
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,29	117	0,0025	2231	0,0068
19	р.Кодима-с.Обжила	145	0,091	45,6	0,0020	146	0,0038
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,13	75,9	0,0017	2391	0,0047
21	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0,13	72,2	0,0018	437	0,0040
22	р. Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	1190	0,3	101	0,0030	1191	0,0075
23	р.Інгул-м.Кіровоград	840	0,3	118	0,0025	841	0,0061
24	р.Інгул-с.Седнівка	4770	0,17	79,6	0,0021	4771	0,0064
25	р.Інгул-с.Новогорожене	6670	0,016	102	0,0002	6671	0,0005
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	0,094	54,5	0,0017	1411	0,0044
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	0,073	48,4	0,0015	811	0,0036
28	р.Тилігул-с.Березівка	3170	0,032	42,5	0,0008	3171	0,0021
29	р.Бик-г. Калараш	296	0,072	107	0,0007	297	0,0014
30	Бик-г. Кишинев	930	0,062	134	0,0005	931	0,0011
31	р.Пожарная-с. Сипотени	119	0,1	186	0,0005	120	0,0010
32	р.Ботна-с. Каушени	1210	0,071	89,2	0,0008	1211	0,0020
33	р.Когильник-смт. Котовськ	179	0,071	39,6	0,0018	180	0,0035
34	б.Тараклія-смт.Тараклія	103	0,38	43,2	0,0088	104	0,0161

Додаток. Б.4 - Розрахунок точності побудованої карти-схеми ізоліній коефіцієнту K_0 на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№, п/п	Річка-пост	K_0 р, мм	K_0 к, мм	|Δ|,%
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	0,0025	0,002	20,1
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	0,0036	0,0035	4,05
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	0,0041	0,004	3,57
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	0,0047	0,0045	5,16
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	0,0038	0,004	5,98
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	0,0040	0,004	1,00
7	р.Бужок-смт Меджибож	0,0035	0,003	15,2
8	р.Іква-смт Стара Синява	0,0029	0,003	5,20
9	р.Згар-смт Літин	0,0033	0,0035	7,32
10	р.Рів-с.Демидівка	0,0034	0,0035	3,18
11	р.Соб-с.Зозів	0,0066	0,006	9,61
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	0,0036	0,004	10,8
13	р.Савранка-с.Осички	0,0039	0,004	3,71
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	0,0060	0,006	0,24
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	0,0046	0,0045	1,23
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	0,0062	0,006	2,53
17	р.Ятрань-с.Покотилове	0,0067	0,006	10,5
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	0,0068	0,006	11,2
19	р.Кодима-с.Обжила	0,0038	0,0035	8,25
20	р.Кодима-с.Катеринка	0,0047	0,0045	4,44
21	р.Чичиклія-с.Василівка	0,0040	0,004	0,78
22	р. Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	0,0075	0,006	19,6
23	р.Інгул-м.Кіровоград	0,0061	0,006	1,67

Продовження дод. Б.4

№, п/п	Річка-пост	K_0 р, мм	K_0 к, мм	|Δ|,%
24	р.Інгул-с.Седнівка	0,0064	0,006	6,59
25	р.Інгул-с.Новогорожене	0,0005	0,002	305
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	0,0044	0,0045	1,63
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	0,0036	0,004	11,0
28	р.Тилігул-с.Березівка	0,0021	0,002	6,86
29	р.Бик-г. Калараш	0,0014	0,002	41,8
30	р.Бик-г. Кишинев	0,0011	0,002	77,7
31	р.Пожарная-с. Сипотены	0,0010	0,002	99,6
32	р.Ботна-с. Каушены	0,0020	0,002	0,15
33	р.Когильник-пгт. Котовское	0,0035	0,0035	0,62
34	б.Тараклия-пгт.Тараклия	0,0161	0,01	37,8

Серед =21,8%

Додаток. Б.5 — Розрахунок максимального модулю стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини за формулою (2.84)

№	Річка-пост	F,км^2	Y1%к, мм	(F+1)	K_0	q_m, м^2 / с км^2
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	827	100	828	0,002	0,08
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	130	4001	0,0035	0,15
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	120	9011	0,004	0,15
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	17400	100	17401	0,0045	0,13
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	100	24601	0,004	0,11

