

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

Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра гідрології суші

**Магістерська кваліфікаційна робота**

на тему: Максимальний стік весняного водопілля річок в межах  
степової частини басейну Сіверського Дінця

Виконав магістр 2-го року навчання  
групи МГ- 2  
спеціальності 103 «Науки про Землю»  
освітньо-наукової програми «Гідрологія»  
Гарний Всеволод Володимирович

Керівник д-р геогр. наук, доцент  
Овчарук Валерія Анатоліївна

Консультант \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

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

Одеса 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут  
Кафедра гідрології суші  
Рівень вищої освіти магістр  
Спеціальність 103 «Науки про Землю»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри гідрології суші**

**Д-р геогр. наук, проф. Шакірманова Ж.Р.**  
“ 11 ” березня 2019 року

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

Гарному Всеволоду Володимировичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Максимальний стік весняного водопілля річок в межах степової частини басейну Сіверського Дінця

Керівник роботи Овчарук Валерія Анатоліївна, д-р геогр. наук, доцент,  
( прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “05” жовтня 2018 року №271-С

2. Строк подання студентом роботи 10 травня 2019 р.

3. Вихідні дані до роботи Гідрографічні та морфометричні характеристики, багаторічні ряди спостережень за максимальними витратами води весняного водопілля, шарами стоку та тривалості його припливу

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1) опис фізико-географічних характеристик степової частини басейну Сіверського Дінця; 2) розрахунок статистичних параметрів розподілу часових рядів максимального стоку; 3) визначення величини максимального стоку різної ймовірності перевищення; 4) визначення розрахункових параметрів в структурі операторної формули; 5) визначення та узагальнення по території характеристик схилового припливу; 6) трансформаційні функції максимального стоку весняного водопілля; 7) перевірні розрахунки;

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) графік залежності шарів стоку весняного водопілля одновідсоткової забезпеченості від широти водозбору, карта-схема розподілу по території басейну Сіверського Дінця шарів стоку весняного водопілля одновідсоткової забезпеченості; графік залежності коефіцієнтів нерівномірності руслового стоку від площі водозборів; карта-схема розподілу по степовій частині басейну річки Сіверський Донець тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі в період весняного водопілля; графік залежності трансформаційної функції від часу руслового добігання; графік залежності коефіцієнту русло-заплавного регулювання від площ водозборів

## 6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 11 березня 2019 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Фізико географічна характеристика території та дослідження факторів формування максимального стоку.	11.03-17.03.2019	90	відмінно
2	Аналітичний огляд методів розрахунку максимального стоку весняного водопілля	18.03-28.03 2019	80	добре
3	Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку дощових паводків	29.03-14.04 2019	90	добре
	<b>Рубіжна атестація</b>	<b>15.04-21.04.2019</b>	<b>85</b>	добре
4	Визначення та узагальнення розрахункових параметрів в структурі операторної формули	15.04-21.04 2019	85	добре
5	Перевірні розрахунки характеристик максимального стоку та висновки	22.04-1.05 2019	86	добре
6	Оформлення роботи	1.05-8.05 2019		
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	10.05-13.05.19		
	Підготовка доповіді, презентації	13.05-24.05.19		
	<b>Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)</b>		<b>86</b>	добре

Студент \_\_\_\_\_  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Магістерська робота Гарного Всеволода Володимировича «Максимальний стік весняного водопілля річок в межах степової частини басейну Сіверського Дінця».

**Актуальність.** Степова частина басейну Сіверського Дінця знаходиться в зоні недостатнього зволоження і в останні роки, коли водність річок басейну Сіверського Дінця має тенденцію до суттєвого зниження особливо в нижній його частині, набуває все більшої актуальності оцінка водних ресурсів річок, зокрема в період весняного водопілля. Суттєвого уточнення потребують розрахункові характеристики максимального стоку річок у порівнянні з наведеними у довідково-нормативній літературі 80-х років минулого сторіччя.

**Мета роботи:** обґрунтування параметрів розрахункової методики для визначення максимальних витрат води в період весняного водопілля для річок степової частини басейну Сіверського Дінця.

**Завдання наукової роботи:** провести статистичну обробку початкової інформації, розрахувати основні параметри розрахункової формули і узагальнити їх по території.

**Об'єкт і предмет дослідження.** Об'єктом дослідження є максимальний стік весняного водопілля в річок межах степової частини басейну Сіверського Дінця. Предметом дослідження є обґрунтування параметрів регіональної методики для визначення максимального стоку невивчених у гідрологічному відношенні річок.

**Методи дослідження:** географічне узагальнення, статистична обробка, математичне моделювання.

**Результати їх новизна, теоретичне та практичне значення.** Результатом роботи є: розрахунок статистичних параметрів розподілу часових рядів максимального стоку; визначення величини максимального стоку різної ймовірності перевищення; визначення розрахункових параметрів в структурі операторної формули; визначення та узагальнення по території характеристик схилового припливу. Результаті досліджень публікувались в наукових статтях, та були використані підчас доповідей на семінарах. **Отримані результати** можуть бути запропоновані для випробувального використання регіональним відділенням Держводагентства України.

**Структура і обсяг роботи:** робота складається з 4 розділів, вступу і висновків. Об'єм – 102 стор. ; Рисунків – 20; Таблиць – 14.

Використаних літературних джерел – 31; Додатків – 2.

**Ключові слова:** *максимальний стік, весняне водопілля, тривалість припливу, теорія руслових ізохрон, операторна модель.*

## SUMMARY

Master's work by Harnyi Vsevolod «Maximum River Runoff during Spring Flood within the Steppe Part of the Siverskyi Donets Basin».

**Topicality.** The steppe part of the Siversky Donets Basin is located in a zone of inadequate moistening and in recent years, when the wateriness of the rivers in the Siversky Donets basin tends to a significant reduces, especially in the lower part of it, the assessment of water resources of rivers, in particular during the spring flood, is becoming increasingly relevant. Essential clarification requires calculation characteristics of the maximum runoff of rivers compared with those given in reference normative literature 80-ies of the last century.

**Objective:** Justification of the parameters of the calculation method for determining the maximum water discharges during the spring flood for the rivers of the steppe part of the Seversky Donets basin.

**Research Objectives:** to carry out a statistical processing of the initial information, to calculate the basic parameters of the calculation formula and to summarize them in the territory.

**The object and subject of study.** The object of the study is the maximum runoff of spring flood within the steppe part of the Siversky Donets basin. The subject of the study is the justification of the parameters of the regional methodology for determining the maximum runoff of ungauged rivers.

**Methods:** geographic generalization, statistical analysis, mathematical modeling.

**The results of their novelty, theoretical and practical.** The work is: the calculation of the statistical distribution parameters of time series maximum flow; the determination of the maximum flow of different probability of exceedance; determine design parameters in the structure of formula operator; identifying and summarizing the territory overland inflow characteristics. **The results obtained** can be recommended for trial use in the regional departments of the State Waters Agency of Ukraine

**The structure and scope of work:**

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

Volume – 102 pages.; Figures – 20; Tables - 14

References - 31

Appendices – 2

**Keywords:** *maximum runoff, spring floods, duration of slope influx, theory isochronous channel, operator model.*

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
1. Коротка фізико-географічна характеристика степової частини басейну р. Сіверський Донець.....	9
1.1 Геологічна будова і рельєф.....	10
1.2 Карст.....	12
1.3. Ґрунти і рослинність.....	12
1.4 Коротка кліматична характеристика .....	21
1.5 Водний режим і гідрологічна вивченість.....	24
2. Аналітичний огляд методів розрахунку максимального стоку весняного водопілля.....	30
2.1 Класифікація розрахункових формул максимального стоку...	30
2.2 Редукційні формули .....	31
2.3 Об'ємні формули.....	37
2.4. Генетична формула А.М.Бефані.....	41
2.5 Формули Й.А.Железняка, В.І.Мокляка .....	45
2.6 Обґрунтування розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку з річкових водозборів в басейні Сіверського Дінця.....	50
3. Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля та їх узагальнення у межах території степової частини басейну Сіверського Дінця.....	55
3.1 Загальні положення.....	55
3.2 Дослідження циклічності максимального стоку весняного водопілля річок степової частини Сіверського Дінця.....	61
3.3 Визначення статистичних характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні степової частини Сіверського Дінця.....	64

3.4	Узагальнення шарів стоку весняного водопілля в басейні степової частини Сіверського Дінця.....	70
4.	Обґрунтування основних параметрів регіональної методики для визначення максимального стоку невивчених річок в межах степової частини басейну Сіверського Дінця.....	73
4.1	Визначення складових максимального модуля схилового припливу.....	73
4.2	Обґрунтування редуційних функцій, які враховують форму водозборів, динаміки припливу води зі схилів до руслової мережі та русло-заплавне регулювання.....	83
4.3	Перевірка адекватності запропонованої регіональної методики матеріалам спостережень.....	88
	ВИСНОВКИ.....	91
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	93
	ДОДАТКИ.....	97
	Додаток А.....	98
	Додаток Б.....	99

## ВСТУП

Водні ресурси р. Сіверський Донець задовольняють потреби у воді великих промислового та сільськогосподарського комплексу, що розвинувся у східних областях України. Визначення максимального стоку в досліджуваному басейні дозволяє провести оцінку розподілу водних ресурсів упродовж лімітуючого періоду на потреби існуючих водогосподарських комплексів цієї частини басейну. Зокрема, оцінка граничних значень максимальних модулів стоку під час проходження весняного водопілля є досить актуальним завданням, оскільки в окремі роки тут можуть спостерігатися високі водопілля з підйомом рівня до 1,5 м/добу, які можуть призвести до підтоплення сільськогосподарських угідь, населених пунктів та ін.

В першій частині магістерської роботи наведена коротка фізико-географічна характеристика степової зони басейну річки Сіверського Дінця.

Друга частина присвячена аналітичному огляду існуючих методів розрахунку характеристик максимального стоку при відсутності гідрометеорологічних спостережень.

У третій частині представлені результати статистичної обробки та узагальнення інформації по максимальному стоку весняного водопілля.

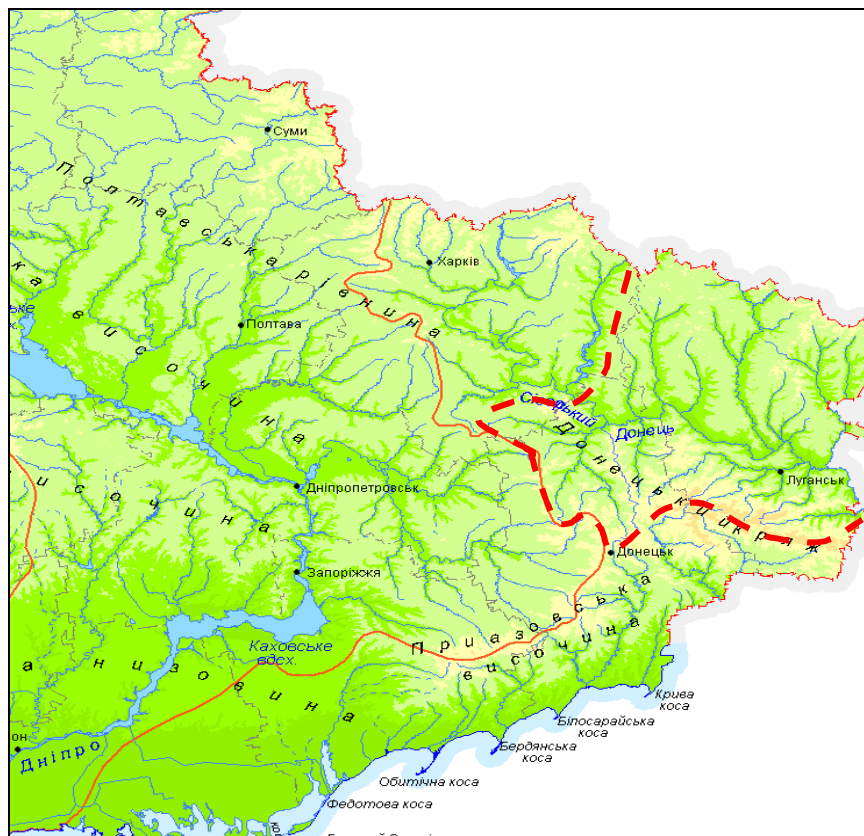
Заключна четверта частина присвячена визначенню граничних максимумів схилового припливу підчас весняного водопілля в степовій частині Сіверського Дінця на базі операторної моделі Є.Д.Гопченко, а також трансформаційних функцій.

Результати магістерської роботи представлялись на конференції молодих вчених ОДЕКУ у 2018 році, а також на міжнародній конференції «Высокие научные цели 2018» 11-12 грудня 2018р., Білорусь, за результатами конференції опублікована наукова стаття в журналі *Modern scientific researches*. Vol. 6, який входить до наукометричної бази Copernicus.



## 1.Коротка фізико-географічна характеристика степової частини басейну р. Сіверський Донець

Басейн річки Сіверський Донець розташований на південних схилах Середньоруської височини та на північних схилах Донецького кряжа. В даній магістерській роботі розглядається середня (степова) частина басейну Сіверського Дінця в межах України (рис.1.1).



— — — — — - межа досліджуваної території

Рис. 1.1 Карта - схема географічного положення басейну Сіверський Донець[1].

У середній течії від м.Ізюм до ст.Гундоровської ширина річки становить до 80-100м, вона протікає по широкій заплаві, покритої лісом, озерами і староріччями. Особливо багато озер на другий борової терасі, яка місцями сягає ширини 10-12 км. Нижче м.Каменськ до ст.Усть-Бистрянська Сіверський Донець перетинає Донецький кряж, протікаючи по вузькій долині, утворюючи високі скелясті береги. Після виходу з Усть-Бистрянської тіснини долина річки

значно розширюється. Лівий берег високий крутий правий - пологий. У нижній течії до гирла русло річки перегороджено 6 греблями, які значно спотворюють природний водний режим.

Територія досліджуваного району до сучасного гідрографічного районування території України знаходиться в межах річкового басейну Дону, суббасейн №8 - р. Сіверський Донець (рис 1.2.).

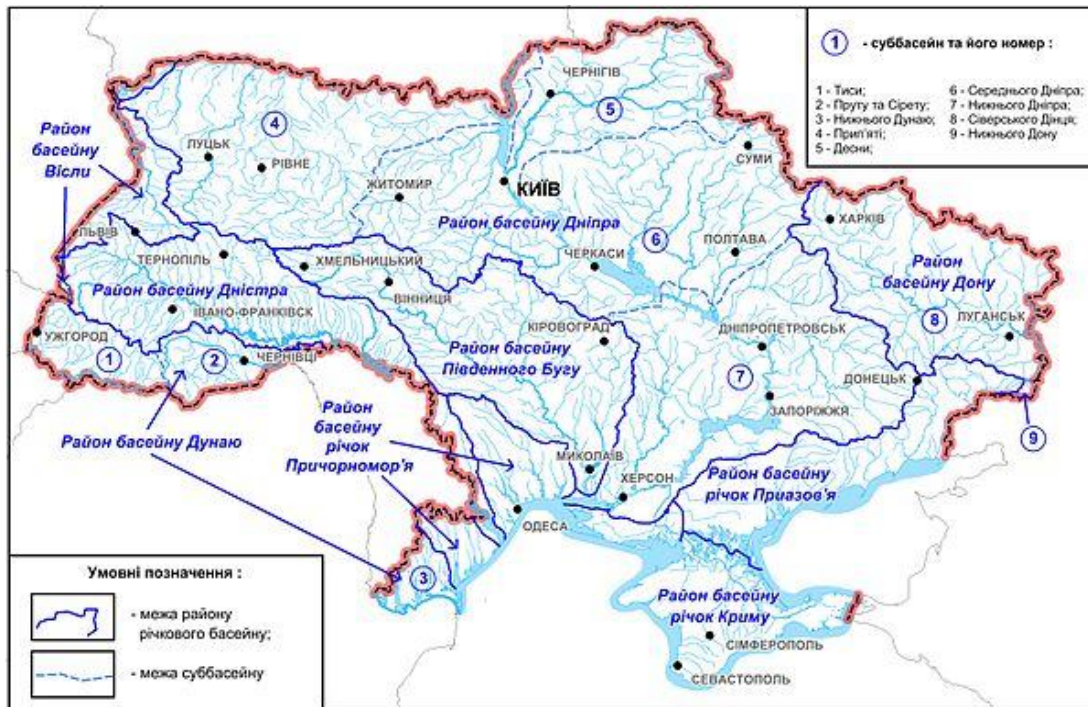


Рис. 1.2 – Гідрографічне районування території України [2]

### 1.1.Геологічна будова і рельєф

*Рельєф.* Сіверський Донець і його найбільші лівобережні притоки (річки Нежеголь, Вовча, Оскіл, Красна, Айдар, Деркул, Калитва) беруть свій початок на південно-західних і південних схилах Середньоросійської височини; його менш значні праві притоки (річка Сухий Торець, Казенний Торець, Лугань, Кам'янка, Кундрюча) стікають із західних, північних і східних схилів Донецького кряжу (рис.1.1).

Описувана територія розташована в межах трьох геоморфологічних областей [3]:

I. Структурно-денудаційні рівнини південного і південно-західного схилів Середньоросійської височини і територій, прилеглих до західних і північних околиць Донбасу (Полтавське і Придонецьке плато);

II. Структурно-денудаційних області Донецького кряжа;

III. Структурно-денудаційних області Приазовської піднесеності.

Донецький кряж як структурно-денудаційна геоморфологічна область обмежена на півночі долиною Сіверського Дінця, його північно-західна межа проходить по р. Казенному Торці, південно-східна межа - між долинами річок Бистої та Сіверського Дінця, західна межа - по крайнім західним виходам порід кам'яновугільного віку від гирла р. Бик до крайніх північних оголень кристалічних порід Приазовського кристалічного масиву в долині р. Кашлагач у с.Микільське.

На північ і південь від центральної частини зростає розчленованість рельєфу і він починає набувати скульптурно-тектонічний характер.

Більшість річкових долин Донецького кряжа мають заплави і дві надзаплавні тераси, які, проте, зазвичай виражені в рельєфі недостатньо чітко. Заплавна тераса має незначну ширину, що пов'язано зі значною глибиною врізу русла. На її поверхні часто спостерігаються неправильної форми скупчення піску, вона прорізається численними старицями, місцями заболочена. Друга тераса донецьких річок виділяється тільки на окремих ділянках річкових долин, має ширину не більше 1-1,5 км, частіше менше 100 м, складена суглинним і гальковим матеріалом, хоча зустрічається і її ерозійний варіант.

Третя тераса зустрічається рідко і в більшості випадків є ерозійною.

На схилах долин значним поширенням користуються терасовидні розширення, утворені залившимися конусами виносів, і структурні тераси.

## 1.2. Карст

Типові карстові ландшафти поширені в басейні Сіверського Дінця вкрай рідко насамперед через щодо малих розмірів площ виходів добре карстуючихся вапняків карбонату і неогену, кам'яної солі і гіпсоангідритів нижньої пермі і розчленованості рельєфу як на цих виходах, так і на значних територіях, складених мело-мергельної відкладеннями верхньої крейди. Закарстованість останніх навіть на виположених поверхнях зазвичай відрізняється відсутністю великих і глибоких карстових воронок, зяючих шахт і колодязів, а також незліченних форм карстового мікрорельєфу. Широкий розвиток піщано-глинистих утворень, що перекривають карсту породи, не сприяє швидкому поглинанню поверхневого стоку на всій площі закарстованих водозборів.

Хімічне вивітрювання карбонатних і сульфатних порід, яка сприяє розвитку карсту в цих умовах, відбувається головним чином уздовж найбільш часто зволжуваних систем тріщинуватості [3,4,5].

Карстові просадочні форми, пов'язані зі штучним вилуговуванням соляних пластів і не приурочені до долинної мережі, під впливом атмосферних опадів, що випадають на їх мікро- і мезоводосбори, піддаються подальшим деформаціям. Вони носять характер опливно-зсувного переміщення нестійких мас на схилах таких форм.

Завдяки постійному зіткненню поверхневих вод з тріщинами в вапняках, гіпсоангідритах і крейдо-мергельних породах в окремих формах цього рельєфу створюється типовий для басейну частковий перехід поверхневих вод в тріщино-карстові, а також відзначається явище вилуговування соляних товщ.

## 1.3. Ґрунти і рослинність

*Ґрунти.* Басейн Сіверського Дінця поділяється на три суттєво відмінні частини: 1) верхню (північну) - лісостепову, 2) середню правобережну Кряжева (власне Донбас) і 3) середню лівобережну (Задонецькому).

Північна частина басейну Сіверського Дінця простягається від верхів'їв до гирла р. Оскола і далі на захід, приблизно до гирла р. Берестовий. Це типово лісостепова найбільш зволожена частина басейну, що відноситься до північно-східного схилу Дніпровсько-Донецької геологічної структури-западині і лише частково (в південно-західному куті) до її найбільш глибокої осьової зони [3].

В межах описуваного району корінні породи в ґрунтоутворенні істотної ролі не грають. Вирішальна роль в цьому відношенні належить четвертинним відкладенням. Район майже цілком розташований на схилі Середньоросійської височини, гіпсометричний рівень якої поступово знижується на захід і північний захід. Це піднесена рівнина з досить характерним для неї водно-ерозійним типом мезорельєфа.

Сірі і світло-сірі опідзолені ґрунти на описуваній території поширені мало. Займають вони зазвичай невеликі ділянки і при тому переважно на найбільш еродованих територіях, які в минулому були зайняті корінними дібровний лісами. Це найбільш сильно опідзолені ґрунти зони, які не виявляють ознак чорноземної фази. Тому їм властиві не завуальовані залишковими чорноземними ознаками основні якості і властивості, притаманні справжнім лісовим ґрунтам. Правда, вони своєрідні і багато в чому відрізняються від своїх, на північ від розташованих аналогів - дерново-підзолистих ґрунтів в зв'язку з помітно відмінними умовами їх залягання (м'якший і більш сухий клімат, карбонатність материнських порід і т. д.).

У складаючих дану групу сірих і світло-сірих ґрунтів багато спільного. Відрізняються вони лише тим, що у світло-сірих опідзолених ґрунтів є добре виражений суцільний майже безгумусовий елювіальний (підзолистий) горизонт, відсутній у сірих. Інші ознаки у них майже повністю збігаються, ідентичні вони і в агрономічному відношенні (рис.1.3).

Доволі частими є на терасі і дерново-слабопідзолисті (рідше дерновосередньоподзолені) глинисто-піщані ґрунти. Ділянки, покриті лесовидними супісками, виділяються сірими опідзоленими ґрунтами, мало чим

відрізняються від своїх аналогів, що залягають на корінному плато. Переважна частина території таких терас - абсолютно лісові угіддя[3].

У Задонецькому степу значні площі займають еродовані землі. Корінне плато цього району розчленоване древньою добре виробленою балочною мережею. Балки тут, як правило, сильно протяжні, глибокі, схили їх місцями навіть терасували. Вони глибоко врізані, перетинаючи не тільки четвертичну (лесові) товщу, але і нижче залягають палеогенові відкладення, а також і крейдяні породи, які зазвичай оголюються на схилах кожної більш-менш великої балки.

Досить яскраво проявляється особливістю покриву корінного плато Задонецькому степу є наявність на схилах і сильноеродованих вододілах солонцюватих і мочаристих ґрунтів, солонцюватих лугових чорноземів і навіть справжніх солонців (коркових і дрібних). Це пов'язано або з виходами засолених дочетвертинного порід (переважно піщано-глинистих відкладень харківського ярусу і неогенових глин), або з виклинцюванням засолених пластових вод.

Ґрунтовий покрив лесових терас майже суцільно чорноземний. Залягають на них чорноземи відрізняються від сусідніх більш коротким профілем, меншою гумусністю, більшою пилювато-механічного складу, а нерідко і солонцюватістю (зазвичай в притерасових пониженнях). На таких терасах відсутні або майже відсутні еродовані ґрунти, але зате досить частині западини, зазвичай осолоділі і солонцюваті ґрунти, які надають ґрунтовому покриву дрібну плямистість (мікрокомплексність).

На широко представлених тут піщаних терасах зазвичай домінують слабкогумусовані дернові слаборозвинені і розвинені піщані ґрунти, які поєднуються з плямами голих, сильно дефліруємих ґрунтів. Значно рідше, зазвичай в перехідній до сусідньої лесовому терасі смузі, залягають більш потужні піщані чорноземи, складові фонд розорювати земель на даній терасі.

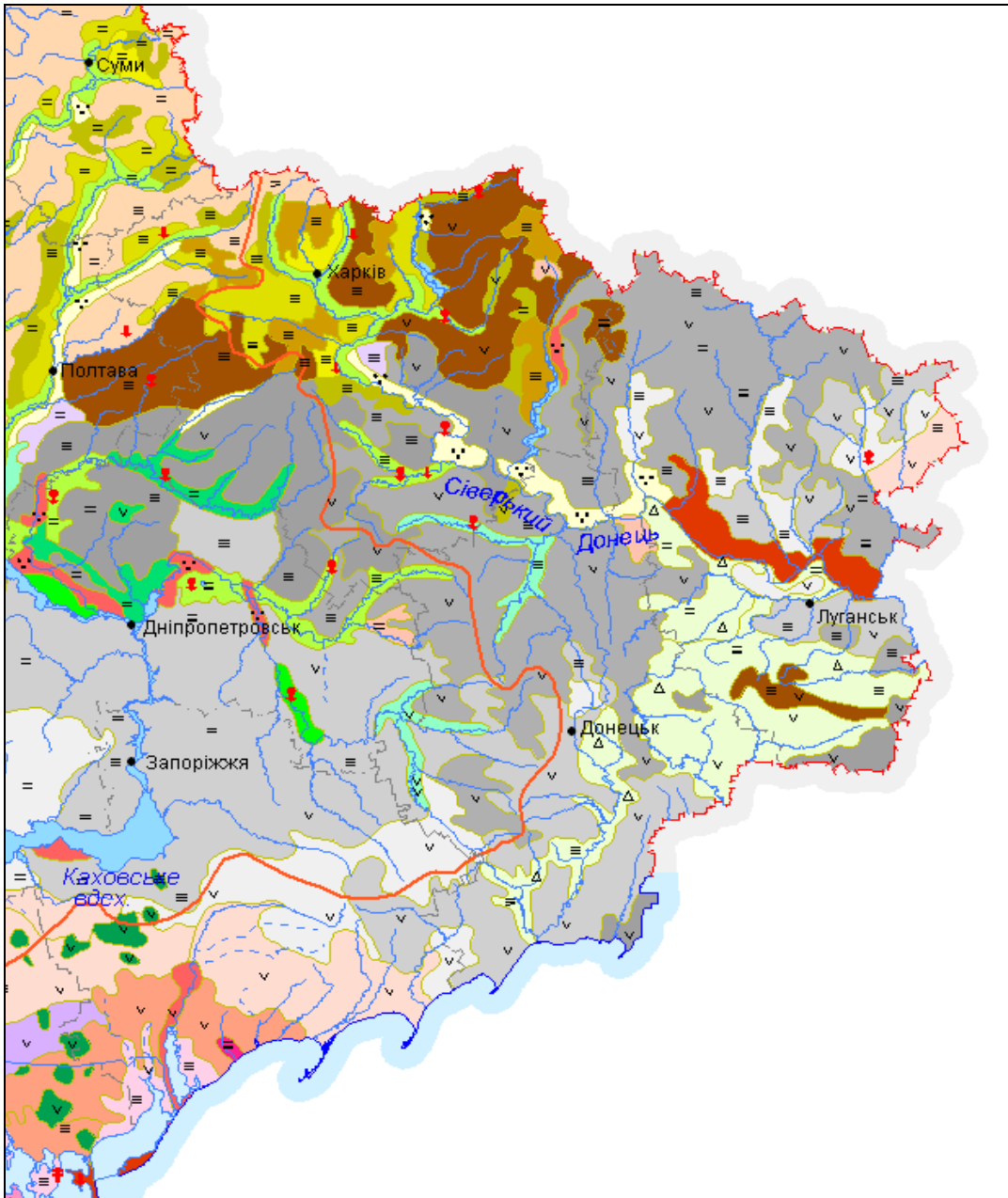




Рис.1.3 - Карта-схема ґрунтів басейну Сіверський Донець[1]


*Умовні позначення:*

*Типи ґрунтів*


**Дерново-підзолисті ґрунти на давньоалювіальних та водно-льодовикових відкладах**

- 1  Дерново-слабопідзолисті піщані і глинисто-піщані ґрунти  
 2  Дерново-середньопідзолисті супіщані ґрунти

**Опідзолені ґрунти (незмиті та змиті) переважно на лесових породах**

- 7  Чорноземи опідзолені


**Реградовані ґрунти (незмиті та змиті) переважно на лесових породах**

- 8  Темно-сірі реградовані ґрунти


9  Чорноземи реградовані

**Чорноземи типові (незмиті та змиті) на лесових породах**


10  Чорноземи типові малогумусні та слабогумусовані

11  Чорноземи типові середньогумусні

**Чорноземи звичайні (незмиті та змиті) на лесових породах**

12  Чорноземи звичайні глибокі мало- й середньогумусні

13  Чорноземи звичайні середньогумусні

14  Чорноземи звичайні малогумусні

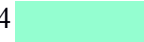
**Чорноземи південні (незмиті та змиті) на лесових породах**

16  Чорноземи південні малогумусні та слабогумусовані


**Лучно-чорноземні ґрунти переважно на лесових породах**


22  Лучно-чорноземні ґрунти

23  Лучно-чорноземні поверхнево-солонцюваті ґрунти

24  Лучно-чорноземні глибокосолонцюваті ґрунти

**Дернові ґрунти**

34  Дернові переважно оглеєні піщані, глинисто-піщані та супіщані ґрунти в комплексі зі слабогумусованими пісками

35  Дернові піщані та глинисто-піщані переважно неоглеєні ґрунти в комплексі зі слабогумусованими пісками й чорноземними піщаними ґрунтами, подекуди з кучугурним рельєфом

36  Дернові опідзолені суглинисті ґрунти та оглеєні їх види

**Механічний склад ґрунтів**

▪▪ Піщані та глинисто-піщані

/ / Супіщані

— Легкосуглинкові

≡ Середньосуглинкові

≡≡ Важкосуглинкові

∨ Глинисті

△ Щебенюваті

**Засолення ґрунтів**

↓ Содове

⚡ Хлоридно-сульфатно-содове

⚡ Хлоридно-сульфатне



Заплави річок так само, як і в лісостеповій частині басейну, характеризуються дуже багатим, високо родючим ґрунтовим покривом, придатним під вельми інтенсивні види сільськогосподарського використання.

Лучно-болотні та болотні ґрунти, теж, переважно засолені і солонцюваті, займають значно менше площі.

*Рослинність.* Відповідно до геоботанічного районування територія басейну Сіверського Дінця розташована в двох областях. Північна менша частина частково входить до складу Верхньо-Донський (східна частина) і Середньо-Дніпровської підпровінції Східно-Європейської провінції Європейсько-Сибірської лісостепової області (табл.1.1)

Інша частина описуваного району розташована в Східно-Європейській (понтійською) провінції Євразійської степової області. Річка Сіверський Донець є, кордоном між Чорноморсько-Азовської і Середньо-Донський під провінції [3].

Вся територія басейну Сіверського Дінця розташовується в двох зонах - лісостеповій та степовій. Кордон між ними проходить (із заходу на схід) по лінії Старовірівки, на південь від Змієва, - Балаклія-Куп'янськ і на північ по долині р. Оскол, а далі повертає на Валуйки і Олексіївку.

У Степовій зоні розташовується нижня і частково середня частина басейну Сіверського Дінця. Карта рослинності басейну Сіверського Дінця представлена на рис.1.4.

Для Старобільського округу є характерним наявність різнотравно-типчакowo степів, байрачних лісів та рослинності крейдяних відкладень, а для округу Донецького кряжа - різнотравно-типчакowo-ковилових петрофільних степів, лугових степів, байрачних перелісків і рослинності кам'янистих відкладень.

Таблиця 1.1 – Геоботанічне районування басейну р. Сіверський донець [3]



НАЙМЕНУВАННЯ ЗОН	ДІЛЯНКА
<b>А. Лісостепова</b>	<p><b>I.</b>Харьковско-Белгородський округ лугових степів, дубових, липово-дубових і дубово-соснових лісів</p> <p><b>II.</b>Оскольській округ лугових степів, дубових лісів і рослинності крейдяних відслонень.</p>
<b>Б. Степова</b>	<p><b>III.</b>Левобережний-Придонецькому (Старобільський) округ різнотравно-типчакowo степів, байрачних лісів та рослинності крейдяних відкладень.</p> <p><b>IV.</b>Округ Донецького кряжа різнотравно-типчакowo-ковилових петрофільних степів, лугових степів, байрачних перелісків і рослинності кам'янистих відкладень</p>





Рис.1.4- Карто-схема рослинності в басейні р.Сіверський Донець [1]


**Умовні позначення:**

**Східноєвропейські соснові та широколистяно-соснові ліси**



- |    |   |   |
|----|---|---|
| 9  |  | <i>Лісостепові, степові соснові та дубово-соснові</i>                             |
| 10 |  | <i>Сільськогосподарські угіддя на місці лісостепових, степових соснових лісів</i> |

**Східноєвропейські широколистяні ліси**

- |    |   |  |
|----|---|--|
| 23 |  | <i>Середньоросійські дубові та липово-дубові</i> |
| 24 |  | <i>Байрачні дубові</i>                           |





- 25  Сільськогосподарські угіддя на місці байрачних дубових лісів

### **Південноєвропейські широколистяні ліси**



- 26  Кримські гірські й передгірні дубові ліси з дуба пухнастого в поєднанні з шибляком
- 27  Сільськогосподарські угіддя на місці гірських і передгірних дубових лісів з дуба пухнастого в поєднанні з шибляком

### **Степи і сільгоспугіддя на їхньому місці**


#### **Багато- і різнотравно-типчаково-ковилові степи**

- 29  Сільськогосподарські угіддя на місці:  
а) приазовсько-причорноморських;  
б) донецько-середньодонських степів
- 30  Сільськогосподарські угіддя на місці петрофітних донецьких степів
- 31  Сільськогосподарські угіддя на місці гемісамофітних степів
- 32  Псамофітні степи:  
а) дніпровські;  
б) донецько-донські

#### **Позаплавні луки**

- 36  Причорноморські позаплавно-осоково-злакові та різнотравно-злакові галофітні луки в поєднанні з сільськогосподарськими угіддями
- 37  Лучно-степові, лучні та лучно-болотяні угруповання подів

#### **Рослинність заплав**

- 38  Заплавні луки і лучні степи в поєднанні з лісами, чагарниками, болотами й сільськогосподарськими угіддями:  
а) подільські лісові торфовисті, справжні та болотисті луки;  
б) дніпровські лісостепові лучні степи, справжні торфовисті остепнені та засолені луки;  
в) причорноморські лучні степи, остепнені і галофітні луки

#### 1.4 Коротка кліматична характеристика

Територія району характеризується своєрідним кліматичним режимом, який формується під впливом загальних і місцевих кліматоутворюючих чинників: сонячної радіації, циркуляції атмосфери, впливу підстильної поверхні землі. Достатня віддаленість від океану, великі рівнинні простори, що оточують басейн з усіх боків, істотно змінюють характеристику приходячих сюди повітряних мас, надаючи їм нові властивості. За своїм географічним положенням досліджуваній район знаходиться під впливом повітряних мас, які прийшли з Атлантики, Арктичного басейну або сформувалися над великими континентальними територіями Євразії[3,6].

У холодний період року переважає роль циркуляційного чинника; вплив радіаційного фактора зменшується внаслідок відносно малої висоти сонця над горизонтом, невеликої тривалості дня, значною хмарності.

Перехід до холодного періоду пов'язаний з початком вторгнень арктичного повітря, що обумовлює різкі й значні похолодання, перші морози і сніг. Повторюваність і інтенсивність цих вторгнень поступово збільшується, досягаючи максимуму взимку.

Відмінною особливістю зими на досліджуваній території є часті відлиги, викликані переміщенням на Україну циклонічних утворень з Атлантики, Середземного або Чорного морів.

У теплий період року підвищується роль радіаційного чинника і впливу підстильної поверхні землі. Циркуляція слабшає у міру зменшення температурних контрастів між морем і сушею. За умовами циркуляції початок теплого періоду пов'язано з ослабленням північно-східних і східних впливів. Навесні вони обумовлюють ще «повернення холоду», при яких спостерігаються різкі похолодання і заморозки. Влітку безпосередні вторгнення арктичного повітря майже повністю припиняються.

Основні опади випадають з фронтальних розділів, пов'язаних з циклонами і улоговинами, що переміщаються, як і в холодний період, із заходу.

Вони викликають рясні зливи і зниження температури, переважно в північних районах.

Розташовані на території височини істотно впливають на кліматичні умови. З підвищенням висоти місцевості знижується температура повітря, збільшується повторюваність краплиннорідких опадів і туману, зростає швидкість вітру. Характер рельєфам і наявність глибоких річкових долин позначається і на напрямку вітру. В цьому відношенні особливо виділяється Донецький кряж[6].

*Температура повітря.* Температурний режим басейну Сіверського Дінця нестійкий. Різниця між середніми багаторічними температурами в північних і південних районах території досягає 5 ° і більше (табл.1.2).

Таблиця 1.2 - Середня місячна і річна температура повітря (°C) на стаціях в межах басейну р. Сіверський Донець[7]

Станція	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Рік
Харків	-7,0	-5,7	-0,3	8,9	15,6	19,0	20,4	19,5	14,1	7,3	1,3	-3,3	7,5
Луганськ	-5,9	-4,8	0,8	10,0	16,3	19,9	21,7	20,6	15,0	7,9	2,4	-2,2	8,5

Найхолодніший місяць року - січень. Середні місячні температури на півночі району в січні -8,0, -9,0 °. У центральній частині вони підвищуються до -6,0, -7,0 °.

Мінімальні температури спостерігаються в центральній частині району. Абсолютні мінімуми досягають тут -38,0, -42,0 °

Починаючи з січня спостерігається спочатку незначне, а в квітні-травні більш істотне підвищення температури. Найінтенсивніший ріст температури відбувається від березня до квітня, що досягає на більшій частині території 9-10 ° C за місяць.

У теплий період року циркуляція ослаблена. Температурний режим формується головним чином за рахунок прогріву повітря в розмитих областях підвищеного або зниженого тиску, тому він більш стійкий в порівнянні з

холодним періодом. Циклони і улоговини, що проходять із заходу або північного заходу - з Атлантики, викликають зниження температури в північній частині басейну Сіверського Дінця. У зв'язку з цим середні багаторічні температури тут нижчі, ніж на решті території.

У самому теплому місяці року - липні на півночі температури складають 19,0-20,0 °, на південь вони зростають до 21,0-23,0 °. Розподіл максимальних температур по території нерівномірно: Абсолютні максимуми коливаються по всіх басейнах в межах від 36,0 до 43,0°C. Середня багаторічна річна температура становить 5,0-6,0 °C.

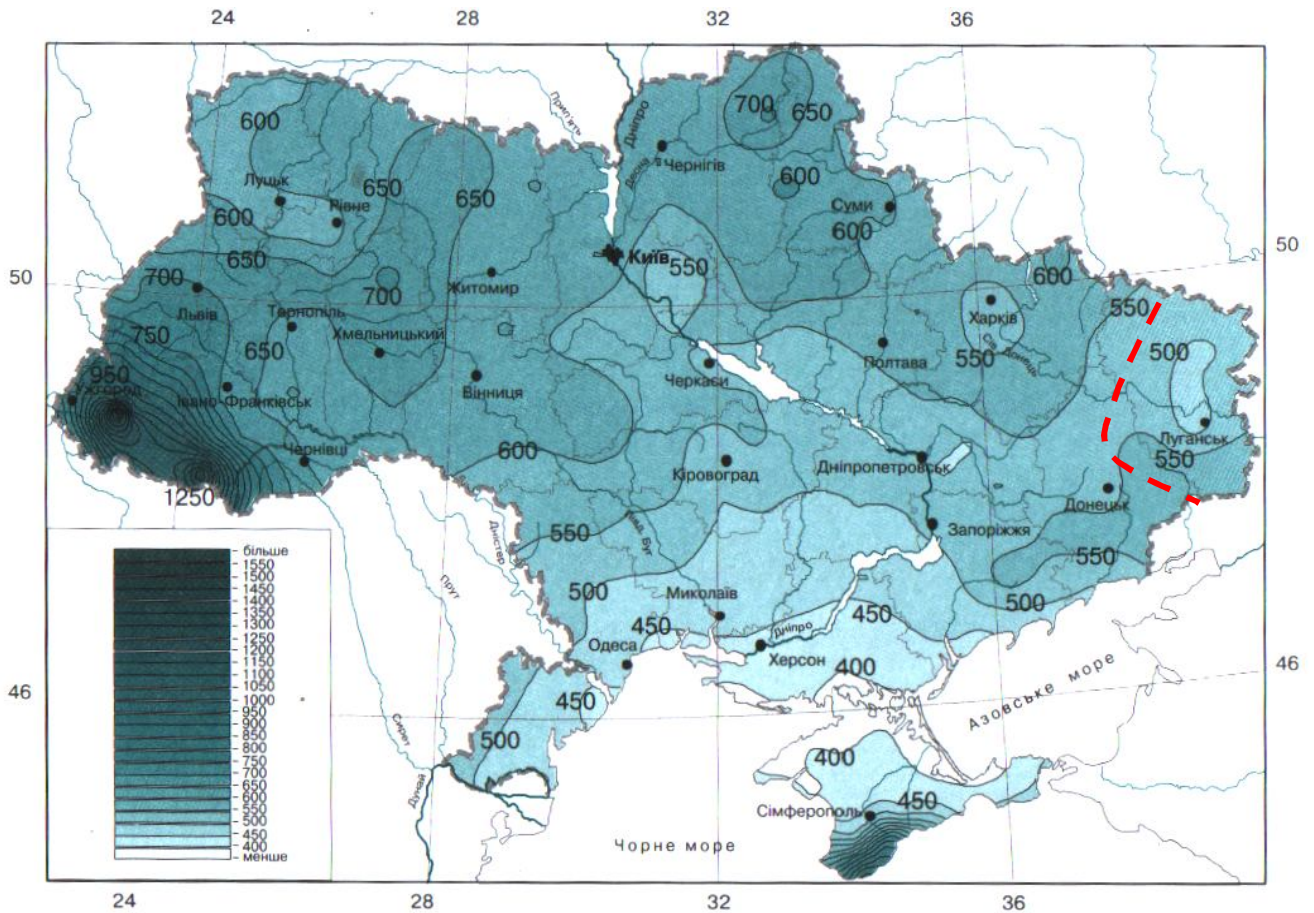
За початок весни береться стійкий перехід середньої добової температури повітря через 0 °. Перш за все він відбувається на півдні - в першій декаді березня, потім протягом місяця поширюється на всю решту території. На півночі басейну перехід температури через 0 ° відбувається останніх числах березня[3,6].

Перехід середньої добової температури через 5 ° навесні на більшій частині території спостерігається в першій декаді квітня і лише на півночі - у другій декаді квітня.

*Опади.* Атмосферні опади відіграють істотну роль в гідрологічному режимі, в процесі формування стоку річок. Опадам властива велика мінливість в часі і по площі.

На розподіл річних сум опадів по території впливають циркуляційні особливості і рельєф місцевості. Досліджувана територія найбільш часто виявляється під впливом південних циклонів і Чорноморської депресії, викликають опади переважно у центральних районах. На північній околиці басейну Сіверського Дінця часто випадають опади, пов'язані із західними і північно-західними циклонами і їх балками. Цей район є найбільш зволеним.

На півночі басейну в районі відрогів Середньоросійської височини річна сума опадів перевищує 500 мм (рис.1.5). У багатоводні роки тут випадає до 750 мм опадів.



--- - межа досліджуваної території

Рис.1.5 - Середня річна кількість опадів на території України, мм[6].