Продовження дод. Б.5

№	Річка-пост	F,км^2	Y1%к, мм	(F+1)	K_0	q_m , м^2 / с км^2
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	100	46201	0,004	0,10
7	р.Бужок-смт Меджибож	698	120	699	0,003	0,15
8	р.Іква-смт Стара Синява	439	140	440	0,003	0,19
9	р.Згар-смт Літин	692	120	693	0,0035	0,18
10	р.Рів-с.Демидівка	1130	120	1131	0,0035	0,17
11	р.Соб-с.Зозів	92,5	120	93,5	0,006	0,40
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	120	754	0,004	0,20
13	р.Савранка-с.Осички	1740	70	1741	0,004	0,11
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	100	1451	0,006	0,23
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	16700	100	16701	0,0045	0,13
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	100	2821	0,006	0,21
17	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	100	2141	0,006	0,22
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	100	2231	0,006	0,22
19	р.Кодима-с.Обжила	145	70	146	0,0035	0,13
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	60	2391	0,0045	0,10
21	р.Чичиклія-с.Василівка	436	60	437	0,004	0,11
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	1190	100	1191	0,006	0,24
23	р.Інгул-м.Кіровоград	840	120	841	0,006	0,30
24	р.Інгул-с.Седнівка	4770	80	4771	0,006	0,16
25	р.Інгул-с.Новогорожене	6670	90	6671	0,002	0,06

Продовження дод. Б.5

№	Річка-пост	F,км^2	Y1%к, мм	(F+1)	K_0	q_m, м^2 / с км^2
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	60	1411	0,0045	0,11
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	50	811	0,004	0,08
28	р.Тилігул-с.Березівка	3170	50	3171	0,002	0,04
29	р.Бик-г. Калараш	296	120	297	0,002	0,11
33	р.Когильник-смт. Котовськ	179	40	180	0,0035	0,07
34	б.Тараклія-смт.Тараклія	103	40	104	0,01	0,22

Додаток. Б.6 — Розрахунок точності максимального модулю стоку весняного водопілля на території північно – західної частини Причорноморської низовини (включаючи р. Південний Буг)

№	Річка-пост	F,км^2	q1%, м^3/с км^2	q_m, м^2 / с км^2	$\lvert\Delta\rvert$,%
1	р.Південний Буг-с.Пирогівці	827	0,094	0,08	8,35
2	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	0,17	0,15	15,5
3	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	0,16	0,15	14,7
4	р.Південний Буг-с.Тростянчик	17400	0,1	0,13	12,6
5	р.Південний Буг-с.Підгір'я	24600	0,087	0,11	10,7
6	р.Південний Буг-смт Олександрівка	46200	0,084	0,10	9,90
7	р.Бужок-смт Меджибож	698	0,16	0,15	15,4
8	р.Іква-смт Стара Синява	439	0,19	0,19	19,0

Продовження дод. Б.6

№	Річка-пост	F,км^2	q1%, м^3/с км^2	q_m , м^2 / с км^2	|Δ|,%
9	р.Згар-смт Літин	692	0,17	0,18	17,9
10	р.Рів-с.Демидівка	1130	0,17	0,17	16,8
11	р.Соб-с.Зозів	92,5	0,46	0,40	39,9
12	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	0,18	0,20	20,3
13	р.Савранка-с.Осички	1740	0,1	0,11	10,6
14	р.Гнилий Тікич-смт Лисянка	1450	0,23	0,23	23,3
15	р.Синюха-с.Синюхин Брід	16700	0,13	0,13	12,7
16	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,19	0,21	21,4
17	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,24	0,22	22,1
18	р. Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,29	0,22	22,0
19	р.Кодима-с.Обжила	145	0,091	0,13	12,8
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,13	0,10	9,82
21	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0,13	0,11	10,9
22	р. Гнилий Єланець- с.Женево-Криворіжжя	1190	0,3	0,24	23,9
23	р.Інгул-м.Кіровоград	840	0,3	0,30	30,0
24	р.Інгул-с.Седнівка	4770	0,17	0,16	16,0
25	р.Інгул-с.Новогорожене	6670	0,016	0,06	5,73
26	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	0,094	0,11	10,5
27	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	0,073	0,08	8,37
28	р.Тилігул-с.Березівка	3170	0,032	0,04	3,51
29	р.Бик-г. Калараш	296	0,072	0,11	11,4