Максимум опадів буває в червні або в липні (60 - 70 мм), мінімум - в лютому або в березні. У напрямку на південний схід кількість опадів зменшується. У середній і нижній частинах лівобережжя Сіверського Дінця випадає за рік 450 мм опадів і менш. Річний максимум опадів тут спостерігається в червні (50-60 мм), мінімум - у вересні. Річна амплітуда в межах 25 мм.

### 1.5. Водний режим і гідрологічна вивченість

За характером живлення Сіверський Донець належить до типу річок переважно снігового живлення. Частка останнього становить близько 60% річного стоку. Разом з тим значну роль в живленні Сіверського Дінця відіграють



підземні води, частка яких становить близько 33% річного стоку. Дощові води в малому ступені беруть участь в живленні річки [3].

Основна фаза в режимі річки - весняне водопілля. Воно починається в березні-квітні. Природний хід рівнів кілька спотворений греблями. Весняна повінь на Сіверському Дінці дуже часто носить досить бурхливий характер, що пояснюється швидким розвитком весни на території басейну витягнутому в широтному напрямку. Літня межень порівняно стійка. Осінні паводки відсутні. Амплітуда рівнів зростає від 5 м у м.Чугуїва до 10м у м.Каменська[8].

Як добре ілюструє рис.1.6., середня степова частина басейну Сіверського Дінця відноситься до найвірогіднішої зони можливих повеней на території України у східному регіоні.

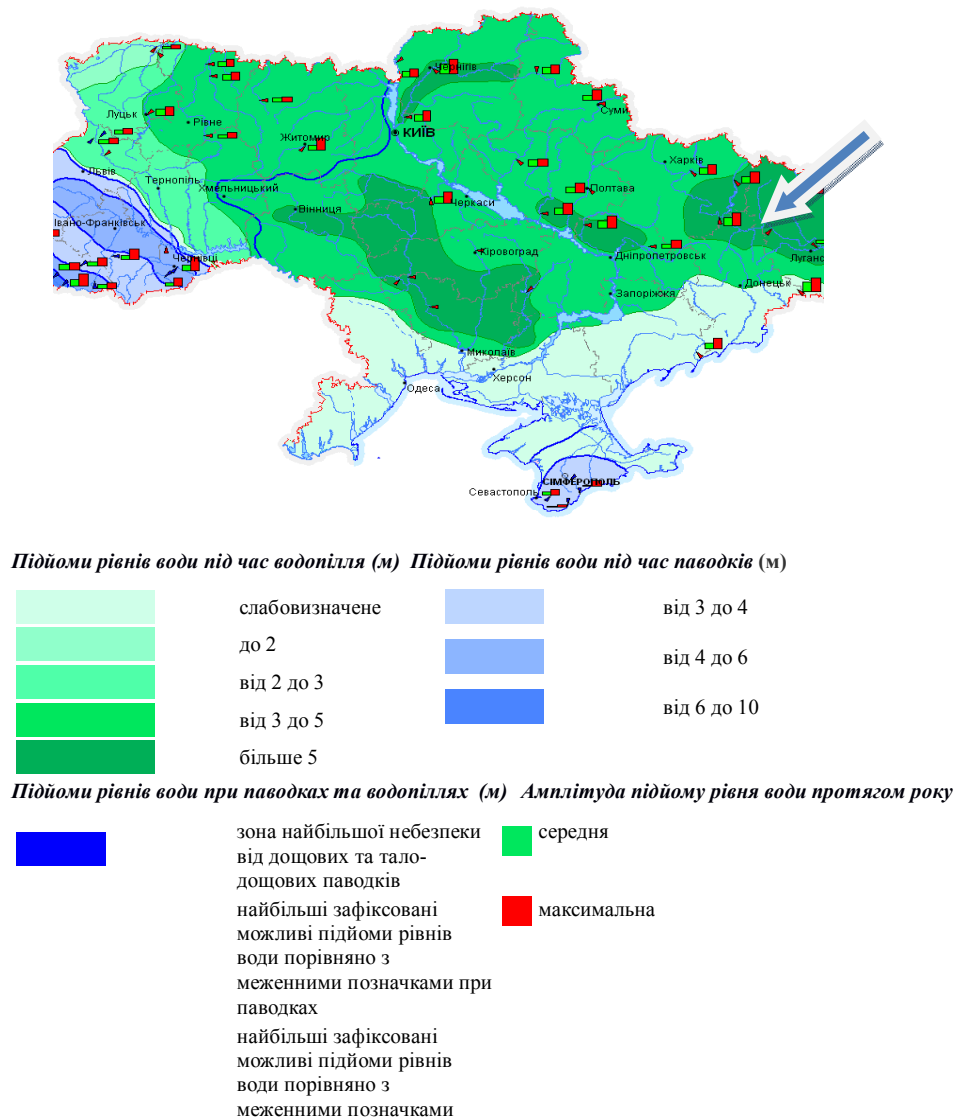


Рис. 1.6 - Максимальний стік річок України [1]

Співвідношення рідких і твердих опадів в різні за водністю роки становить приблизно рівні частини. В середні і маловодні роки тверді опади складають 15-30% річної суми.

В північній, більш зволоженій частині території річки найбільш багатоводні: так, середній модуль стоку р.Оскола у м. Старого Оскола дорівнює  $4.51 \text{ л/скм}^2$  і змінюється в окремі роки від 2.83 до  $7.01 \text{ л/скм}^2$ ; середній модуль стоку Сіверського Дінця у с. Дальні Піски складає  $3.04 \text{ л/скм}^2$  і змінюється від 1.41 до  $4.39 \text{ л/скм}^2$ . К південь водність річок зменшується - середній модуль стоку Сіверського Дінця у м. Лисичанська становить  $2.10 \text{ л/скм}^2$ ; у м Білій Калитви він дорівнює  $1.82 \text{ л/скм}^2$ [3].

В останні роки провідними вченими-гідрологами проведено низки досліджень щодо впливу змін клімату на водний режим річок[9]. Зокрема для басейну Сіверського Дінця, за результатами дослідження[10] характерна тенденція до більш ранніх дат сніготанення та проходження водопілля.

*Льодовий режим.* Льодостав встановлюється в першій половині грудня, у багатьох випадках без льодоходу. Іноді льодохід є уривчастим. Скрисається річка в другій половині березня.

*Наноси.* Каламутність води Сіверського Дінця у гирловій частині досягає  $248 \text{ г/м}^3$ . Найбільша каламутність настає трохи раніше найбільших витрат весняного водопілля. Основний стік зважених наносів проходить у весняні місяці.

*Мінералізація вод Сіверського Дінця* зростає вниз за течією від  $650 \text{ мг/л}$  у м.Змійова до  $1000 \text{ мг/л}$  (взимку) в нижній частині. У верхів'ях серед аніонів переважають  $\text{HCO}_3$ , у м.Лісичанська зміст  $\text{SO}_4$  в меженний період майже порівнюється з  $\text{HCO}_3$ , а взимку перевершує його. Нижче м. Луганська вода Сіверського Дінця переходить до хлоридного класу і зберігає свій склад до гирла [8].

*Гідрологічна вивченість.* Розподіл гідрологічних постів в басейні Сіверського Дінця досить рівномірний, але по окремих річках пости є тільки в гирлових ділянках. Найбільший водозбір, за яким вивчається стік в межах

степової зони - 73200км<sup>2</sup> (Сіверський Донець - Кружилівка), найменший 715 км<sup>2</sup> (р.Лугань- Долинівське). Для розгляду взято дані по 17 пунктам, основні характеристики водозборів наводяться в табл.1.3.

Початок систематичних спостережень над гідрологічним режимом в лісостеповій зоні Сіверського Дінця відноситься до 1923 року - Зміїв, степовій зоні до 1892 році - м. Лисичанськ. . Однак, проводячи загальний аналіз початку роботи в цілому, всіх гідрологічних постів даної території слід виділити загальний період 50-89 рр. Спостереження відсутні за всіма гідрологічним постами за період 1941-1945рр. (ВВВ). Практично всі пункти спостережень діють по повній програмі, так як проводять спостереження за основними елементами гідрологічного режиму рівня води, витрати води, температура повітря.

Як видно з рис.1.7, по території пости розташовані відносно рівномірно. Для розрахунків використані дані спостережень від їх початку до 2015р. включно.

Таблиця 1.3 - Список гідрологічних постів в басейні Сіверський Донець в межах степової зони

№	Річка - пост	F, км <sup>2</sup>	L, км	I <sub>ср</sub> , ‰	H <sub>ср</sub> , м	f <sub>л</sub> , %
1	р.С.Донець-Ізюм	22600	465	0,43	160	11
2	р.С.Донець-Лисичанськ	52400	647	0,3	150	10
3	р.С.Донець-Станично-Лугівська	66800	784	0,3	150	9
4	р.С.Донець-Кружилівка	73200	823	0,2	150	9
5	р.Казений Торець-Райське	936	66	2,2	160	1
6	р.Кривий Торець-Олексієвко-Дружківка	1530	75	1,9	170	2
7	р.Сухой Торець-Черкаське	1240	82	1,5	150	2
8	р.Бахмутка-Артемівськ	423	36	4,9	180	4
9	Бахмутка- г.Сіверськ (г.Яма)	1560	75	2,7	160	5
10	р.Жеребець-Торське	857	81	1,5	140	2
11	р.Красная - Червонопопівка	2540	111	1,2	140	4
12	р.Айдар-Білолуцк	2250	89	1,5	160	2
13	р.Айдар-Бахмутовка	7160	235	0,71	140	2
14	р.Евсуг-Петрівка	784	82	1,9	130	1
15	р.Лугань-Долинівське	715	68	2,9	220	1
16	р.Лугань-Луганськ	3510	176	1,4	190	4
17	р.Деркул-Юганів	5090	153	1,1	130	2



## **2. Аналітичний огляд методів розрахунку максимального стоку весняного водопілля**

### **2.1 Класифікація розрахункових формул максимального стоку**

Сучасною гідрологічною наукою накопичено великий досвіт в області розрахунку характеристик максимального стоку паводків і водопіль. Підвищений інтерес до проблеми пов'язаний з тим, що при проходженні катастрофічних паводків має місце затоплення населених пунктів, руйнування доріг, паводкозахисних дамб, гребель та ін. У вітчизняній і світовій практиці запропоновано велику кількість розрахункових схем і методик для визначення характеристик максимального стоку. Але з іншого боку, велика чисельність формул свідчить і про те, що проблема ще далека від свого вирішення. У науково-методичному відношенні, приступаючи до вивчення тієї чи іншої проблеми, необхідно всебічно проаналізувати сучасний стан у галузі, з метою з'ясування позитивних і негативних сторін діючих нормативів. В історичному відношенні в гідрології дуже довгий час переважали суто емпіричні або напівемпіричні регіональні підходи. Свого часу, Д.Л.Соколовський [11], опираючись на геометричну модель паводків і водопіль, зробив спробу надати емпіричним формулам деяке теоретичне обґрунтування. У подальшому він же здійснив класифікацію формул максимального стоку. Перш за все, в окремі категорії були виділені паводки і водопілля на річках. За класифікацією Д.Л.Соколовського [7], при розрахунках максимального стоку водопіль наявна розрахункова база зводиться до двох угруповань, а саме: формул редуційних і об'ємного типів.

На наш погляд, більш вдалою виявилася класифікація розрахункових формул максимального стоку, надана Є.Д.Гопченком [11,12]. Усю нормативно-розрахункову базу в галузі стоку паводків і водопіль він умовно поділяє на дві

групи. До першої відносяться ті з них, що ґрунтуються на схематизації схилового та руслового гідрографів. Це - редуційні та об'ємні формули. Другу групу складають ті, що опираються на модель руслових ізохрон, тобто засновані на гідромеханічних уявленнях про процеси формування максимального стоку („генетичні” та формули граничної інтенсивності).

## 2.2 Редуційні формули

Професором Гопченком Є.Д. разом з учнями [11-14] проведено аналіз редуційних формул, та показано, що серед них можна виділити дві відомі редакції і обидві вони увійшли до базових при складанні нормативних документів – спочатку СН 435-72[15], а потім – СНіП 2.01.14-83[16]. Для весняного водопілля, зокрема, рекомендується формула вигляду:

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + b)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2, \quad (2.1)$$

де  $Y_m$  – розрахунковий шар стоку за водопілля;

$\delta$  – коефіцієнт для врахування впливу водойм руслового типу;

$\delta_1$  і  $\delta_2$  – коефіцієнти впливу залісеності і заболоченості на зарегулювання максимального стоку;

$k_0$  – коефіцієнт «дружності» водопілля.

$b$  - районний параметр для врахування уповільнення редуції в області невеликих водозборів

За дослідженнями Є.Д. Гопченка [17,18],  $k_0$  представляє собою коефіцієнт схилової зарегульованості водопілля, оскільки

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}, \quad (2.2)$$

де  $(n+1)/n$  – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;  
 $T_0$  - тривалість схилового припливу.

З урахуванням того, що [11]

$$k_0 Y_m = q'_m, \quad (2.3)$$

вираз (2.1) набуде вигляду (при  $\delta = \delta_1 = \delta_2 = 1.0$ )

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + b)^{n_1}}. \quad (2.4)$$

Параметр  $b$  введений в (2.1), для того, щоб дещо зменшити ординати  $q_m/q'_m$  в області невеликих водозбірних площ. Згідно з [9], у тундрі і лісотундрі  $b=1.0$ , у лісостеповій зоні – 2, у степовій зоні, зоні посушливих степів і напівпустель – 10. Побудуємо на базі (2.8) безрозмірний комплекс  $q_m/q'_m$

$$q_m/q'_m = \frac{1}{(F + b)^{n_1}}, \quad (2.5)$$

де  $q_m/q'_m$  – коефіцієнт загальної редукації. Його фізичні межі: 1.0 – при  $F \rightarrow 0$  і 0 – при  $F \rightarrow \infty$ .

При перевірці на відповідність цим вимогам рівняння (2.5), враховуючи, що за [16], у тундрі і лісотундрі  $n_1=0.17$ , у лісостеповій зоні – 0.25, у зонах степовій, посушливих степів і напівпустель – 0.35, з'ясувалося що для тундри і лісотундри  $\left(q_m/q'_m\right)_{F=0} = 1.0$ , у лісостеповій зоні – 0.84, в зонах степу, посушливих степів і напівпустель – 0.45.



Отже представлений аналіз показує, що структура СНіП 2.01.14-83 в редакції (2.1) відповідає фізичним вимогам лише у тундровій і лісотундровій зонах, а найбільші розбіжності мають місце у степовій зоні та зонах посушливих степів і напівпустель.

Проф. Гопченко Є.Д.[18] також звертає увагу на інтегральний характер урахування впливу місцевих факторів (залісеності і заболоченості) на максимальний стік водопіль. У нормативному документі не вказано, до яких з двох параметрів ( $k_0$  чи  $Y_m$ ) відносяться поправки  $\delta_1$  і  $\delta_2$ . Можна розглядати варіанти, коли залісеність або заболоченість впливають лише на одну складову чисельника у формулі (2.1), в окремих варіантах – на обидві, можливі й інші сполучення їх взаємодії.

Для обґрунтування структури формул, заснованих на геометричних моделях гідрографів паводків і водопіль, пропонується представити їх у редуційному вигляді рівняннями:

- схиловий приплив

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (2.6)$$

- русловий гідрограф

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (2.7)$$

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

$T_n$  - тривалість паводків і водопіль.

Якщо (2.6) і (2.7) проінтегрувати, відповідно по  $T_0$  і  $T_n$ , а потім дещо узагальнити, то отримаємо вираз для визначення  $q_m$ , а саме

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_n k_m, \quad (2.8)$$

де  $t_p$  - тривалість руслового добігання паводкових і повеневих хвиль;

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n} - \text{коефіцієнт русло-заплавного регулювання};$$

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n} - \text{коефіцієнт трансформації форми руслових гідрографів};$$

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

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

Можливо розглянути також часткові випадки (2.8).

**Редукційні формули першого рівня спрощення.** Якщо є підстави для осереднення по території  $T_0$ , то редукційні коефіцієнти, що входять до (2.8), можуть бути інтегрально описані за допомогою  $F$ , тобто

$$\frac{k_n k_m}{1 + t_p / T_0} = f(F) = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (2.9)$$

Тоді (2.8) набуде розрахункового вигляду(2.1)

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (2.10)$$

Очевидно, виходячи з (2.2), що коефіцієнт схилової  $k_0$  трансформації підлягає лише районуванню. Саме так свого часу й було запропоновано його визначати у нормативному документі СН 435-72[15].

**Редукційні формули другого рівня спрощення.** При можливості осереднення по території, крім  $T_0$ , ще й шару стоку, редукційна структура (2.10) набуде вигляду[11]

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (2.11)$$

де  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу, що підлягає районуванню.

Свого часу формула вигляду (2.17) була отримана Д.І. Кочеріним [19], як результат узагальнення максимальних модулів весняного водопілля у межах ЄТС. Пізніше К.П. Воскресенський [19] встановив, що параметр  $q'_m$  обумовлений величиною шару стоку водопілля, тобто

$$q'_m = k_0 Y_m. \quad (2.12)$$

Таким чином, формула Д.І. Кочеріна (2.10) для весняного водопілля набула розрахункового вигляду (2.11). Основні зауваження до цієї структури стосуються того, що не досить теоретично обґрунтована структура (2.10), при підготовці нормативних документів СН 435-72 і СНіП 2.01.14-83 була використана без дотримання передумов її походження.

Якщо ж тривалість схилового припливу  $T_0$  не може бути осереднена, то спрощені варіанти редукційних формул до рівня (2.10), а тим більш (2.11), взагалі неможливі. За таких умов слід задачу по розрахунках максимального стоку паводків і водопіль здійснювати безпосередньо на основі (2.8).

Надалі Гопченко Є.Д.[19] більш детально розглядає такі можливості, виходячи з наявності матеріалів спостережень за стоком річок. Серед параметрів, що входять до (2.8), невідомими і не вимірюваними є: модуль схилового припливу  $q_0$  (головним чином, за відсутності даних по  $T_0$ ) і коефіцієнт  $k_n$  (з тих же самих причин). Останній представляє собою відношення:

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}. \quad (2.13)$$

Необхідної інформації по тривалостях паводків і водопіль практично немає і, за виключенням тих випадків, коли не простежується впливу на  $T_0$  залісеності і заболоченості водозборів, або вони відсутні. Дійсно,

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (2.14)$$

де  $\Delta t$  - час, необхідний для спрацювання русло-заплавної ємності регулювання, котра теж невідома.

З урахуванням залісеності  $f_l$  і заболоченості  $f_b$

$$T_n = T_0(f_l, f_b) + t_p + \Delta t. \quad (2.15)$$

Практична реалізація (2.8) можлива, якщо в її структурі здійснити деякі перетворення, а саме: замість  $q'_m$ ,  $k_m$  і  $k_n$  підставити їх значення

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{Y_m}{T_0}, \quad (2.16)$$

$$k_m = \frac{m+1}{m} \Big/ \frac{n+1}{n}, \quad (2.17)$$

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}. \quad (2.18)$$

Тоді

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_n k_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_n}. \quad (2.19)$$

Фактично редакція вихідної структури (2.8) до рівня (2.19) є варіантом відомої формули об'ємного типу.

### 2.3 Об'ємні формули

Об'ємні формули ґрунтуються на тій чи іншій геометричній схематизації гідрографів весняного водопілля чи паводків. Базовою для них є формула модуля максимального стоку для одномодального паводку у вигляді

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} k_\phi, \quad (2.20)$$

де  $k_\phi$  - коефіцієнт форми гідрографів стоку, який дорівнює  $\frac{Q_m}{Q_{cp}}$ ;

$T_n$  - тривалість паводків або водопіль;

$Y_m$  - шар стоку;

$Q_{cp}$  - середня за паводок або водопілля витрата води.

Для моделі одномодального, але лінійного трикутника А.В.Огієвський у 1938 р. запропонував розрахункову формулу

$$q_m = \frac{0.023 Y_m}{T_0 + t_p}, \quad (2.21)$$

де  $T_0$  - тривалість водовіддачі (схилового припливу), доби;

$t_p$  - час руслового добігання, доби.

Стосовно структури формули (2.21), за Є.Д.Гопченком [12], є два принципових зауваження: 1) коефіцієнт нерівномірності руслового стоку у часі не тільки відрізняється від двох, але й залежить ще від площі водозборів; 2) тривалість весняного водопілля  $T_n$  суттєво відрізняється від  $T_0 + t_p$  (за рахунок часу, необхідного для спрацювання ємності русло-заплавного регулювання стоку).

Д.Л. Соколовський [11] запропонував об'ємну формулу, засновану на моделі одномодальних паводків, для яких він записав рівняння:

а) для кривої підйому

$$Q_t = Q_m \left( \frac{t}{t_i} \right)^{m_1}; \quad (2.22)$$

б) для кривої спаду

$$Q_t = Q_m \left( \frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^{n_1}, \quad (2.23)$$

де  $t_n$  і  $t_{cn}$  - тривалості підйому і спаду повені або паводків, відповідно.

Виконавши інтегрування рівнянь (2.22) і (2.23) по  $t_n$  і  $t_{cn}$ , він дійшов до базових рівнянь:

$$q_m = \frac{Y_m f}{t_n} \quad (2.24)$$

або

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} f(1 + \gamma), \quad (2.25)$$

де  $f$  - коефіцієнт форми гідрографу, який залежить від показників степені кривих підйому та спаду і дорівнює

$$f = \frac{(m_1 + 1)(n_1 + 1)}{(n_1 + 1) + \gamma(m_1 + 1)}, \quad (2.26)$$

$\gamma$  - відношення тривалості спаду  $t_{cn}$  до тривалості підйому паводка  $t_n$ .

Близька за своїм змістом до (2.25) структура була запропонована А.М.Костяковим [12], а саме

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} k. \quad (2.27)$$

Якщо врахувати, що  $T_n = t_n + t_{cn}$ , то параметр  $f$  в формулі Д.Л.Соколовського дорівнює

$$f = \frac{k}{1 + \gamma}. \quad (2.28)$$

Широкого практичного використання формули вигляду (2.25) та (2.27) не знайшли.

До об'ємних формул відноситься також формула В.І.Мокляка [20], яка має вигляд

$$q_m = \frac{Y_m}{m_c T_0 + t_p + t_\phi}, \quad (2.29)$$

де  $t_\phi$  - тривалість просування фронту сніготанення (водовіддачі) в межах басейну;

$m_c$  - емпіричний параметр, який дорівнює

$$m_c = 1 + \alpha_l \frac{f_l}{F} + \frac{f_b}{F}. \quad (2.30)$$

Для листяних лісів  $\alpha_l = 0.7$ , для хвойних – 1.0. Достатньо повно методи розрахунку максимального стоку, які опираються на геометричну схематизацію гідрографів схилового і руслового стоку, висвітлені у роботах Є.Д.Гопченка [13,14,17]. Він за вихідну приймає редуційну модель одномодального паводка у вигляді

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right]. \quad (2.31)$$

Проінтегрувавши рівняння (2.31) по  $T_n$ , він отримав структуру, яка також відноситься до об'ємних

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_n}, \quad (2.32)$$

де  $\frac{m+1}{m}$  - коефіцієнт нерівномірності руслового стоку у часі.

У своїй праці [13] він наводить дещо модифікований варіант (2.32), а саме

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_0(f_l, f_b) + t_p} k_F, \quad (2.33)$$

де  $T_0$  - тривалість схилового припливу ;

$f_l$  - відносна залісеність водозборів;

$f_b$  - відносна заболоченість водозборів;

$k_F$  - редуційний коефіцієнт, обумовлений русло-заплавним регулюванням, причому

$$k_F = k_m k_n. \quad (2.34)$$



Реалізувати (2.32) або модифікований варіант (2.33) на практиці досить складно і головним чином через знаменник  $T_n$ , який тяжко піддається нормуванню [13].

#### 2.4. Генетична формула А.М.Бефані

Теоретичні дослідження А.М.Бефані приведені найбільш повно у наукових працях [21]. Так, для річкового басейну з двома прямокутними схилами (невеликі водозбори) запропоновано балансове рівняння у вигляді

$$V \frac{\partial \varpi}{\partial x} + \frac{\partial \varpi}{\partial t} = q'_t, \quad (2.35)$$

де  $V$ - швидкість руху хвилі паводку;

$\omega$  - площа водного перерізу;

$q'_t$  - модуль схилового припливу.

На великих водозборах стік формується розгалуженою гідрографічною мережею. Представивши модель у вигляді сітки в ізохронах руслового добігання, які перетинають  $n_x$  русел, А.М.Бефані [21] дещо узагальнив (2.32), а саме

$$V \frac{\partial \varpi}{\partial x} + \frac{\partial \varpi}{\partial t} = n_x q'_t. \quad (2.36)$$

Причому.  $n_x$  є відношенням

$$n_x = \frac{B_x}{2\ell} = \alpha B_x, \quad (2.37)$$

де  $B_x$  - ширина басейну по ізохронах руслового добігання;

$\ell$  - довжина схилів;

$\alpha$  - щільність гідрографічної мережі.

Підставивши (2.36) в (2.35), будемо мати

$$V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial \omega}{\partial t} = \alpha q'_t B_x. \quad (2.38)$$

Інтегрування (2.38) приводить до виразів [21]:

а) за  $t_p < T_0$

$$\omega_m = \int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_x dt = B_{cp} Y_{t_p} k_1, \quad (2.39)$$

де  $B_{cp}$  - середня ширина водозбору по ізохронах руслового добігання;

$Y_{t_p}$  - максимальне значення шару стоку за час добігання  $t_p$ ;

$k_1$  - гідрографічний коефіцієнт, який визначається за співвідношенням

$$k_1 = \frac{\int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_{t_{кр}-t_p}^{t_{кр}} q'_t dt}; \quad (2.40)$$

б) за  $t_p \geq T_0$

$$\omega_m = \int_0^{T_0} q'_t B_x dt = B_{cp} Y_m k_2, \quad (2.41)$$

де  $k_2$  - гідрографічний коефіцієнт, аналогічний  $k_1$ , тобто

$$k_2 = \frac{\int_0^{T_0} q'_t B_x dt}{B_{cp} \int_0^{T_0} q'_t dt}. \quad (2.42)$$

Об'єднавши  $k_1$  і  $k_2$  у загальний гідрографічний коефіцієнт  $k_2$ , з урахуванням (2.38) і (2.40), та беручи до уваги, що  $Y_{t_p} / Y_m = \varphi$ , можна записати узагальнене рівняння для визначення максимального модуля стоку

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_2, \quad (2.43)$$

де  $k_2$  дорівнює  $k_1$  при  $t_\delta / T_0 < 1.0$  і  $k_2$  - при  $t_\delta / T_0 \geq 1.0$ .

Для урахування ефектів русло-заплавного регулювання А.М.Бефані [21] балансове рівняння (2.37) записує у вигляді

$$V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial t} (\omega + \omega_n + \delta \omega_a) = \alpha B_x q'_t, \quad (2.44)$$

де  $\omega_n$  - переріз водної маси, акумульованої у всіх заплавах, які перетинаються ізохроною  $B_x$ ;

$\omega_a$  - загальний переріз алювіальних вод, які гідравлічне зв'язані з річкою;

$q'_t$  - рівномірно розподілений по території модуль схилового припливу;

$\delta$  - коефіцієнт вільної пористості алювію.

Проінтегрувавши (2.44), він отримав рівняння для максимального модулю  $q_m$  з урахуванням русло-заплавного і берегового регулювання:

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \phi k_z k_F, \quad (2.45)$$

де  $k_F$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання максимального модуля стоку.

Для уніфікації розрахункової схеми Є.Д.Гопченко [22-23] здійснює деякі перетворення (2.45), запропонувавши трансформаційну функцію  $\psi(t_p/T_0)$ , яка обумовлена часом руслового добігання і залежить від безрозмірного співвідношення  $t_p/T_0$ . Тоді вираз (2.45) набуває вигляду

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) k_F r, \quad (2.46)$$

де  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу;

$r$  - коефіцієнт зарегульованості максимального стоку озерами, водосховищами, ставками.

Трансформаційна функція  $\psi(t_p/T_0)$  описується рівняннями [23]:

а) за  $t_p/T_0 = 0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1.0; \quad (2.47)$$

б) за  $0 < t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (2.48)$$

в) за  $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]; \quad (2.49)$$

г) за  $t_p \gg T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 0; \quad (2.50)$$

Базовим параметром в (2.45) є модуль схилового припливу  $q'_m$ , який становить [23]

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (2.51)$$

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

## 2.5 Формули Й.А.Железняка, В.І.Мокляка

Теорія руслових ізохрон розроблялась також і А.В.Огієвським, а потім знайшла розвиток у наукових працях Й.А.Железняка [24], В.І.Мокляка [20], П.Ф. Вишневського [11]. Не враховуючи русло-заплавного регулювання, А.В.Огієвський розглядає модель руслових ізохрон у розгорнутому вигляді

$$Q_i = f_i q'_i + f_{i-1} q'_2 + \dots + f_{i-T_c+2} q'_{T_c-1} + f_{i-T_c+1} q'_{T_c}, \quad (2.52)$$

де  $f_1, f_2, \dots, f_n$  - міжзохронні площадки;

$q'_1, q'_2, \dots, q_n$  - модулі схилового припливу.

Для урахування природного регулювання максимального стоку річковим руслом і заплавою він доповнює (2.52) ємністю  $W$ , а саме

$$Q_i = f_i q'_i + f_{i-1} q'_2 + \dots + f_{i-T_c+1} q'_{T_c} \pm f(W_i), \quad (2.53)$$

де  $W_i$  - має знак мінус на підйомі, а плюс - на спаді .

Ним також було запропоноване розрахункове рівняння стосовно  $Q_m$  у вигляді

а) за  $t_p > T_c$

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} F_\partial = \rho Y_m b_\partial F_\partial, \quad (2.54)$$

де  $Y_m$  - шар стоку за період водопілля;

$F_\partial$  - діюча площа водозбору;

$b_\partial$  - середня ширина басейну у межах діючої площі водозбору;

$\rho$  - коефіцієнт для урахування нерівномірності розвитку басейну;

$T_c$  - тривалість водовіддачі.

б) за 1 д.  $< t_p < T_c$

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} k' F, \quad (2.55)$$

де  $k'$  - коефіцієнт для урахування нерівномірності щодобової водовіддачі;

в) за  $t_p < 1$  д.

$$Q_m = \rho \frac{Y_m}{T_c} k' k'' F, \quad (2.56)$$

$k''$  - коефіцієнт для урахування нерівномірності внутрішньодобової водовіддачі ( $k'' > 1$ ).

Коефіцієнт нерівномірності розвитку басейну  $\rho \in$

$$\rho = \frac{f_1 q'_1 + f_{i-1} q'_2 + \dots + f_{i-T_c+1} q'_{T_c}}{f(q'_1 + q'_2 + \dots + q'_{T_c})}. \quad (2.57)$$

Допускаючи, що

$$q'_1 = q'_2 = \dots = q'_n = \frac{Y_m}{T_c}, \quad (2.58)$$

рівняння (2.52) набуває вигляду

$$Q_m = \sum_{T_0}^{T_0} f_j q'_i = \sum_{T_0}^{T_0} f_j \frac{Y_m}{T_c} = F_{\partial} \frac{Y_m}{T_c}. \quad (2.59)$$

У зв'язку з осередненням  $q'_t$  у вираз (2.52) вводиться коефіцієнт нерівномірності водовіддачі  $\psi$  за період  $T_c$ , причому

$$\psi = \frac{q'_1 f_i + q'_2 f_{i-1} + \dots + q'_{T_c} f_{i-T_c+1}}{q'(f_1 + f_2 + \dots + f_{i-T_c+1})} \quad (2.60)$$

Тоді

$$Q_m = \psi F_{\partial} \frac{Y_m}{T_c} = \psi b_{\partial} V_{\partial} Y_m \rho. \quad (2.61)$$

За А.В.Огієвським [11],

$$1.0 \leq \alpha = \rho\psi \leq 1.35. \quad (2.62)$$

Коефіцієнти  $\psi$  і  $\rho$ , які входять у вираз (2.62), виконують таке ж фізичне навантаження, що й гідрографічні коефіцієнти  $k_2$  у розрахунковій формулі А.М.Бефані.

При введенні коефіцієнта регулювання максимальних витрат води русловою ємністю  $\beta$  максимальні витрати води розраховуються за формулою:

$$Q_m = \alpha\beta V_{\partial} b_{\partial} Y_m. \quad (2.63)$$

Припустивши, що  $\alpha\beta = 1.0$ , формула (2.63) набула вигляду [11]

$$Q_m = 0.0116 V_{\partial} b_{\partial} Y_m. \quad (2.64)$$

У подальшому Й.А.Железняк [24] використав функцію впливу і рівняння ізохрон для невеликих водозборів записав у вигляді

$$Q_i = q'_i P_1 + q'_{i-1} P_2 + \dots + q'_{i-t_p+1} P_{t_p}, \quad (2.65)$$

де  $P_i$ - ординати функції впливу;

$q'_i$ - ординати графіків водовіддачі за кожний розрахунковий інтервал часу.

Функція  $P_i$  ураховує трансформацію стоку під впливом часу добігання, а також динаміку і особливості русло-заплавного регулювання. Як показали дослідження [25], ступінь русло-заплавного регулювання визначається в більшості формою графіків припливу води зі схилів до руслової мережі. Тому при типізації функцій  $P_i$  необхідно приймати до уваги характер схилового



припливу. Й.А.Железняк рівняння для максимальних витрат води рекомендує у вигляді

$$\bar{Q}_m = 0.0116 k_{м.г.м.} Y_m F, \quad (2.66)$$

де  $\bar{Q}_m$  - середньодобова витрата води;

$k_{м.г.м.}$  - метеоролого-гідравліко-морфометричний параметр.

В.І.Мокляк [20] при реалізації моделі ізохрон обґрунтував формулу у вигляді

$$q_m = h_m \varphi', \quad (2.67)$$

де  $h_m$  - середня максимальна інтенсивність водовіддачі за годинний інтервали часу;

$\varphi'$  - редуційний коефіцієнт, який залежить від співвідношення між  $t_p$  і  $T_0$ .

За В.І.Мокляком [20]

а) за  $t_p / T_0 > 1.0$

$$\varphi' = \frac{0.28 + 0.07 \frac{t_p}{T_0}}{1 + 2 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.68)$$

б) за  $t_p / T_0 < 1.0$ , але за  $t_p > 1$  д.

$$\varphi' = \frac{0.35}{1 + 2 \frac{t_p}{T_0}}; \quad (2.69)$$

в) за  $t_p / T_0 < 1.0$  і  $t_p < 1$  д.

$$\varphi' = \frac{T_0}{0.92T_0 - 0.24 + (1.94T_0 + 5.95)t_p}; \quad (2.70)$$

г) для дуже невеликих водотоків ( $t_p \leq 0.04$  д.)

$$\varphi' = 1.0. \quad (2.71)$$

## 2.6 Обґрунтування розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку з річкових водозборів в басейні Сіверського Дінця

За вихідну пропонується прийняти розгорнутий варіант моделі руслових ізохрон. Складовими такої моделі є гідрограф схилового припливу, функція ізохрон руслового добігання і русло-заплавне регулювання.

Відповідно до [13] реалізується вона за допомогою інтегральних рівнянь:

а) при  $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t f_t \varepsilon_t dt; \quad (2.72)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t f_t \varepsilon_t dt. \quad (2.73)$$

Якщо прийняти до уваги, що швидкість руху паводкових хвиль незначно залежить від розмірів водозборів, то справедливим буде тотожність

$$f_t = f_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_p} \right)^m \right] = B_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_p} \right)^m \right]. \quad (2.74)$$

Таким чином, замість (2.71) і (2.72) можна записати:

а) при  $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt ; \quad (2.75)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt . \quad (2.76)$$

Замість (2.75) і (2.76) надамо їх спрощені вирішення:

а) при  $t_p < T_0$

$$(Q_m)_{cn} = V \bar{\varepsilon}_{t_p} \int_0^{t_p} q'_t B_t dt ; \quad (2.77)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$(Q_m)_{cn} = V \bar{\varepsilon}_{t_p} \int_0^{T_0} q'_t B_t dt . \quad (2.78)$$

Введемо позначення

$$\frac{Q_m}{(Q_m)_{cn}} = k_\varepsilon . \quad (2.79)$$

У цьому випадку:

а) при  $t_p < T_0$

$$Q_m = V \varepsilon_F \int_0^{t_p} q'_t B_t dt ; \quad (2.80)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \varepsilon_F \int_0^{T_0} q'_t B_t dt . \quad (2.81)$$

де  $\varepsilon_F = \bar{\varepsilon}_{t_p} k_\varepsilon$  або  $\varepsilon_F = \bar{\varepsilon}_{T_0} k_\varepsilon$  (в залежності від співвідношення  $t_p$  і  $T_0$ ).

Інтегрування (2.80) і (2.81), з урахуванням (2.72) і (2.73), приводить до наступних виразів:

а) при  $t_p < T_0$

$$q_m = q'_m \left[ 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \varepsilon_F; \quad (2.82)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$q_m = q'_m \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \varepsilon_F, \quad (2.83)$$

де  $q_m$  - максимальний модуль руслового стоку.

Очевидно, що вирази у квадратних дужках є за своєю сутністю редуційними функціями, які залежать від співвідношення  $t_p/T_0$ , форми водозборів та динаміки припливу води зі схилів до руслової мережі, причому:

а) при  $t_p < T_0$

$$\Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n; \quad (2.84)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right]. \quad (2.85)$$

До (2.84) і (2.85) слід додати ще два дуже важливих варіанти її, а саме:

в)  $t_p / T_0 = 0$

$$\Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) = 1.0. \quad (2.86)$$

г) при  $t_p \gg T_0$

$$\Psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (2.87)$$

Узагальнюючи (2.82) і (2.83), з урахуванням (2.84)-(2.87), розрахункова структура для нормування характеристик максимального стоку набуде вигляду:

$$q_m = q'_m \Psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \cdot r, \quad (2.88)$$

де  $r$  – коефіцієнт редукції  $q_m$  під впливом озер, водосховищ, ставків проточного типу;

$q'_m$  - модуль схилового припливу, який розраховується за рівнянням

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (2.89)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  - коефіцієнт нерівномірності (у часі) припливу води зі схилів до руслової мережі;

$T_0$  – тривалість схилового припливу.

Науково-методичні підходи до визначення параметрів, які описують основні риси гідрографів схилового припливу (зокрема,  $T_0$  і  $\frac{n+1}{n}$ ) досить ґрунтовно викладені у [11-13,26]. Необхідно дещо зупинитися на коефіцієнті русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$ . Якихось спеціальних спостережень за цим трансформувальним параметром в системі гідрологічних вимірювань на річках не проводиться. Тому пропонується визначити його зворотним шляхом з (2.88), тобто

$$\varepsilon_F = \left(\frac{q_m}{q'_m}\right) / \left[\Psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \cdot r\right]. \quad (2.90)$$

Якщо вдається просторово узагальнити  $q_m / q'_m$  в залежності від розміру водозборів, то (2.90) матиме вигляд

$$\varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}} \left/ \left[ \Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \cdot r \right] \right. \quad (2.91)$$

У розрахункових побудованнях  $\varepsilon_F$  надається у табличній формі з одним входом, а саме – площею водозбору  $F$ .

Таким чином, проведений аналіз існуючих методик для визначення максимального стоку весняного водопілля, дозволяє рекомендувати в якості розрахункової операторну модель Є.Д.Гопченка [13,14] у вигляді (2.88) для обґрунтування регіональних параметрів в досліджуваному басейні Сіверського Дінця.

### 3. Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля та їх узагальнення у межах території степової частини басейну Сіверського Дінця

#### 3.1 Загальні положення

Статистична обробка часових рядів стокових характеристик максимального стоку частіше усього спирається на метод моментів, або найбільшої правдоподібності. У першому випадку безпосередньо по наявних рядах розраховуються параметри статистичного розподілу: середнє арифметичне рядів  $\bar{x}$ , коефіцієнтів варіації  $C_v$  і асиметрії  $C_s$ , у другому - середнє,  $C_v$  і співвідношення  $C_s/C_v$ . Моментні оцінки обчислюються за формулами [27]:

а) середнє ряду

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i ; \quad (3.1)$$

б) коефіцієнт варіації

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}} ; \quad (3.2)$$

в) коефіцієнт асиметрії

$$C_s = \frac{n^2}{(n-1)(n-2)} \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{C_v^3} , \quad (3.3)$$

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

Різновидом методу моментів є запропонований Г.О.Алексєєвим графоаналітичний засіб визначення параметрів статистичного розподілу. З цією метою будуються емпіричні криві забезпеченості  $x=f(P)$ , з яких знімаються опорні ординати:  $x_{5\%}$ ,  $x_{50\%}$ ,  $x_{95\%}$  (треточковий метод) або  $x_{5\%}$ ,  $x_{10\%}$ ,  $x_{50\%}$ ,  $x_{90\%}$ ,  $x_{95\%}$  (п'ятиточковий метод). Найбільше поширення одержав перший варіант, який ввійшов до нормативних документів СН 435-72 і СНіП 2.01.14-83[15,16]. Спочатку методичні обґрунтування щодо використання графоаналітичного засобу зв'язувалися з кривою біноміального розподілу. Проте надалі Г.О.Алексєєв розширив застосування даного засобу і на логарифмічно-нормальний розподіл випадкових величин із правосторонньою асиметрією і співвідношенням  $C_s/C_v > 3.0$ .

У графоаналітичному методі спочатку обчислюється коефіцієнт скошеності  $S$ , рівний

$$S = \frac{x_{5\%} + x_{95\%} - 2x_{50\%}}{x_{5\%} - x_{95\%}} \quad (3.4)$$

Оскільки між коефіцієнтами скошеності  $S$  і асиметрії  $C_s$  взагалі існує функціональний зв'язок (у рамках прийнятого закону розподілу), то за допомогою таблиць безпосередньо за  $S$  знаходяться шукані значення  $C_s$ . Далі обчислюється середнє квадратичне відхилення випадкової величини  $\sigma_x$

$$\sigma_x = \frac{x_{5\%} - x_{95\%}}{t_{5\%} - t_{95\%}}, \quad (3.5)$$

де  $t_{5\%}$  і  $t_{95\%}$  - нормовані ординати біноміальної кривої розподілу Пирсона III.

Середнє арифметичне ряду  $\bar{x}$  знаходиться через медіанне значення випадкової величини  $x_{50\%}$ , тобто



$$\bar{x} = x_{50\%} - \sigma_x t_{50\%} \quad (3.6)$$

З урахуванням (3.5) і (3.6)

$$Cv = \frac{\sigma_x}{\bar{x}} \quad (3.7)$$

Вибіркові моментні оцінки розподілу щодо генеральної сукупності даних обчислюються з тими або іншими похибками, які залежать від довжини рядів і наявності в них внутрішньорядної кореляції.

За С.М.Крицьким і М.Ф.Менкелем [14] при коефіцієнтах кореляції між суміжними членами варіаційних рядів  $r < 0.2$  і  $n > 10$  середня квадратична похибка  $\sigma_{\bar{x}}$  може бути встановлена за формулою:

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} \quad (3.8)$$

Середня квадратична похибка вибіркових коефіцієнтів варіації  $\sigma_{Cv}$  дорівнює

$$\sigma_{Cv} = \frac{1}{n + 4Cv^2} \sqrt{\frac{n(1 + Cv^2)}{2} \left(1 + \frac{3Cvr^2}{1+r}\right)} \quad (3.9)$$

Для оцінки величини стандартного відхилення вибіркових коефіцієнтів асиметрії  $\sigma_{Cv}$  при  $Cs = 2Cv$  і  $r$ , близьких до нуля, А.Ш.Резніковським [14] рекомендується рівняння

$$\sigma_{Cv} = \sqrt{\frac{6}{n}(1 + Cv^2)} \quad (3.10)$$

Аналогічні формулам (3.8), (3.9) і (3.10) рівняння розроблені і для методу найбільшої правдоподібності. Зокрема, дисперсія оцінки правдоподібності коефіцієнтів мінливості  $Cv_\lambda$  для достатньо великих  $n$  приблизно рекомендується в такому вигляді [49,51]

$$D_{Cv_\lambda} = \frac{3Cv^2}{2n(3 + Cv^2)} \quad (3.11)$$

Звідки

$$\sigma_{Cv_\lambda} = \frac{Cv}{\sqrt{2n}} \sqrt{\frac{3}{3 + Cv^2}} \quad (3.12)$$

Автори вищезгаданої роботи відзначають, що моментні і правдоподібні оцінки  $Cv$  практично збігаються, коли  $Cv < 0.3$ . Більш того, вони також указують, що використання методу моментів обмежується саме цією нерівністю. При  $Cv > 0.3$  параметри статистичного розподілу слід встановлювати за методом найбільшої правдоподібності. Що стосується  $C_s$ , то в методі найбільшої правдоподібності він не розраховується, а приймається у вигляді закріпленої оцінки співвідношення  $C_s/Cv$ .