Продовження дод. Б.6

№	Річка-пост	F,км^2	q1%, м^3/с км^2	q_m , м^2 / с км^2	|Δ|,%
30	Бик-г. Кишинев	930	0,062	0,11	10,7
31	р.Пожарная-с. Сипотени	119	0,1	0,19	19,3
32	р.Ботна-с. Каушени	1210	0,071	0,08	7,95
33	р.Когильник-смт. Котовськ	179	0,071	0,07	7,13
34	б.Тараклія-смт.Тараклія	103	0,38	0,22	21,9

Серед. =15,4%

Додаток В

Додаток В.1 - Базова інформація (по 2000 р.) для довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля на опорних водозборах річок Причорномор'я

Номер поста	Річка-пост	F, км^2	$f_л$, %	$f_б$, %	φ, в частках град.	S_0, мм	X_{1_0}, мм	X_{2_0}, мм	$(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})$, мм	L_0, см	Y_0, мм	$(C_v)_Y$	σ_Y, мм	$(\delta_{доп})_Y$, мм
204	Мертвовід-с.Крива Пустош	252	2	1	48.0	36	28	26	90	47	22	1.02	21	14
205	Чичиклія-с.Василівка	436	1	0	47.8	41	24	34	99	42	12	1.28	15	10
206	Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	1190	1	1	47.7	36	28	26	90	47	18	1.17	21	14
210	Громоклія-с.Михайлівка	1410	2	1	48.7	36	28	26	90	47	11	1.14	14	9.0

Продовження дод.В.1

Номер поста	Річка-пост	F, км^2	$f_л$, %	$f_б$, %	φ, в частках град.	S_0, мм	X_{1_0}, мм	X_{2_0}, мм	$(S_0 + X_{1_0} + X_{2_0})$, мм	L_0, см	Y_0, мм	$(C_v)_Y$	σ_Y, мм	$(\delta_{доп})_Y$, мм
211	Тилігул-с.Новоукраїнка	810	1	0	47.9	41	24	26	91	42	11	0.99	10	6.9
212	Тилігул-с.Березівка	3170	1	1	47.7	41	24	34	99	42	6.7	1.47	9.2	6.2
213	Ботна-м.Каушани	1210	22	0	46.8	47	25	14	86	32	5.8	1.19	7.0	5.0
214	Когильник-м.Котовськ	179	27	0	46.7	50	19	20	89	32	13	0.63	8.0	6.0
215	Ялпуг-зал.ст.Комрат	241	6	0	46.5	32	20	11	63	40	5.2	1.40	7	5.0
216	Муса-зал.ст.Комрат	83,5	8	0	46.5	35	20	11	66	40	12	1.43	16	11
217	Тараклія-смтТараклія	103	5	0	45.9	29	20	8	57	40	11	1.70	18	12

Додаток В.2- Очікувані шари стоку весняного водопілля на басейнах річок Причорномрської низовини у 2017 – 2018 рр.

№ поста	Річка, пункт	Очікуване значення шару стоку	Р%	δдоп, мм	Інтервал очікуваних значень (-δдоп,мм)	Інтервал очікуваних значень (+δдоп,мм)	Шар стоку у 2017р.	Багаторічні характеристики		
								найбільший	середній	найменший
1	р.Кодима-с.Катеринка	2	75-80	12	0	14	-	115	14	1,8
2	р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка	6	80-90	17,5	0	24	-	120	27	2,1
3	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	3	80-90	14	0	17	-	96	22	1
4	р.Чичиклія-с.Василівка	2	75-80	10	0	12	-	73	12	0,01
5	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	3	75-80	15	0	18	-	88	18	0,2
6	р.Громоклія-с.Михайлівка	2	80-90	8	0	10	-	62	11	0,5

Продовження дод. В.2

7	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	2	80-90	7	0	9	-	46	11	1,3
8	р.Тилігул-с.Березівка	1	70-75	6	0	7	-	42	6,9	0,5
9	р.Ботна-м.Каушани	1	80-90	5	0	6	-	28	5,9	0,1
10	р.Когильник-м.Котовськ	1	99	6	0	7	-	34	13	2
11	р.Ялпуг-з.ст.Комрат	1	80-90	5	0	6	-	29	4,9	0,1
12	р.Муса-з.ст.Комрат	1	80-90	11	0	12	-	55	12	0,5
13	б.Тараклія-смт Тараклія	1	70-75	12	0	13	-	57	8,8	0,15