Самі оцінки правдоподібності знаходяться через допоміжні статистики  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  [14]:

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg(x_i / \bar{x}); \quad (3.13)$$

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i / \bar{x}) \lg(x_i / \bar{x}) \quad (3.14)$$

Параметри  $C_v$  і  $C_s/C_v$  визначаються за допомогою спеціально розробленої С.М.Крицьким і М.Ф.Менкелем номограми

$$C_v, C_s/C_v = f(\lambda_2, \lambda_3) \quad (3.15)$$

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

При нормальному розподілі (незалежно від методу обчислення вибірових параметрів)

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{z_p^2}{2}}, \quad (3.16)$$

де  $z_p$  - нормоване відхилення від середнього  $\bar{x}$  з імовірністю перевищення  $P\%$ .

При гамма-розподілі з використанням методу моментів [14]

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{1+3C_v}{2} \left( \frac{\partial k_p}{\partial C_v} \right)^2}, \quad (3.17)$$

де  $k_p = x_p / \bar{x}$  - ординати кривої розподілу;

$\partial k_p / \partial C_v$  - похідна, яка приблизно обчислюється по таблицях ординат гамма-розподілу.

Для гамма-розподілу з використанням методу найбільшої правдоподібності

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{3}{2(3 + Cv^2)} \left( \frac{\partial k_p}{\partial Cv} \right)^2} \quad (3.18)$$

Внаслідок асиметричного розподілу оцінок квантилів при  $Cs/Cv > 2.0$  для повної характеристики випадкових похибок недостатньо знати тільки оцінки квантилів  $x_p$  і середнє квадратичне відхилення  $\sigma_{x_p}$ . Необхідно побудувати емпіричні криві розподілу або знати коефіцієнти їх асиметрії. Оскільки вибіркові параметри ординат  $x_p$  підлягають коливанням, то ординати самі собою являють функції вибіркових оцінок відповідних моментів. Теоретичних рішень цієї задачі поки-що немає. С.М.Крицький і М.Ф.Менкель [49] для подолання виникаючих утруднень використовували метод статистичних випробувань. За результатами статвипробувань і серій довірчих рівнів запропоновані спеціальні номограми для відносного відхилення  $\Delta x_p / x_p$ , де  $\Delta x_p$  - абсолютне відхилення оцінок квантилів  $x_p$ .

Відносна помилка  $|\Delta x_p| / x_p$  дорівнює

$$\frac{|\Delta x_p|}{x_p} = E_p \sqrt{n} \quad (3.19)$$

Приведена помилка квантиля  $E_p$  номограмована для різних сполучень  $P\%$ ,  $Cv$  і рівнів довірчої ймовірності. У даній роботі формула (3.19) використовувалася при оцінці точності обчислення максимальних витрат води опорної забезпеченості  $P=1\%$ .

### 3.2 Дослідження циклічності максимального стоку весняного водопілля річок степової частини Сіверського Дінця

Передумовою статистичної обробки вихідної інформації по стокових рядах є аналіз наявності повних циклів водності за досліджуваний період [28,29]. Для такого аналізу, зазвичай використовуються методи згладжування, а також метод різницевих інтегральних кривих, який знайшов широке розповсюдження на пострадянському просторі.

Різницеві інтегральні криві відхилень річних величин стоку від його середнього значення будують у відносних величинах, тобто у модульних коефіцієнтах. Для побудування такої кривої послідовно сумують відхилення модульних коефіцієнтів хронологічного ряду від їх середнього багаторічного значення, який дорівнює одиниці[14].

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

$$\sum_{i=1}^t (K_i - 1) = f(t), \quad (3.20)$$

де  $K_i$  - модульний коефіцієнт.

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

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

$$\operatorname{tg} \alpha = (K_i - 1)_{cp} = \frac{l_k - l_n}{m}, \quad (3.21)$$

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

Для річок досліджуваної території побудовані різницеві інтегральні криві для найбільш тривалих часових рядів максимальних витрат води (рис.3.1.) та шарів стоку весняного водопілля (рис.3.2.).

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити що всі річки, за виключенням ряду витрат води на р.Жеребець- с.Торське, мають синхронні коливання водності та можуть бути віднесені до одного гідрологічного району за циклічністю коливань характеристик максимального стоку весняного водопілля.

Характерною рисою для всіх досліджуваних річок є тривала маловодна фаза, яка почалась з 1970-1975 років й триває дотепер. Також слід відмітити, що границі фаз відрізняються в залежності від періоду спостережень, зокрема від його початку.

Загальний висновок можна сформулювати таким чином:

- тривала маловодна фаза може бути наслідком регіональних та глобальних змін клімату, але її початок не співпадає з дослідженнями багатьох українських вчених, щодо початку кліматичних змін з 1989 року;
- неспівпадіння фаз водності на р.Жеребець- с.Торське може бути наслідком активної антропогенної діяльності на водозборі, наприклад, скиду шахтних вод, але це питання потребує додаткового дослідження;
- незважаючи на наявність довготривалої убутої фази, на всіх річках можна виділити принаймні один повний цикл водності, що дає можливість використання стандартних статистичних методів для визначення основних параметрів теоретичних кривих розподілу;
- в подальшому необхідно спостерігати за існуючим убутним трендом та за необхідності вводити «кліматичні поправки» до розрахункових величин, зокрема максимальних витрат води.

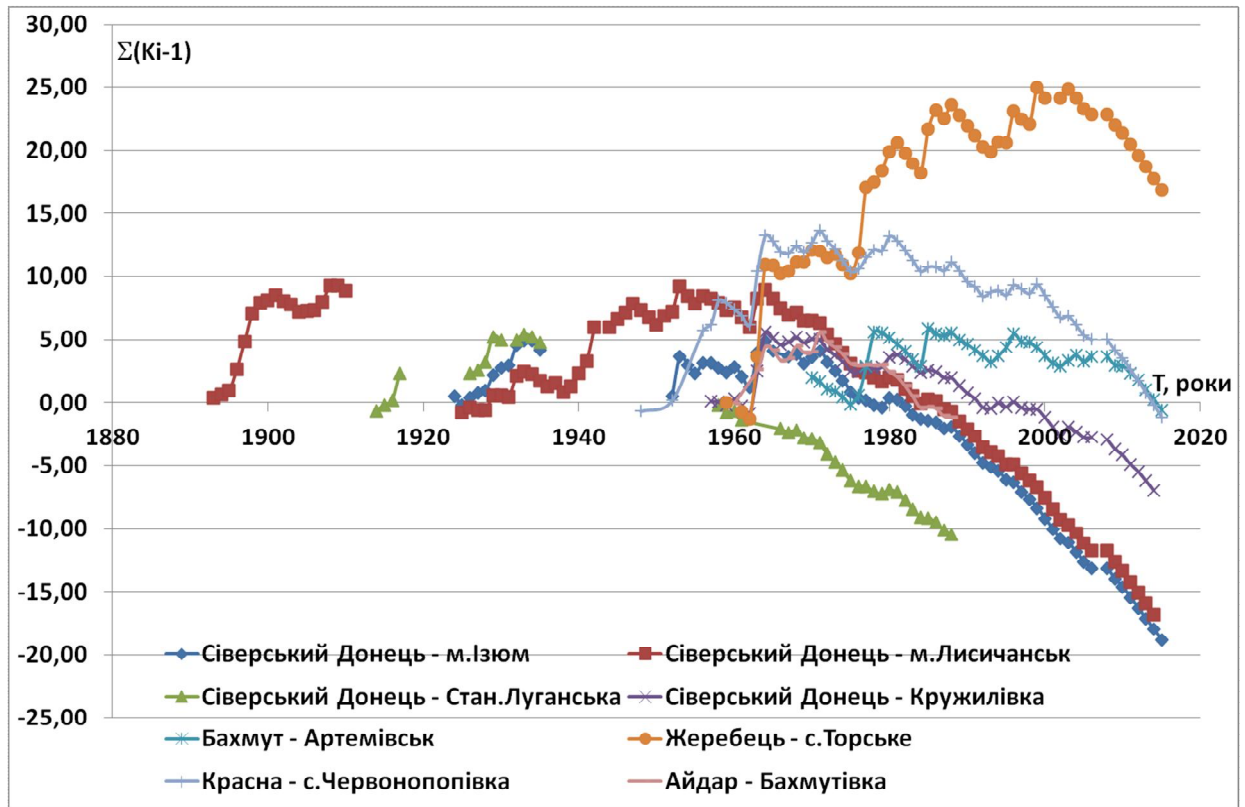


Рис.3.1 – Різницеви інтегральні криві максимальних витрат води весняного водопілля річок степової частини басейну Сіверського Дінця

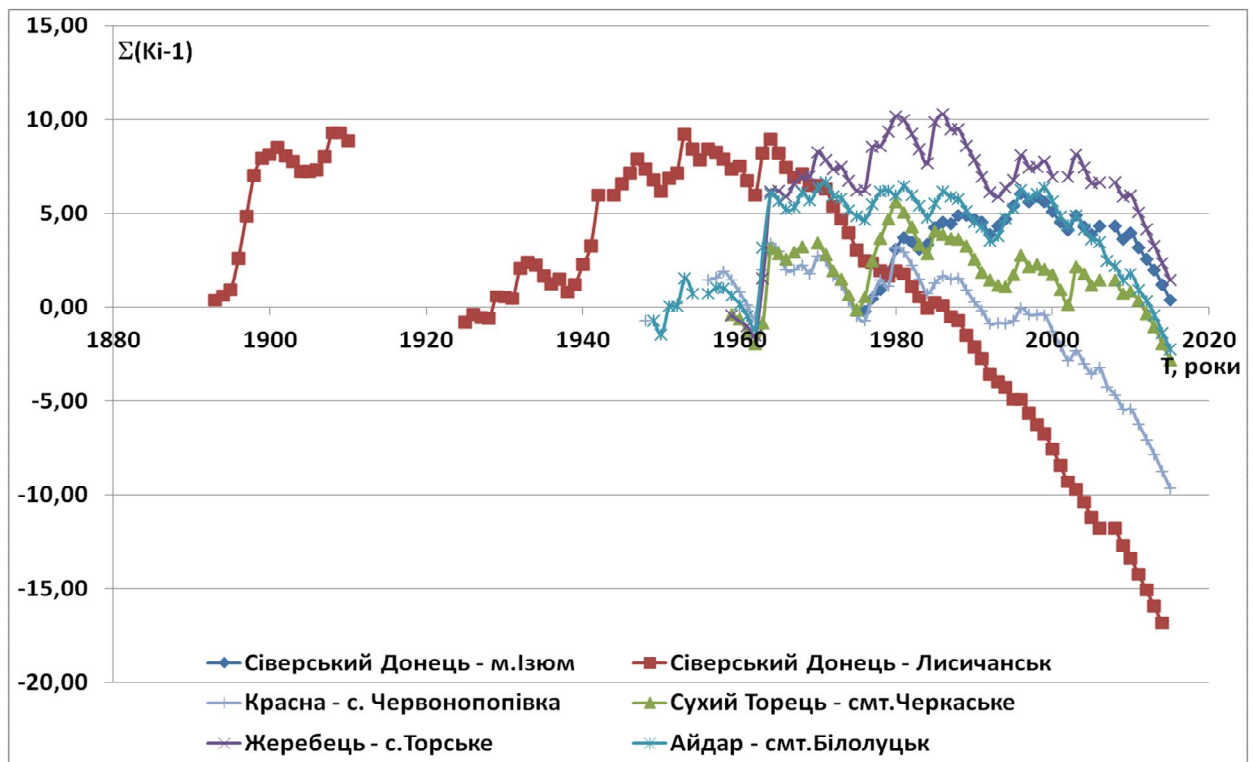


Рис.3.2 – Різницеви інтегральні криві шарів стоку весняного водопілля річок степової частини басейну Сіверського Дінця

### 3.3 Визначення статистичних характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні степової частини Сіверського Дінця

Відповідно до рекомендацій СНіП 2.01.14.83[16], статистична обробка рядів максимальних витрат і шарів стоку виконується з використанням кривих біноміального і трипараметричного гамма-розподілу.

Основні статистичні характеристики – це середні значення рядів, коефіцієнти варіації і асиметрії розраховані за допомогою методів моментів і найбільшої правдоподібності. Результати розрахунків для річок в басейні Сіверського Дінця представлені в табл.3.1 та дод.А-Б.

Таблиця 3.1 – Характерні величини параметрів  $C_v$ ,  $C_s$  і  $C_s/C_v$  часових рядів максимальних витрат та шарів стоку весняного водопілля в басейні Сіверського Дінця (степова зона)

№	Характеристика	Характерні величини	Метод моментів				Метод найбільшої правдоподібності		
			$C_v$	$C_s$	$r(1)$	$C_s/C_v$	$C_v$	$C_s$	$C_s/C_v$
1	Витрати води	Середн.	1,05	2,06	0,17	1,95	1,09	2,75	2,49
		Мінім.	0,59	0,25		0,40	0,60	0,31	0,50
		Макс.	1,58	3,57		3,80	1,64	5,31	4,90
2	Шар стоку	Середн.	0,74	1,36	0,15	1,77	0,76	1,72	2,13
		Мінім.	0,53	0,45		0,80	0,53	0,5	0,80
		Макс.	1,22	2,69		2,90	1,33	5,42	4,10

Аналіз отриманих величин показує, що розрахунок за методом моментів та найбільшої правдоподібності дає практично однакові результати. Мінімальне значення коефіцієнту варіації максимальних витрат води  $C_v$  становить 0,59 (р.Деркул-х.Юганів), максимальне – 1,58 (р.Казенний Торець - смт Райське); середнє значення відношень  $C_s/C_v$  приймається рівним 2.5[30].

Для шарів стоку весняного водопілля розрахований за методом моментів параметр  $C_v$  змінюється від 0,53 (р.Уди - м. Безлюдівка) до 1,22 (р.Мокра



Плотва-м.Карло-Лібкнехтівськ);  $C_s$  – від 0,45 (р.Сіверський Донець - с.Протопопівка) до 2,69 (р.Мокра Плотва-м.Карло-Лібкнехтівськ).

За методом найбільшої правдоподібності мінімальне значення коефіцієнту варіації  $C_v$  складає 0,53 (р.Уди - м. Безлюдівка), максимальне – 1.33 (р.Мокра Плотва - м.Карло-Лібкнехтівськ); середнє значення відношень  $C_s/C_v$  приймається рівним 2[30].

За відомих значень статистичних параметрів витрати води або шари стоку заданої забезпеченості визначаються з використанням біноміальної кривої, або три параметричного гама-розподілу. У першому випадку розрахункові значення отримуються по формулах:

$$Q_p = Q_m [1 + C_v \Phi(P, C_v)], \quad (3.22)$$

або

$$Y_p = Y_m [1 + C_v \Phi(P, C_s)]. \quad (3.23)$$

Нормовані ординати розподілу Пірсона III типу  $\Phi=f(P, C_s)=(k_p-1)/C_v$  приведені в таблиці [14].

При використанні три параметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля:

$$Q_p = k_p Q_m, \quad (3.24)$$

або

$$Y_p = k_p Y_m, \quad (3.25)$$

де  $k_p$  - модульні коефіцієнти, які вибирають з таблиці залежно від співвідношення  $C_s/C_v$ , заданої забезпеченості  $P_{1\%}$  і коефіцієнта варіації  $C_v$ .

Розраховані за формулами (3.24-3.25) значення витрат води та шарів стоку представлені в табл.3.2-3.3. Точність визначення квантелей представлена у табл.3.4, для досліджуваної території вона складає  $\pm 16,7\%$ .

Таблиця 3.2 – Розрахунок максимальних витрат весняного водопілля 1, 3, 5,10%-ої забезпеченості ( $P=1, 3, 5, 10\%$ ) при  $C_s=2,5C_v$  для річок в межах степової частини басейну Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	$\bar{Q}_m$ , м <sup>3</sup> /с	$C_v$	$Q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{3\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{5\%}$ , м <sup>3</sup> /с	$Q_{10\%}$ , м <sup>3</sup> /с
1	Сіверський Донець - Ізюм	367	1,00	1753	1284	1079	814
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	807	0,88	3488	2562	2186	1692
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	827	0,83	3348	2513	2159	1690
4	Сіверський Донець - Кружилівка	591	0,92	2583	1937	1645	1264
5	Казенний Торець-сmt Райське	24,0	1,71	197	127	99	65
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	37,3	1,30	213	160	130	92
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	41,3	1,52	298	201	159	107
8	Бахмут-м.Артемівськ	8,69	0,96	40	29	25	19
9	Бахмут-м.Сіверськ	42,6	1,61	328	215	169	112
10	Жеребець-с.Торське	28,2	1,36	183	125	101	70
11	Красна-с.Червонопопівка	87,1	1,26	524	365	297	212
12	Айдар-сmt Білолуцьк	131	1,28	801	556	450	320
13	Айдар-с.Бахмутівка	252	0,94	1130	838	710	544
14	Євсуг-сmt Петрівка	25,1	0,95	114	85	71	54
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	19,0	1,39	126	86	69	48
16	Лугань-м.Луганськ	49,6	1,07	237	174	146	110
17	Деркул-х.Юганів	124	0,60	372	300	266	221

Таблиця 3.4 – Розрахунок максимальних шарів стоку весняного водопілля  
1, 3, 5, 10%-ої забезпеченості ( $P=1, 3, 5, 10\%$ ) при  $C_s=2C_v$  для річок в  
межах степової частини басейну Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	$C_v$	$\bar{Y}_m$ , мм	$Y_{1\%}$ , мм	$Y_{3\%}$ , мм	$Y_{5\%}$ , мм	$Y_{10\%}$ , мм
1	Сіверський Донець - Ізюм	0,66	33	106	84	74	60
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	0,64	34	106	85	75	61
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	0,65	35	111	88	77	63
4	Сіверський Донець - Кружилівка	0,65	26	84	66	58	47
5	Казенний Торець- смт Райське	0,97	16	76	56	47	36
6	Кривий Торець- смт Олексієво-Дружківка	0,77	19	72	56	48	38
7	Сухий Торець-смт Черкаське	1,03	20	94	70	59	44
8	Бахмут-м.Артемівськ	0,62	20	63	50	45	37
9	Бахмут-м.Сіверськ	0,94	19	85	63	53	41
10	Жеребець-с. Торське	1,10	22	115	83	69	51
11	Красна-с.Червонопопівка	0,89	28	120	89	72	59
12	Айдар-смт Білолуцьк	0,93	37	167	124	124	80
13	Айдар-с.Бахмутівка	0,74	36	122	99	86	69
14	Євсуг-смт Петрівка	0,96	26	119	88	74	56
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	1,05	18	90	65	54	41
16	Лугань-м.Луганськ	0,81	20	77	59	51	40
17	Деркул-х.Юганів	0,64	25	81	64	57	46

Таблиця 3.5 - Оцінка точності обчислення максимальних витрат води опорної забезпеченості  $P=1\%$ .

№ п/п	річка-пост	$Q_{1\%}, \text{м}^3/\text{с}$	n	$C_v$	$E_\sigma$	$\sigma Q_{1\%}$
1	Сіверський Донець - Ізюм	367	74	1,00	1,21	14,1
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	807	106	0,88	1,10	10,7
3	Сіверський Донець - Стан. Луганська	827	40	0,83	1,10	17,4
4	Сіверський Донець - Кружилівка	591	58	0,92	1,18	15,5
5	Казенний Торець- смт Райське	24,0	59	1,71	1,24	16,1
6	Кривий Торець- смт Олексієво- Дружківка	37,3	63	1,30	1,24	15,6
7	Сухий Торець-смт Черкаське	41,3	56	1,52	1,24	16,6
8	Бахмут-м.Артемівськ	8,69	45	0,96	1,19	17,7
9	Бахмут-м.Сіверськ	42,6	56	1,61	1,24	16,6
10	Жеребець-с.Торське	28,2	54	1,36	1,24	16,9
11	Красна-с.Червонопопівка	87,1	61	1,26	1,24	15,9
12	Айдар-смт Білолуцьк	131	66	1,28	1,24	15,3
13	Айдар-с.Бахмутівка	252	27	0,94	1,19	22,9
14	Євсуг-смт Петрівка	25,1	52	0,95	1,19	16,5
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	19,0	66	1,39	1,24	15,3
16	Лугань-м.Луганськ	49,6	52	1,07	1,24	17,2
17	Деркул-х.Юганів	124	25	0,60	1,18	23,6
Середнє $\pm 16,7\%$						

При розрахунках максимального стоку опорною є забезпеченість 1%, а можливі випадки, коли при проектних розрахунках необхідні значення інших забезпеченостей. Для переходу від опорної забезпеченості до  $P=3,5,10\%$  побудовані залежності (рис.3.3-3.4) на основі яких складена таблиця відповідних перехідних коефіцієнтів (табл.3.6).

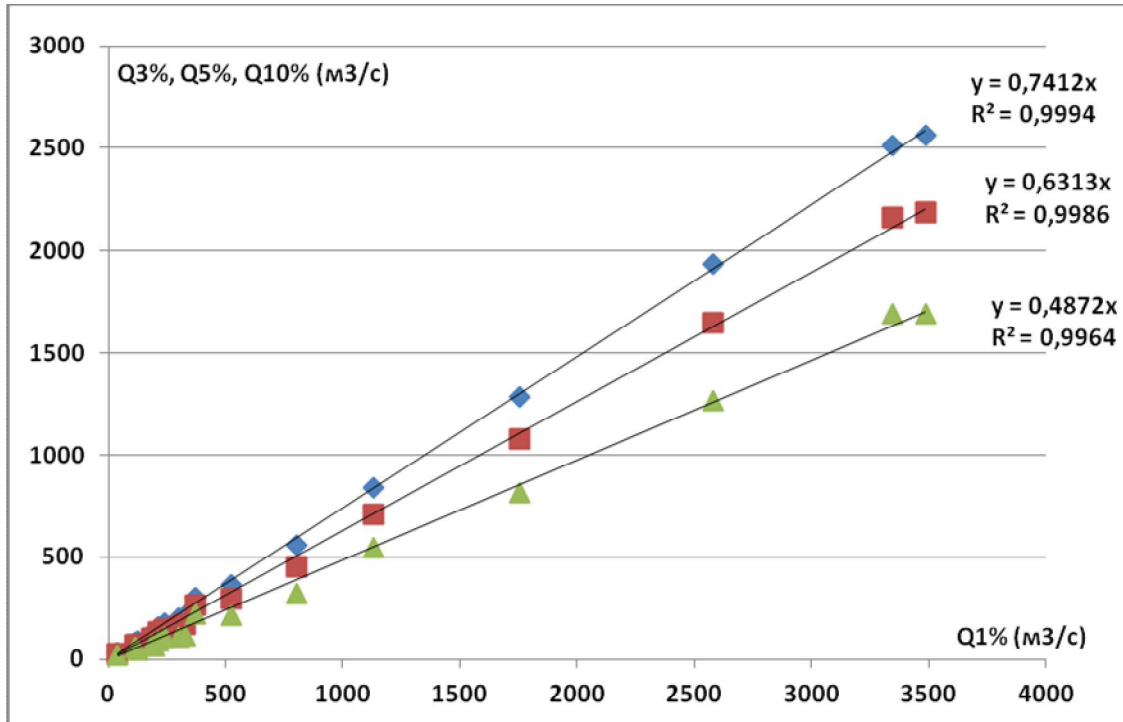


Рис.3.3- Залежність між максимальними витратами води різної забезпеченості

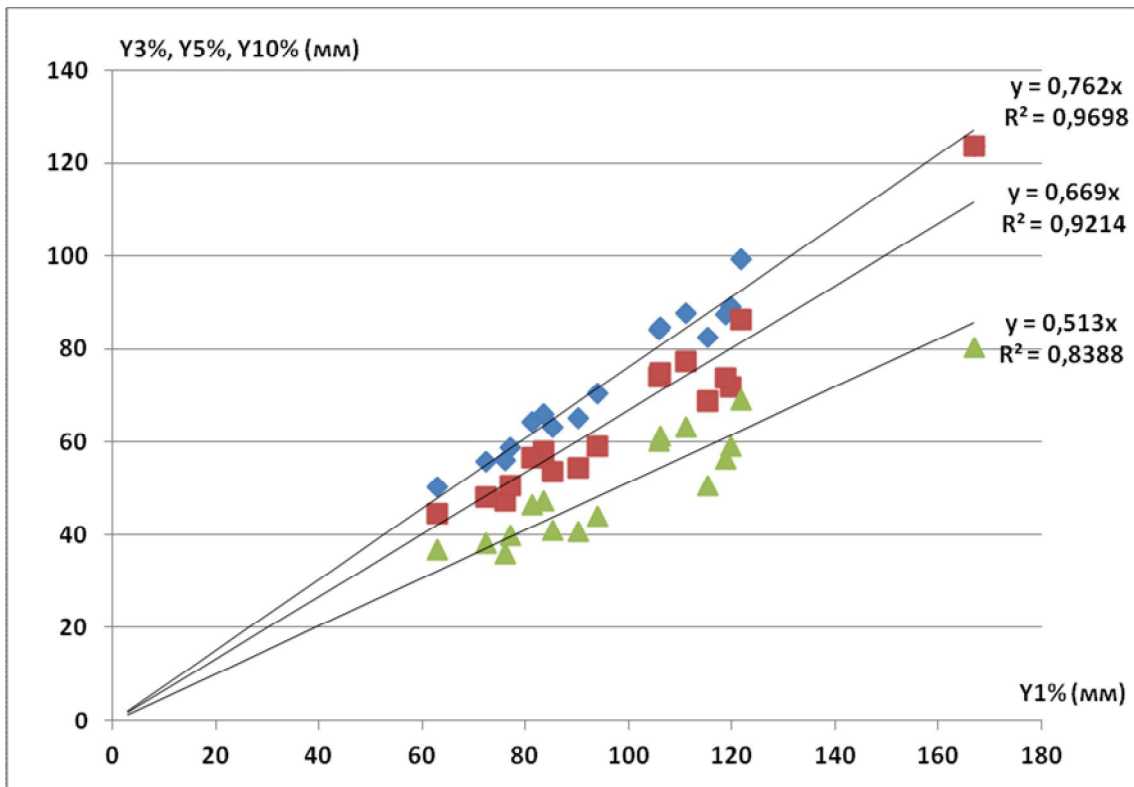


Рис.3.4- Залежність між шарами стоку весняного водопілля різної забезпеченості

Таблиця 3.6 - Перехідні коефіцієнти  $\lambda_p$  для території степової частини Сіверського Дінця

$\lambda_p$ \ P, %	1,0	3,0	5,0	10,0
Максимальні витрати води	1,0	0,74	0,63	0,49
Шари стоку весняного водопілля	1,0	0,76	0,68	0,51

### 3.4 Узагальнення шарів стоку весняного водопілля в басейні степової частини Сіверського Дінця

Наступною задачею, після визначення статистичних характеристик заданої ймовірності перевищення, є їх узагальнення в межах досліджуваної території для подальшої можливості визначення цих характеристик для невивчених у гідрологічному відношенні річок.

Характеристик максимального стоку весняного водопілля, зазвичай підкорюються географічній зональності, що є підставою для їх картування. При наявності на водозборі значної залісеності та заболоченості необхідно дослідити їх можливий вплив для отримання поплавкових коефіцієнтів, якщо розглядаються гірські водозбори обов'язковим є дослідження впливу висоти місцевості.

Розглядувана територія є рівнинною, тому перш за все необхідно побудувати залежність досліджуваних шарів стоку від широти центрів тяжіння водозборів. Така залежність представлена на рис.3.5 та показує, що широти місцевості значущий, отже шари стоку весняного водопілля можуть бути представлені у вигляді карти ізолій. Діапазон зміну середніх висот водозборів незначний (від 130 до 220 м), залісеність змінюється в межах від 1 до 11%, але в зоні недостатньої зволоженості навіть незначна залісеність може вплинути на величину стоку, тому необхідно дослідити можливу залежність шарів стоку весняного водопілля від цієї характеристики. Як добре ілюструє рис.3.6., в межах розглядуваної території вплив залісеності на

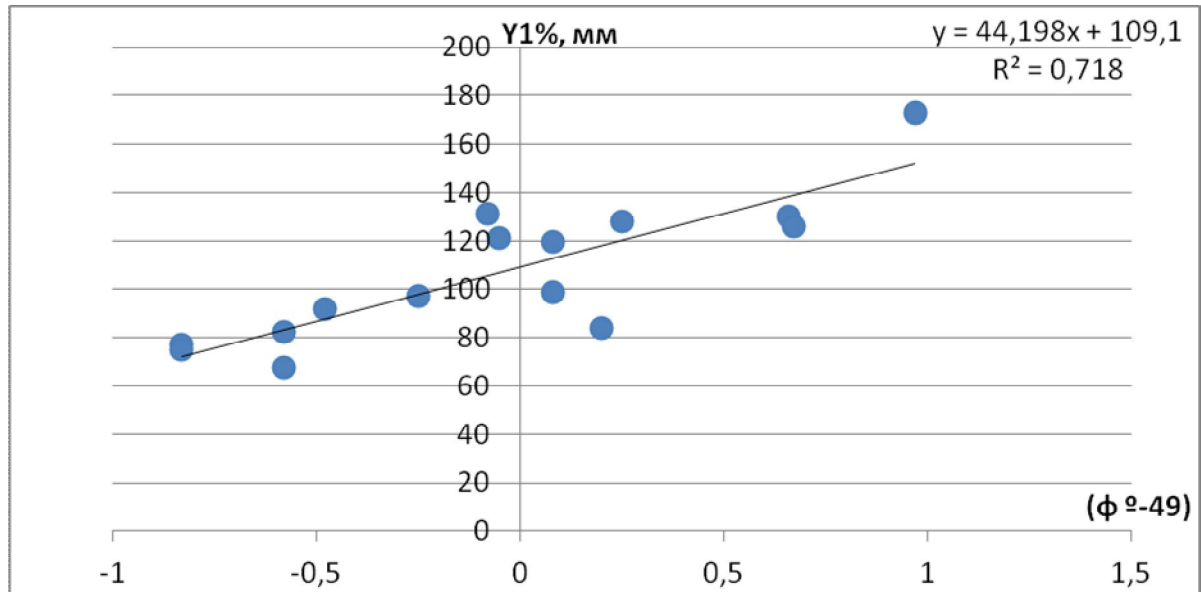


Рис.3.5- Залежність шарів стоку весняного водопілля від широти центрів тяжіння досліджуваних водозборів

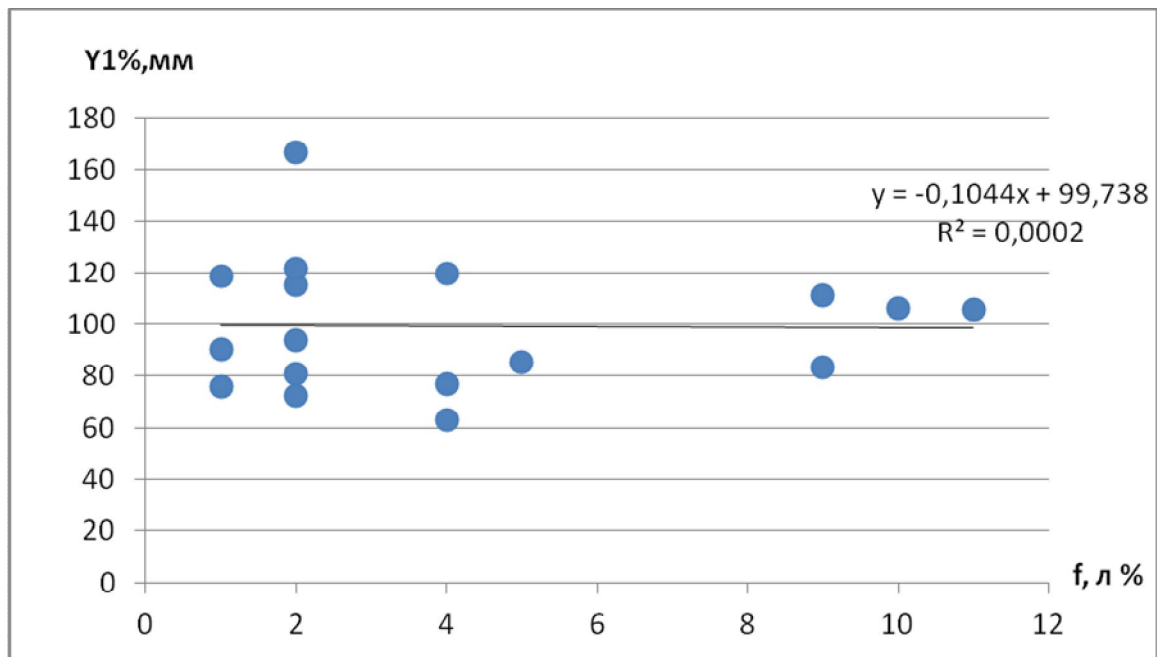
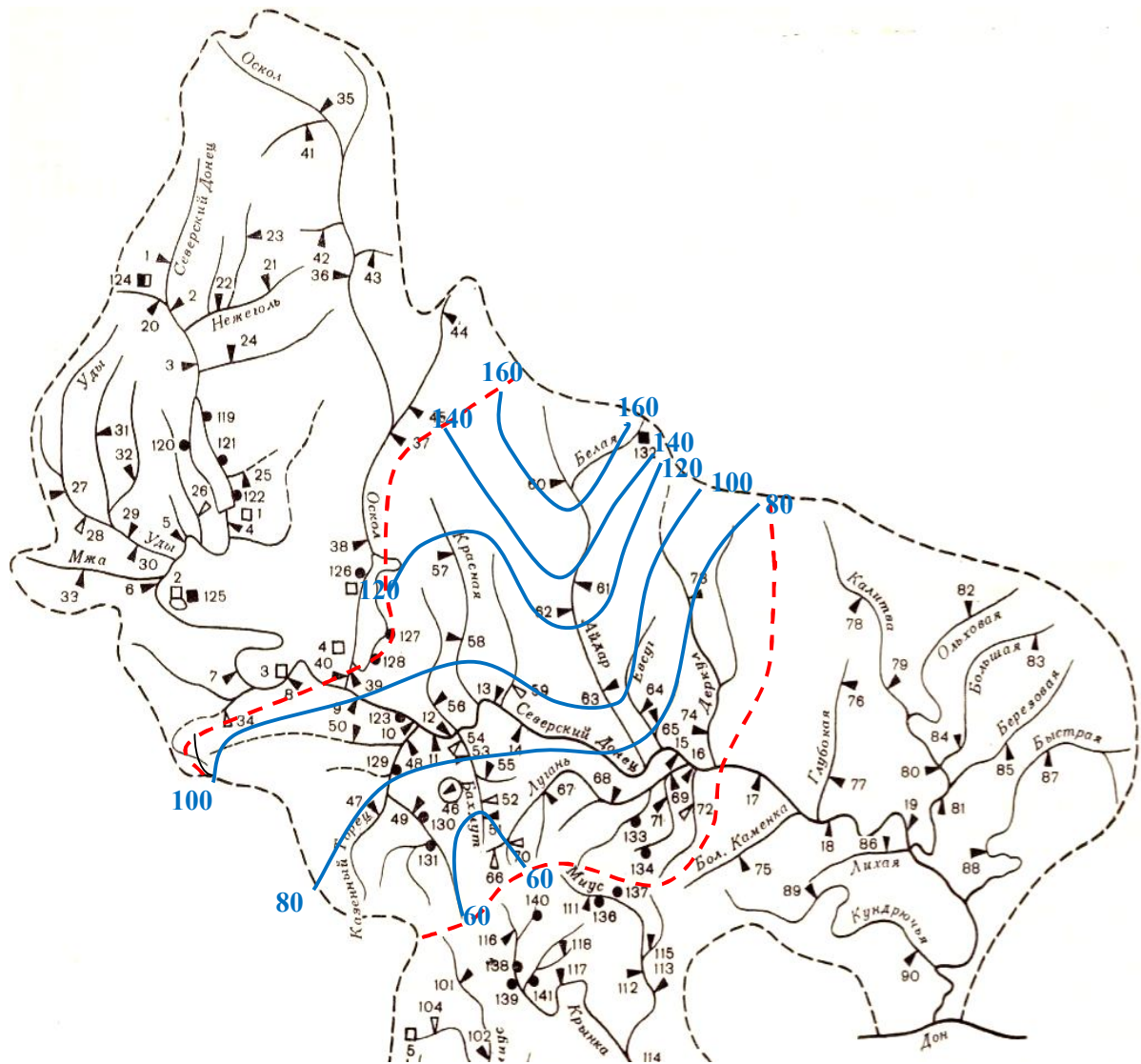


Рис.3.6 - Зміна шарів стоку весняного водопілля в залежності від залісеності досліджуваних водозборів.

шари стоку весняного водопілля відсутній. Проведений аналіз впливу стокоформуєчих факторів показав доцільність узагальнення шарів стоку весняного водопілля у вигляді карти ізоліній, яка представлена на рис.3.7.



--- - межа досліджуваної території

Рис. 3.7. - Карта-схема розподілу шарів стоку весняного водопілля 1%-ої ймовірності перевищення у степовій частині басейну р. Сіверський Донець в межах України,  $Y_{1\%}$ , мм .



#### 4. Обґрунтування основних параметрів регіональної методики для визначення максимального стоку невивчених річок в межах степової частини басейну Сіверського Дінця

##### 4.1. Визначення складових максимального модуля схилового припливу

Як показано в п.2.6, розрахункова структура для нормування характеристик максимального стоку має вигляд (2.88):

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

де  $r$  – коефіцієнт редукції  $q_m$  під впливом озер, водосховищ, ставків проточного типу;  $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  – трансформаційна функція;  $\varepsilon_F$  – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;  $q'_m$  – модуль схилового припливу, який за дослідженнями [11-13] безпосередньо залежить від трьох складових схилових гідрографів (шару стоку, тривалості припливу і коефіцієнта його часової нерівномірності). Визначається  $q'_m$  за формулою (2.89)

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m,$$

де  $\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі;  $T_0$  – тривалість схилового припливу.  $Y_m$  – максимальний шар стоку за період весняної повені.

**Визначення коефіцієнтів часової нерівномірності схилового припливу.** За відсутності спостережень за схиловим припливом, пропонується визначати коефіцієнт нерівномірності стоку у часі  $(n+1)/n$ , виходячи з аналізу характеристик річкового стоку [17,18,26]. Для обґрунтування методичних

підходів при визначенні коефіцієнтів нерівномірності схилового припливу  $(n + 1)/n$  використовується редукційне рівняння відносно  $q'_t$

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right]. \quad (4.1)$$

Виходячи з (4.1),

$$\frac{n + 1}{n} = \frac{q'_m T_0}{Y_m} = \frac{Q'_m T_0}{W}, \quad (4.2)$$

де  $Q'_m$  - максимальна витрата води схилового припливу.

Як показано в [11] за умови  $t_p = 0$  (що відповідає  $F = 0$ )  $T_n = T_0$ , тоді  $Q_m = Q'_m$ . Тобто коефіцієнт  $\left( \frac{m_1 + 1}{m_1} \right)_{F=0} = \frac{n + 1}{n}$ . У ряді робіт рекомендується

обчислювати  $\frac{m_1 + 1}{m_1}$  через середні багаторічні максимальні характеристики:  $Q_m$ ,

$Y_m$ ,  $T_{II}$ , тобто:

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

Розраховані за (4.3) величини  $\frac{m_1 + 1}{m_1}$  узагальнюються у вигляді залежності від площі водозборів. Описується така залежність рівнянням

$$\frac{m + 1}{m} = \frac{n + 1}{n} - a \lg(F + 1) \quad (4.4)$$

або

$$\frac{m + 1}{m} = \frac{n + 1}{n} e^{-a \lg(F + 1)}. \quad (4.5)$$

Саме ця методика визначення  $\frac{n+1}{n}$  використовується у багатьох регіональних дослідженнях максимального стоку річок України та інших країн [11-13] та рекомендується для визначення коефіцієнту нерівномірності схилового припливу на досліджуваній території.

Розраховані за (4.3) коефіцієнти  $(m_1 + 1)/m_1$  представлені в табл.4.1. Для річок басейну Сіверського Дінця (степова зона) вони змінюються в межах від 2,64 до 4,86, але переважно знаходяться в діапазоні 3.0-4.0.

За даними табл.4.1 побудована залежність, яка дозволяє досить просто екстраполювати її на вісь ординат з метою встановлення  $(n+1)/n$  (рис.4.1). Для річок Сіверського Дінця (степова зона) можна прийняти  $(n+1)/n=11,62$ , звідки  $n = 0,09$  [31].

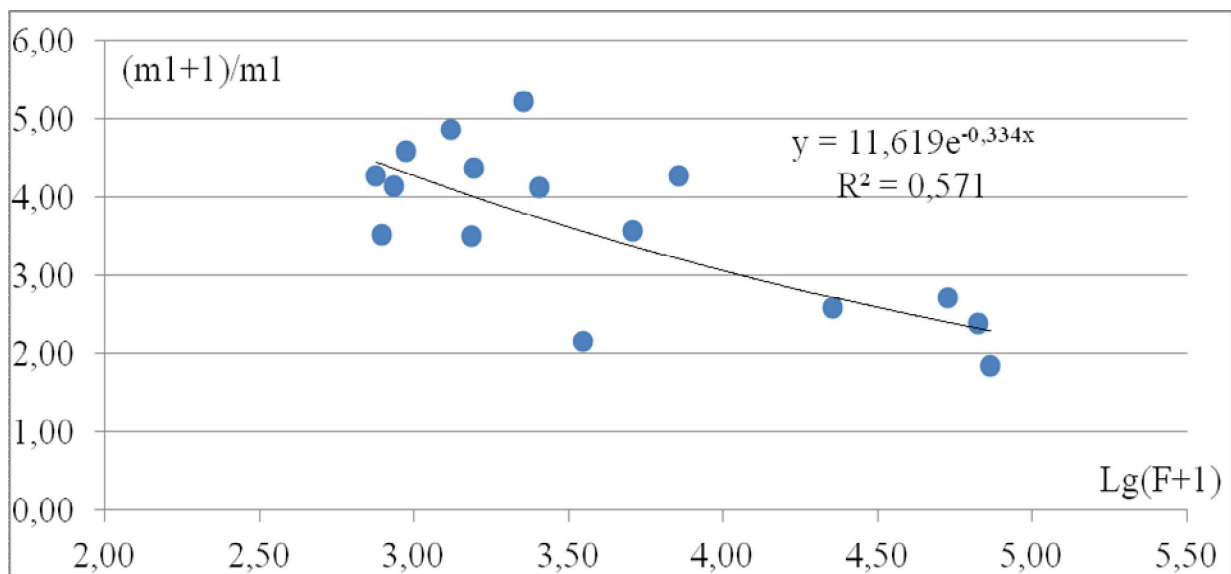


Рис. 4.1 – Залежність коефіцієнтів нерівномірності руслового стоку від площі водозборів річок басейну Сіверського Дінця (степова зона).