Додаток В.3 - Базова інформація (по 2000 р.) для довгострокових прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля на опорних водозборах річок Причорномор'я

Номер поста	Річка-пост	F, км^2	$f_л$, %	$f_б$, %	φ, в частках град.	S_o, мм	X_{1_0}, мм	$(S_o+X_{1_0})$, мм	L_o, см	Q_0, м^3/с	q_o, м^3/(с·км^2)	$(C_v)_Q$	σ_{Q_m}, м^3/с	$(\delta_{доп})_{Qm}$, м^3/с
204	Мертвовід-с.Крива Пустош	252	2	1	48.0	36	28	64	47	13.9	0.055	1.59	20.4	13.8
205	Чичиклія-с.Василівка	436	1	0	47.8	41	24	65	42	8.72	0.020	1.18	11.7	7.89
206	Гнилий Єланець-с.Женево- Криворіжжя	1190	1	1	47.7	36	28	64	47	60.4	0.051	1.56	91.5	61.7
210	Громоклія-с.Михайлівка	1410	2	1	48.7	36	28	64	47	23.8	0.017	1.18	27.7	18.7
211	Тилігулс.Новоукраїнка	810	1	1	47,9	41	24	65	42	9,84	0,012	1,25	12,3	8,31

Продовження додатку В3

Номер поста	Річка-пост	F, км^2	$f_л$, %	$f_б$, %	φ, в частках град.	S_o, мм	X_{1_0}, мм	$(S_o+X_{1_0})$, мм	L_o, см	Q_0, м^3/с	q_o, м^3/(с·км^2)	$(C_v)_Q$	σ_{Q_m}, м^3/с	$(\delta_{доп})_{Qm}$, м^3/с
212	Тилігул-с.Березівка	3170	1	1	47.7	41	24	65	42	16.2	0.005	1.46	20.8	14
213	Ботна-м.Каушани	1210	22	0	46.8	47	25	72	32	8.87	0.007	1.74	14.3	9.64
214	Когильник-м.Котовськ	179	27	0	46.7	50	19	69	32	4.73	0.026	0.72	3.34	2.25
215	Ялпуг-зал.ст.Комрат	241	6	0	46.5	32	20	52	40	3.84	0.016	1.83	5.88	3.96
216	Муса-зал.ст.Комрат	83.5	8	0	46.5	35	20	55	40	3.00	0.036	1.13	3.23	2.18
217	Тараклія-смтТараклія	103	5	0	45.9	29	20	49	40	4.00	0.039	2.37	7.50	5.06

Додаток В4- Очікувані максимальні втрати весняного водопілля на басейнах річок Причорноморської низовини у 2017 – 2018 рр.

№	Річка, Пункт	Очікуване значення Qm	P%	Допустима похибка, δдоп.	Інтервал очікуваних значень		Максимальні витрати води у 2017 р.	Багаторічні характеристики		
					-	+		найбільша	середня	найменша
1	р.Кодима-с.Катеринка	5,40	60-70	16,5	0	21,9	3,12	504	36,2	1,4
2	р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка	20,34	75-80	92,3	0	112,6	5,21	578	113	1,87
3	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	2,09	60-70	13,8	0	15,9	-	79,8	13,9	0,24
4	р.Чичиклія-с.Василівка	1,31	75-80	7,9	0	9,2	-	45	8,72	0,14
5	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	9,06	60-70	61,7	0	70,8	-	346	60,4	0,18
6	р.Громоклія-с.Михайлівка	3,57	75-80	18,7	0	22,3	-	93	23,8	0,25

Продовження додатку В4

7	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	1,48	75-80	8,1	0	9,5	-	53,9	9,84	0,59
8	р.Тилігул-с.Березівка	2,27	70-75	14,0	0	16,3	-	86,4	16,9	0,76
9	р.Ботна-м.Каушани	1,33	60-70	9,6	0	11,0	-	61,8	9,53	0,22
10	р.Когильник-м.Котовськ	0,71	97-99	2,3	0	3,0	-	13,7	5,39	0,24
11	р.Ялпуг-з.ст.Комрат	0,46	60-70	4,0	0	4,4	-	25,5	4,21	0,015
12	р.Муса-з.ст.Комрат	0,36	80-90	2,2	0	2,5	-	12,3	3,03	0,04
13	б.Тараклія - смт Тараклія	0,56	50-60	5,1	0	5,6	-	28,1	3,91	0,02