Таблиця 4.1 – Визначення коефіцієнтів нерівномірності руслового притоку в період весняного водопілля в степовій частині басейну Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	$\bar{Q}_m$ , м <sup>3</sup> /с	$\bar{Y}_m$ , мм	$T_n$ , діб	F, км <sup>2</sup>	$Lg(F+1)$	$\frac{m+1}{m}$
1	Сіверський Донець - Ізюм	366,8	33	60	22600	2,58	4,35
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	807,4	34	70	53400	2,71	4,73
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	826,7	35	77	66800	2,39	4,82
4	Сіверський Донець - Кружилівка	591,4	26	68	73200	1,85	4,86
5	Казенний Торець-сmt Райське	24,0	16	34	936	4,58	2,97
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	37,3	19	32	1530	3,49	3,18
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	41,3	20	35	1310	4,85	3,12
8	Бахмут-м.Артемівськ	8,7	20	28	433	2,38	2,64
9	Бахмут-м.Сіверськ	42,6	19	35	1560	4,36	3,19
10	Жеребець-с.Торське	28,2	22	32	857	4,14	2,93
11	Красна-с.Червонопопівка	87,1	28	39	2540	4,13	3,40
12	Айдар-сmt Білолуцьк	130,6	37	39	2250	5,22	3,35
13	Айдар-с.Бахмутівка	252,3	36	50	7160	4,28	3,85
14	Євсуг-сmt Петрівка	25,1	26	33	784	3,52	2,89
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	19,0	18	35	751	4,27	2,88
16	Лугань-м.Луганськ	49,6	20	35	3510	2,15	3,55
17	Деркул-х.Юганів	123,9	25	43	5090	3,57	3,71

**Визначення розрахункової тривалості схилового припливу води до руслової мережі.** Тривалість схилового припливу є важливим чинником трансформації атмосферних опадів на схилах, але безпосереднє спостереження за цією характеристикою в програмі стандартних гідрометеорологічних вимірів відсутнє. Вихід з цієї ситуації знайдено шляхом врахування цієї характеристики у формулах максимального стоку у тих чи інших розрахункові комплексах, тобто тривалість схилового припливу входить до них опосередковано[29]. На кафедрі гідрології суші ОДЕКУ запропонована обчислювальна програма «Сагуар», за допомогою якої автоматизовано процедуру пошуку  $T_0$  в структурі рівнянь:

$$\text{- при } \left( \frac{t_p}{T_0} \right) < 1,0$$

$$T_0 = \left( \frac{Y_m \varepsilon_F}{n q_m} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left[ (n+1) T_0^n - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}} ; \quad (4.6)$$

$$\text{- при } \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \geq 1,0$$

$$T_0 = \left[ \left( \frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} \right) \frac{m+n+1}{(n+1)} t_p^m \right]^{\frac{1}{m}} . \quad (4.7)$$

Отже, за допомогою програми «Сагуар» з використанням процедури поступових наближень визначені розрахункові значення шуканої величини  $T_0$  для всіх 17 водозборів, також на початковому етапі розрахунків визначені величини тривалості руслового добігання  $t_p$  та швидкості руслового добігання  $V_d$ . Результати розрахунків представлені в табл.4.2

Аналізуючи дані табл.4.2, можна відмітити що величини  $T_0$  змінюються в межах від 202 (р. Казенний Торець-сmt Райське) до 560 годин (р. Деркул-х.Юганів).

Таблиця 4.2 – Розрахунок тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі підчас весняного водопілля в степовій частині басейну Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	$Y_{1\%}$ , мм	$q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /скм <sup>2</sup>	$t_p$ , год.	$T_0$ , год.	$V_d$ , км/год.
1	Сіверський Донець - Ізюм	106	0,08	97,7	356	4,88
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	106	0,07	144	327	4,48
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	111	0,05	168	535	4,67
4	Сіверський Донець - Кружилівка	84	0,04	174	503	4,74
5	Казенний Торець-сmt Райське	76	0,21	12,4	202	5,4
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	72	0,14	16,2	256	5,07
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	94	0,23	17,5	208	4,75
8	Бахмут-м.Артемівськ	63	0,09	6,4	537	6,22
9	Бахмут-м.Сіверськ	85	0,21	14,1	211	5,6
10	Жеребець-с.Торське	115	0,21	17,6	313	4,6
11	Красна-с.Червонопопівка	120	0,21	26,1	246	4,55
12	Айдар-сmt Білолуцьк	167	0,36	18,2	219	4,46
13	Айдар-с.Бахмутівка	122	0,16	56,5	237	4,01
14	Євсуг-сmt Петрівка	119	0,15	17,5	500	4,69
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	90	0,17	13,0	320	5,08
16	Лугань-м.Луганськ	77	0,07	33,7	531	5,38
17	Деркул-х.Юганів	81	0,07	29,2	560	5,44

Дослідження впливу на тривалість схилового припливу зональних та інтразональних факторів показало, що в межах степової зони басейну Сіверського Дінця практично відсутня залежність досліджуваної величини від широти центрів тяжіння водозборів (рис.4.2). Від заболоченості та залісеності, так само як і для шару стоку  $Y_m$  значимих взаємозв'язків не просліджується.

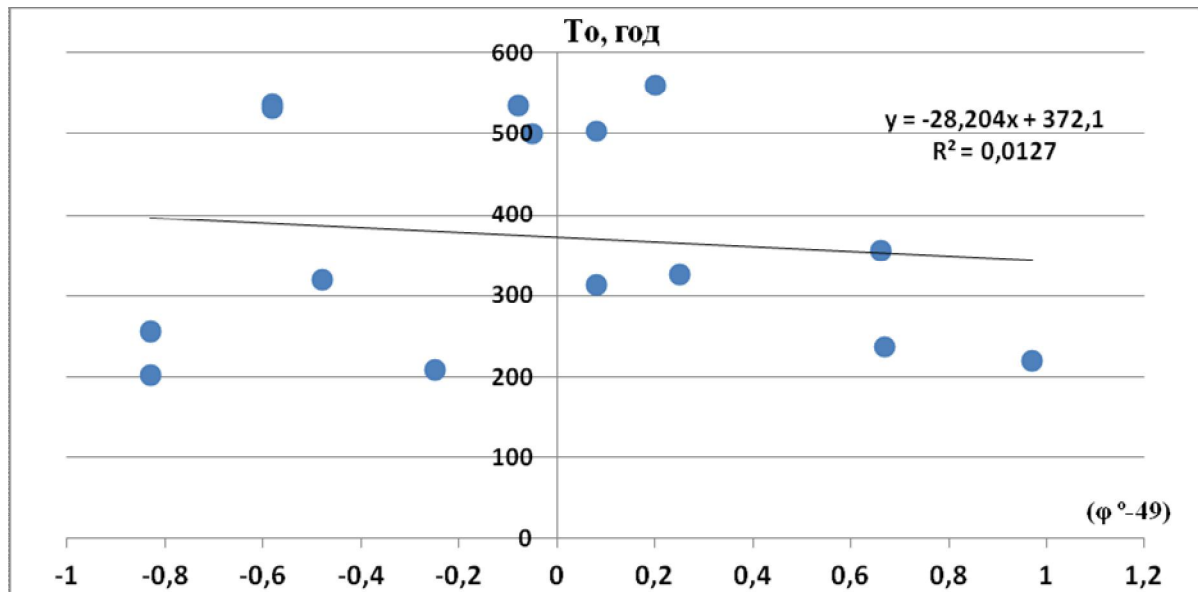


Рис. 4.2 – Зміна тривалості схилового припливу від широти центрів тяжіння водозборів річок басейну Сіверського Дінця (степова зона).

З літературних джерел [32] відомо, що на величину тривалості схилового припливу може суттєво вплинути карст. На досліджуваній території також виділяються окремі райони карсту, які територіально відповідають високим значенням схилового припливу (порядку 500 годин), в той час як на решті території середнє значення  $T_0$  становить приблизно 250 годин, отже підтверджується факт збільшення практично в 2 рази тривалості схилового припливу за рахунок карсту. Остаточний розрахунок та перевірка за критерієм Гауса[14] дозволяє виділити два райони (рис.4.3) з середнім значенням у районі 1 - 285 годин, а у карстовому районі 2 – 527 год.

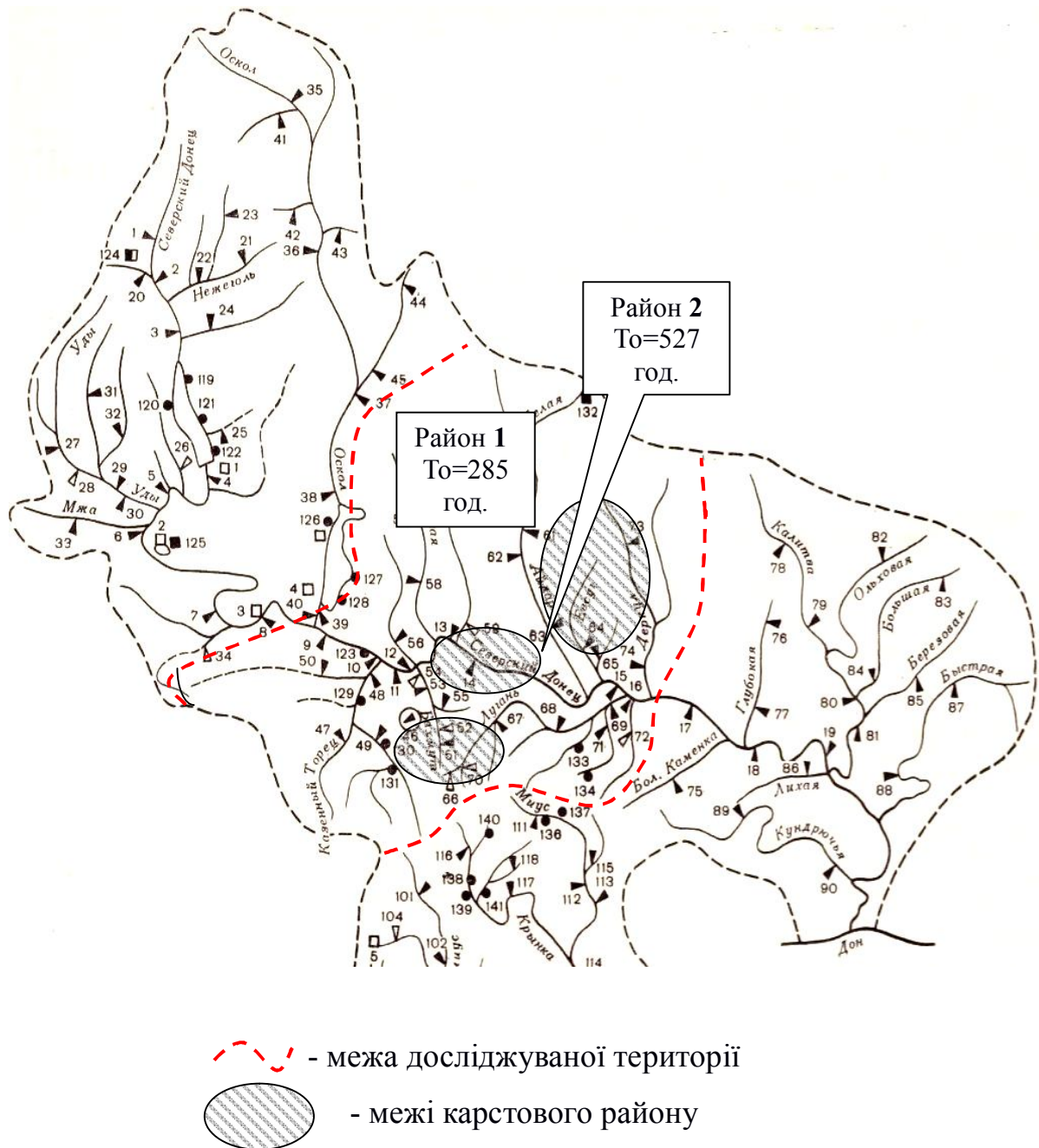


Рис. 4.3. - Карта-схема районування тривалості припливу води зі схилів під час весняного водопілля у степовій частині басейну р. Сіверський Донець в межах України.



**Максимальні модулі схилового припливу.** В попередніх підрозділах визначені всі складові вихідного виразу (2.89) для розрахунку максимальних модулів схилового припливу. В табл.4.3 представлені розрахункові значення максимальних модулів схилового припливу  $q'_m$ . Для річок даної території вони змінюються в широких межах – від  $0,39 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2$  (р. Бахмут-м.Артемівськ) до  $1,91 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2$  (р. Айдар-сmt Білолуцьк).

Таблиця 4.3– Розрахунок максимальних модулів схилового припливу підчас весняного водопілля в степовій частині басейну Сіверського Дінця (при  $(n+1)/n=11,62$ )

№ п/п	Річка-пост	$Y_{1\%},$ мм	$T_0,$ год	$q'_{1\%},$ $\text{м}^3/\text{скм}^2$	$q_{1\%},$ $\text{м}^3/\text{скм}^2$	$\text{Lg}(q_{1\%}/q'_{1\%})$
1	Сіверський Донець - Ізюм	106	356	1,21	0,08	-1,18
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	106	327	1,21	0,07	-1,24
3	Сіверський Донець - Стан. Луганська	111	535	1,27	0,05	-1,40
4	Сіверський Донець - Кружилівка	84	503	0,52	0,04	-1,11
5	Казенний Торець-сmt Райське	76	202	0,87	0,21	-0,62
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	72	256	0,82	0,14	-0,77
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	94	208	1,07	0,23	-0,67
8	Бахмут-м.Артемівськ	63	537	0,39	0,09	-0,64
9	Бахмут-м.Сіверськ	85	211	0,97	0,21	-0,66
10	Жеребець-с.Торське	115	313	1,31	0,21	-0,80
11	Красна-с.Червонопопівка	120	246	1,37	0,21	-0,81
12	Айдар-сmt Білолуцьк	167	219	1,91	0,36	-0,72
13	Айдар-с.Бахмутівка	122	237	1,39	0,16	-0,94
14	Євсуг-сmt Петрівка	119	500	0,73	0,15	-0,69
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	90	320	1,03	0,17	-0,78
16	Лугань-м.Луганськ	77	531	0,48	0,07	-0,83
17	Деркул-х.Юганів	81	560	0,50	0,07	-0,85

Для подальших розрахунків побудована залежність співвідношення максимальних модулів руслового та схилового припливу від площі водозборів (рис.4.5).

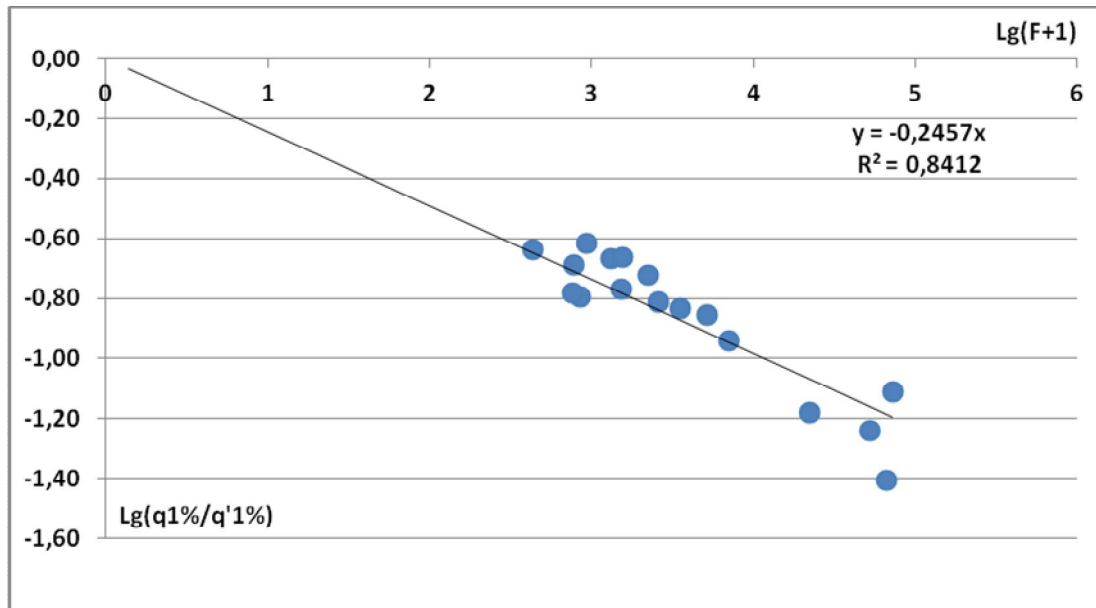


Рис.4.5 – Залежність співвідношення  $q_{1\%}/q'_{1\%}$  від площі водозборів досліджуваних річок.

Редукція максимального модуля  $q_{1\%}/q'_{1\%}$  описується рівнянням:

$$q_{1\%}/q'_{1\%} = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (4.8)$$

Для досліджуваної території показник ступеня  $n_1=0,246$ , а (4.8) набуває вигляду:

$$q_{1\%}/q'_{1\%} = \frac{1}{(F + 1)^{0,246}}. \quad (4.9)$$

Коефіцієнт достовірності апроксимації представленої залежності  $R^2$  становить 0.84, а коефіцієнт кореляції 0.916, отже відноситься до категорії вельми значущих, а отримана залежність може бути використана для визначення інших складових методики.

## 4.2 Обґрунтування редуційних функцій, які враховують форму водозборів, динаміки припливу води зі схилів до руслової мережі та русло-заплавне регулювання

В рамках запропонованої методики до таких функцій відносяться так звана трансформаційна функція та коефіцієнт русло-заплавного регулювання та водообміну, окремо може розглядатися трансформуючий вплив проточних озер та водосховищ.

Як показано в роз.2, *трансформаційна функція* визначається за формулами (2.84-2.87)

а) при  $t_p < T_0$

$$\Psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n;$$

б) при  $t_p \geq T_0$

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

в)  $t_p / T_0 = 0$

$$\Psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1.0.$$

г) при  $t_p \gg T_0$

$$\Psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0.$$

Аналіз табл.4.2 показує, що на річках досліджуваної території спостерігається «розвинутий», за класифікацією А.М.Бефані[21], тип стоку, тобто співвідношення  $t_p < T_0$ . Враховуючи значення отриманих раніше параметрів, районування території за тривалістю схилового припливу, а також

приймаючи  $m=1,0$ , можна записати регіональні розрахункові формули для трансформаційної функції:

а) для району 1

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,88\left(\frac{t_p}{285}\right)^{0,09}, \quad (4.10)$$

б) для району 2

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - 0,88\left(\frac{t_p}{527}\right)^{0,09}. \quad (4.11)$$

Результати розрахунку трансформаційної функції представлені в табл.4.4, а її залежність від співвідношення  $t_p/T_0$  - на рис.4.6. Представлений рисунок добре ілюструє властивості розглядуваної функції – змінюється вона в межах від 0 до 1.0, та має убутний характер по мірі зростання співвідношення  $t_p/T_0$ .

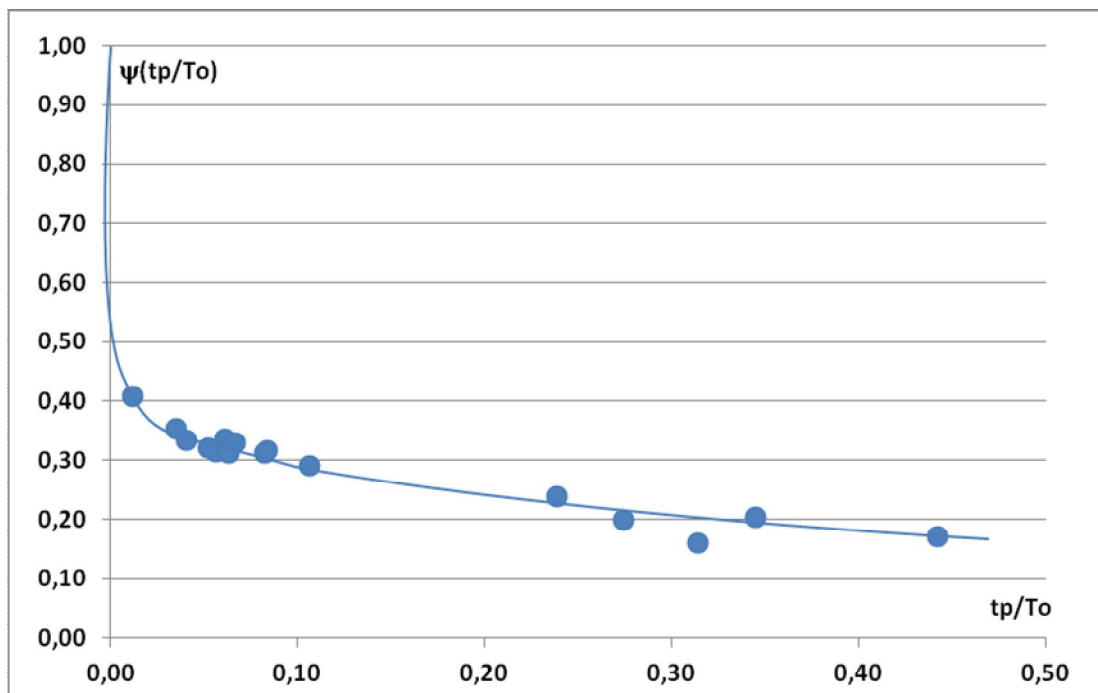


Рис.4.6 – Залежність трансформаційної функції від співвідношення  $t_p/T_0$  під час проходження весняного водопілля на річках степової частини басейну Сіверського Дінця.

Таблиця 4.3– Розрахунок трансформаційної функції для річок степовій частині басейну Сіверського Дінця (при  $n=0.09$ )

№ п/п	Річка-пост	$T_0$ , год.	$t_p$ , год.	$t_p/T_0$	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$
1	Сіверський Донець - Ізюм	285	97,7	0,27	0,20
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	285	144	0,44	0,17
3	Сіверський Донець - Стан. Луганська	285	168	0,31	0,16
4	Сіверський Донець - Кружилівка	527	174	0,35	0,20
5	Казенний Торець-снт Райське	285	12,4	0,06	0,34
6	Кривий Торець-снт Олексієво-Дружківка	285	16,2	0,06	0,32
7	Сухий Торець-снт Черкаське	285	17,5	0,08	0,32
8	Бахмут-м.Артемівськ	527	6,4	0,01	0,41
9	Бахмут-м.Сіверськ	285	14,1	0,07	0,33
10	Жеребець-с.Торське	285	17,6	0,06	0,32
11	Красна-с.Червонопопівка	285	26,1	0,11	0,29
12	Айдар-снт Білолуцьк	285	18,2	0,08	0,31
13	Айдар-с.Бахмутівка	285	56,5	0,24	0,24
14	Євсуг-снт Петрівка	527	17,5	0,03	0,35
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	285	13,0	0,04	0,33
16	Лугань-м.Луганськ	527	33,7	0,06	0,31
17	Деркул-х.Юганів	527	29,2	0,05	0,32

**Коефіцієнт русло-заплавного регулювання** відноситься до числа невимірюваних параметрів і визначається на останньому етапі шляхом оберненого розрахунку в межах основної формули (2.88) за виразом вигляду (2.09):

$$\varepsilon_F = \left( \frac{q_m}{q'_m} \right) / \left[ \psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \right].$$

Оскільки нам вдалося просторово узагальнити  $q_m / q'_m$  в залежності від розміру водозборів, то (2.90) матиме вигляд

$$\varepsilon_F = \frac{1}{(F + 1)^{0.246}} / \left[ \psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \right]. \quad (4.12)$$

Результати розрахунку  $\varepsilon_F$  представлені у табл.4.4, а для практичного використання пропонується залежність  $\varepsilon_F$  від площі водозбору  $F$ , яка представлена на рис.4.7.

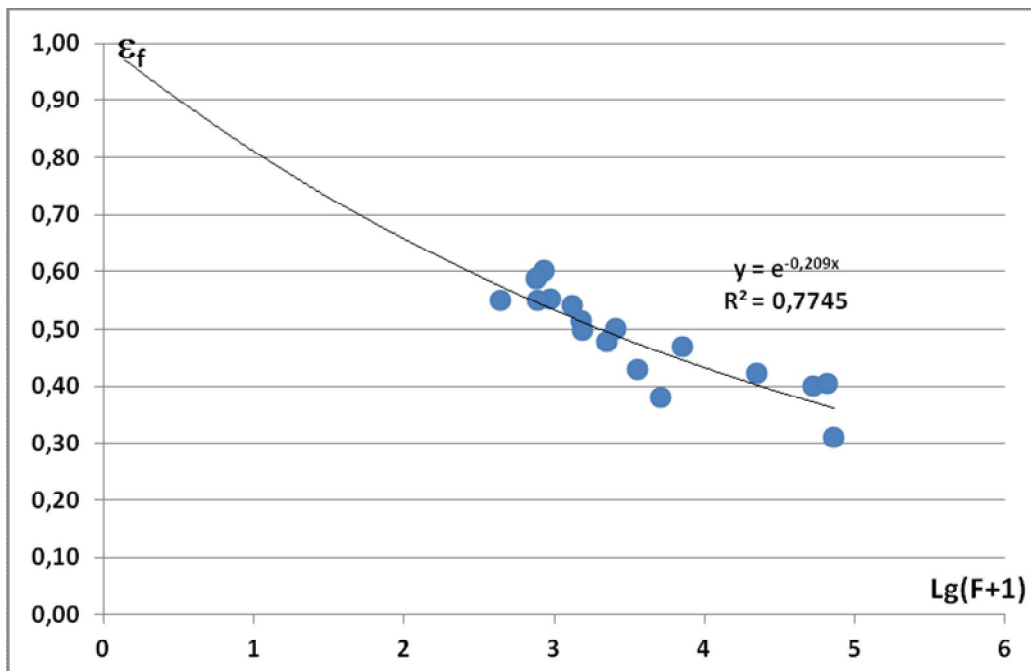


Рис.4.6 – Залежність коефіцієнту русло-заплавного регулювання під час проходження весняного водопілля на річках степової частини басейну Сіверського Дінця від площі водозборів.

Таблиця 4.4– Розрахунок коефіцієнту русло-заплавного регулювання для річок степовій частині басейну Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	F, км <sup>2</sup>	$\frac{1}{(F+1)^{0,246}}$	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	$\varepsilon_F$
1	Сіверський Донець - Ізюм	22600	0,08	0,20	0,42
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	52400	0,07	0,17	0,40
3	Сіверський Донець - Стан. Луганська	66800	0,07	0,16	0,40
4	Сіверський Донець - Кружилівка	73200	0,06	0,20	0,31
5	Казенний Торець-сmt Райське	936	0,19	0,34	0,55
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	1530	0,16	0,32	0,51
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	1240	0,17	0,32	0,54
8	Бахмут-м.Артемівськ	423	0,22	0,41	0,55
9	Бахмут-м.Сіверськ	1560	0,16	0,33	0,50
10	Жеребець-с.Торське	857	0,19	0,32	0,60
11	Красна-с.Червонопопівка	2540	0,15	0,29	0,50
12	Айдар-сmt Білолуцьк	2250	0,15	0,31	0,48
13	Айдар-с.Бахмутівка	7160	0,11	0,24	0,47
14	Євсуг-сmt Петрівка	784	0,19	0,35	0,55
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	715	0,20	0,33	0,59
16	Лугань-м.Луганськ	3510	0,13	0,31	0,43
17	Деркул-х.Юганів	5090	0,12	0,32	0,38

### 4.3 Перевірка адекватності запропонованої регіональної методики матеріалам спостережень

1. Регіональна формула для визначення максимального модулю стоку весняного водопілля степовій частині басейні Сіверського Дінця

$$q_{p\%} = q'_{1\%} \psi(t_p / T_0) \epsilon_F \lambda_P, \text{ м}^3/\text{скм}^2 \quad (4.13)$$

Для того, щоб отримати значення  $q_{p\%}$  необхідно мати такий мінімум вихідних даних: площа водозбору  $F$  (км<sup>2</sup>), координати центрів тяжіння водозборів, довжина річки  $L$  (км), середньозважений ухил  $I_{cp}$  (‰).

#### Порядок розрахунку:

1. Параметри схилового припливу для розрахунку  $q'_{1\%}$  визначаються таким чином:

1.1. Для території степової частини Сіверського Дінця коефіцієнт нерівномірності схилового припливу  $\frac{n+1}{n}$ , осереднений та дорівнює 11,62;

1.2. В залежності від району по карті (рис. 4.3) визначається  $T_0$ .

1.3 Шари стоку весняного водопілля  $Y_{1\%}$  визначаються за картою ізолій, яка представлена на рис. (рис. 3.7).

2. Визначення трансформаційної функції  $\psi(t_p / T_0)$  виконується за формулами (4.10) та (4.11) в залежності від районування, представленого на рис.4.3.

2.1. Час руслового добігання  $t_p$  встановлюється по регіональній формулі:

$$t_p = \frac{L}{1,19 F^{0.14} I_{cp}^{0.33}}, \text{ км/год}, \quad (4.14)$$

де  $F$  - площа водозбору (км<sup>2</sup>),  $L$ - гідрографічна довжина річки (км),  $I_{cp}$  - середньозважений ухил (‰).



3. Коефіцієнт русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$  встановлюється за залежністю  $\varepsilon_F = f(F)$ , яка може бути представлена формулою виду:

$$\varepsilon_F = \exp^{-0.209Lg(F+1)}. \quad (4.15)$$

4. Перехідний коефіцієнт  $\lambda_P$  представлений в табл. 3.6.

Таким чином, коли усі складові розрахункової формули для визначення максимального модуля стоку весняного водопілля 1% ймовірності перевищення визначені, представляється можливим оцінити адекватності запропонованої регіональної методики матеріалам спостережень. Ця задача може бути вирішена шляхом оцінки середнього відхилення розрахункових значень від фактичних, визначених за матеріалами спостережень за формулою виду:

$$\Delta = \frac{|q_{1\%P} - q_{1\%Ф}|}{q_{1\%Ф}} \cdot 100\%. \quad (4.16)$$

де  $q_{1\%Ф}$  - фактичні значення  $q_{1\%}$ ,  $q_{1\%P}$  - розраховані за методикою.

Результати перевірочних розрахунків представлені в табл.4.5. Середнє відхилення розрахункових даних від фактичних в межах розглядуваної території, складає  $\pm 14,1\%$ , що знаходиться на рівні точності визначення максимальних витрат води 1%-ої забезпеченості ( $\pm 16,7\%$ ) та є задовільним результатом.

Таблиця 4.5– Перевірні розрахунки для річок степовій частині басейну  
Сіверського Дінця

№ п/п	Річка-пост	$T_0$ , год.	$Y_{1\%}$ карта, мм	$q'_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$	$\varepsilon_F$	$q_{1\%p}$ , м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$q_{1\%ф}$ , м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$\Delta$ , %
1	Сіверський Донець - Ізюм	285	110	1,26	0,20	0,40	0,10	0,08	27,0
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	285	105	1,20	0,17	0,37	0,08	0,07	10,0
3	Сіверський Донець - Стан. Луганська	285	100	1,14	0,16	0,37	0,07	0,05	34,2
4	Сіверський Донець - Кружилівка	527	90	0,56	0,20	0,36	0,04	0,04	2,5
5	Казенний Торець-сmt Райське	285	80	0,91	0,34	0,54	0,17	0,21	21,4
6	Кривий Торець-сmt Олексієво-Дружківка	285	70	0,86	0,32	0,51	0,13	0,14	5,9
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	285	90	1,3	0,32	0,52	0,17	0,23	26,6
8	Бахмут-м.Артемівськ	527	60	0,7	0,41	0,58	0,09	0,09	3,3
9	Бахмут-м.Сіверськ	285	75	0,6	0,33	0,51	0,14	0,21	31,2
10	Жеребець-с.Торське	285	110	1,26	0,32	0,54	0,21	0,21	2,1
11	Красна- с.Червонопопівка	285	120	1,37	0,29	0,49	0,19	0,21	7,2
12	Айдар-сmt Білолуцьк	285	160	1,83	0,31	0,50	0,28	0,36	21,1
13	Айдар-с.Бахмутівка	285	120	1,37	0,24	0,45	0,15	0,16	8,4
14	Євсуг-сmt Петрівка	527	110	0,68	0,35	0,55	0,13	0,15	12,8
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	285	70	0,80	0,33	0,55	0,15	0,17	14,1
16	Лугань-м.Луганськ	527	70	0,43	0,31	0,48	0,06	0,07	8,0
17	Деркул-х.Юганів	527	80	0,49	0,32	0,46	0,07	0,07	4,5
Середнє ±14,1%									

## ВИСНОВКИ

- Аналіз літературних джерел показав, що степова зона басейну Сіверського Дінця відноситься до найвірогіднішої зони можливих повеней на території України у східному регіоні.
- В останні роки провідними вченими-гідрологами проведено низки досліджень щодо впливу змін клімату на водний режим річок. Зокрема для басейну Сіверського Дінця, за результатами дослідження характерна тенденція до більш ранніх дат сніготанення та проходження водопілля.
- Для розрахунку використані сучасні вихідні дані с періодом спостережень від їх початку до 2015р. включно.
- Проведений аналіз існуючих методик для визначення максимального стоку весняного водопілля, дозволив обрати в якості розрахункової операторну модель Є.Д.Гопченка для обґрунтування регіональних параметрів в досліджуваному басейні Сіверського Дінця.
- Аналіз циклічності коливань максимального стоку весняного водопілля показав, що всі річки, за виключенням ряду витрат води на р.Жеребець-с.Торське, мають синхронні коливання водності та можуть бути віднесені до одного гідрологічного району.
- Характерною рисою для всіх досліджуваних річок є тривала маловодна фаза, яка почалась з 1970-1975 років й триває дотепер. Також слід відмітити, що границі фаз відрізняються в залежності від періоду спостережень, зокрема від його початку.
- Результати статистичної обробки показали, що розрахунок за методом моментів та найбільшої правдоподібності дає практично однакові результати. Мінімальне значення коефіцієнту варіації максимальних витрат води  $C_v$  становить 0,59 (р.Деркул-х.Юганів), максимальне – 1,58 (р.Казенний Торець - смт Райське); середнє значення відношення  $C_s/C_v$  приймається рівним 2.5.

- Для шарів стоку весняного водопілля розрахований за методом моментів параметр  $C_v$  змінюється від 0,53 (р. Уди - м. Безлюдівка) до 1,22 (р. Мокра Плотва-м. Карло-Лібкнехтівськ);  $C_s$  – від 0,45 (р. Сіверський Донець-с. Протопопівка) до 2,69 (р. Мокра Плотва-м. Карло-Лібкнехтівськ). За методом найбільшої правдоподібності мінімальне значення коефіцієнту варіації  $C_v$  складає 0,53 (р. Уди - м. Безлюдівка), максимальне – 1,33 (р. Мокра Плотва-м. Карло-Лібкнехтівськ); середнє значення відношень  $C_s/C_v$  приймається рівним 2.

- Проведений аналіз впливу стокоформуєчих факторів показав доцільність узагальнення шарів стоку весняного водопілля у вигляді карти ізолій, в межах басейну 1%-ві шари стоку змінюються в діапазоні від 160 до 60 мм в напрямку за північного сходу на південний захід.

- Тривалість схилового припливу узагальнена за територією у вигляді карти районів з середнім значенням у районі 1 - 285 годин, а у карстовому районі 2 – 527 год.

- Максимальні модулі схилового припливу для річок досліджуваної території змінюються в широких межах – від  $0,39 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2$  (р. Бахмут-м. Артемівськ) до  $1,91 \text{ м}^3 / \text{с} \cdot \text{км}^2$  (р. Айдар-смт Білолуцьк).

- Для визначення трансформаційної функції обґрунтована регіональна формула, за якою для всіх розглядуваних водозборів визначені її значення.

- Коефіцієнт русло-заплавного водообміну та регулювання узагальнений у вигляді залежності від площі водозбору. Для практичного використання рекомендується формула експоненційного вигляду.

- Результати перевірочних розрахунків показали, що середнє відхилення розрахункових даних від фактичних в межах розглядуваної території, складає  $\pm 14,1\%$ , що знаходиться на рівні точності визначення максимальних витрат води 1%-ої забезпеченості ( $\pm 16,7\%$ ) та є задовільним результатом.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. 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. URL: <http://www.isgeo.kiev.ua> (дата звернення: 15.03.2015).
2. Гребінь В.В, Мокін В.Б., Стащук В.А., Хільчевський В.К., Яцюк М.В., Чунарьов О.В., Крижановський Є.М., Бабчук В.С., Ярошевич О.Є. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної рамкової директиви Європейського Союзу. Київ: Інтерпрес ЛТД, 2013, 55 с.
3. Ресурсы поверхностных вод СССР. Т.6. Украина и Молдавия. Вып.3. Бассейн Северского Донца и реки Приазовья / Под ред. М.С.Каганера. – Л.: Гидрометеиздат, 1967. 492 с.
4. *Ford, D. C. Karst Hydrogeology and Geomorphology. [Text] / D. C. Ford, P. W. Williams. – Wiley, Chichester, 2007. – 562 p.*
5. Экологическая геология Украины: Справочное пособие / [Е.Ф. Шнюков, М.Г. Демчишин, В.М. Шестопалов, Е.А.Яковлев, Г.Г.Стрижельчик и др.]. – К. : «Наукова думка», 1993. – 407 с. – (Ин-т геологических наук, НАН Украины).
6. Клімат України / За ред. В.М.Ліпінського, В.А.Дячука, В.М.Бабіченко. – Київ:Вид-во Раєвського, 2003. - 343 с.
7. Кліматичний кадастр України: стандартні кліматичні норми за період 1961-1990 рр. Київ: ЦГО, 2006. 446 с.
8. А.А. Соколов "Гидрография СССР". Л.:Гидрометеиздат, 1964, 355с.
9. Гребінь В.В. Сучасний водний режим річок України (ландшафтно-гідрологічний аналіз) – К. : Ніка-Центр, 2010. – 316 с.
10. Blöschl, G. et al. (2017) Changing climate shifts timing of European floods. *Science*. Vol. 357, Issue 6351, pp. 588-590, doi: 10.1126/science.aan2506

11. Звіт про науково-дослідну роботу «Моделювання екстремальних гідрологічних явищ(паводків і посух) на території гірських регіонів України в умовах сучасних змін клімату (заключний). Електронний ресурс: [eprints.library.odku.edu.ua/1826/1/Zvit\\_MON\\_Gopch..0115U000630\\_2016.pdf](http://eprints.library.odku.edu.ua/1826/1/Zvit_MON_Gopch..0115U000630_2016.pdf)

12. Екстремальні гідрологічні явища: паводки і посухи на території гірських регіонів України (за ред. Гопченка Є.Д.): Монографія. Одеса: ТЕС, 2018. – 324 с. [eprints.library.odku.edu.ua/1047/1/pavodky\\_i\\_posuhy\\_monogr\\_2018.pdf](http://eprints.library.odku.edu.ua/1047/1/pavodky_i_posuhy_monogr_2018.pdf)

13. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины / Е. Д. Гопченко, В. А. Овчарук; Одес. держ. екол. ун-т. - О. : ТЭС, 2002. - 112 с.

14. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.

15. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеиздат, 1973, 111с.

16. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеиздат, 1984, 447с.

17. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: монографія / Є. Д. Гопченко, В. А. Овчарук, Ж. Р. Шакірзанова; МОНМС України, Одес. держ. екол. ун-т. - О. : Екологія, 2011. - 336 с.

18. Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні річки Дністер: Монографія / В.А. Овчарук, Є.Д. Гопченко, А.В. Траскова; Одеськ. держ-ний екол-ний ун-т. – Одеса, 2017. – 252 с.

19. Удосконалення нормативної бази для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок у межах Причорноморської низовини / Є. Д. Гопченко, В. А. Овчарук, Н. С. Кічук, М. Є. Романчук // [Український гідрометеорологічний журнал](#). - 2014. - № 15. - С. 193-203.

20. Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР. – Київ; Видав. АН УРСР, 1957.- 163 с.

21. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока. – Тр. ОГМИ. - 1958. - Ч.II. - Вып. XIV. - 305 с.
22. Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A. Theoretical ground of normative base for calculation of the characteristics of the maximal runoff and its practical realization. Transboundary Floods: Reducing Risks through Flood Management. Springer, 2006. - p.91-99
23. Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.E. A method for calculating characteristics of maximal river runoff in the absence of observational data: Case study of Ukrainian rivers // Water Resources. Pleiades. 2015. Vol. 42. Issue 3. P. 285-291. DOI: [10.1134/S0097807815030057](https://doi.org/10.1134/S0097807815030057)
24. Железняк И.А. Определение максимального расхода половодья по типовым характеристикам гидрометеорологических условий водосбора // Тр.УкрНИГМИ. 1985. Вып.201. С.15-27.
25. Овчарук В.А. Исследование структуры формулы максимального стока весеннего половодья И.А.Железняк // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. Одеса, 2000. – вип.40 - С.137-142.
26. Овчарук В.А. Траскова А.В. Обґрунтування характеристик схилового припливу в період весняного водопілля на річках правобережжя Дністра. // «Геополітика і екогеодинаміка регіонів» Науковий журнал. 2014. Том 10. Вип.1. – С. 771-776
27. Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. – Санкт – Петербург, 2007.278с
28. Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Шакірманова Ж.Р. Зміни гідрометеорологічних характеристик весняного водопілля на рівнинних річках України // Український гідрометеорологічний журнал. – Одеса: Екологія, 2012. - №10. – С. 133-142.
29. V.Ovcharuk, N.Shvets. Study cyclical characteristics maximum runoff plains of Ukraine in modern climatic conditions. // The Climate Symposium 2014 Darmstadt, Germany 13 - 17 October Режим доступу: [http://www.theclimatesymposium2014.com/S.2.27\\_Ovcharuk\\_Water\\_Cycle.pdf](http://www.theclimatesymposium2014.com/S.2.27_Ovcharuk_Water_Cycle.pdf)

30. Гарний В.В, Овчарук В.А. Статистичні характеристики рядів максимального стоку весняного водопілля в межах степової частини басейну Сіверського Донця// Конференція молодих вчених Одеського державного екологічного університету 02-08 травня 2018р., ОДЕКУ, Одеса. 2018. С.118-119.

31. Овчарук В.А., Гарний В.В. Граничні модулі силового припливу в період весняного водопілля на річках степової частини басейну р. Сіверський Донець.// Modern scientific researches. 2018, Vol. 6 pp.116-120

32. Овчарук В.А. К вопросу о влиянии карста на продолжительность притока воды со склонов в русловую сеть. Деп. ГНТБ Украины 05.03.2001, №42 –Ук2001.



## **ДОДАТКИ**

## Додаток А

Додаток А – Статистичні характеристики часових рядів максимальних витрат води весняного водопілля

№ п/п	Річка-пост	$\bar{Q}_m$ , м <sup>3</sup> /с	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподіб- ності	
			$C_v$	$C_s$	$r(l)$	$C_v$	$C_s/C_v$
1	Сіверський Донець - Ізюм	367	0,99	2,17	0,25	1,00	2,6
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	807	1,52	0,42	0,42	0,88	1,8
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	827	0,80	2,05	0,29	0,83	3,2
4	Сіверський Донець - Кружилівка	591	0,86	3,20	0,34	0,92	4,9
5	Казенний Торець-сmt Райське	24,0	1,65	3,72	0,12	1,71	3,2
6	Кривий Торець-сmt Олексієво- Дружківка	37,3	1,27	2,51	0,01	1,30	2,4
7	Сухий Торець-сmt Черкаське	41,3	1,48	3,16	0,16	1,52	2,9
8	Бахмут-м.Артемівськ	8,69	0,94	2,12	0,26	0,96	2,9
9	Бахмут-м.Сіверськ	42,6	1,55	3,04	0,22	1,61	2,6
10	Жеребець-с.Торське	28,2	1,32	2,36	0,29	1,36	2,2
11	Красна-с.Червонопопівка	87,1	1,23	2,79	0,29	1,26	2,9
12	Айдар-сmt Білолуцьк	131	1,26	2,33	0,05	1,28	2,2
13	Айдар-с.Бахмутівка	252	0,91	1,84	0,29	0,94	2,7
14	Євсуг-сmt Петрівка	25,1	0,94	1,22	0,18	0,95	1,4
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	19,0	1,36	2,39	0,20	1,39	2,1
16	Лугань-м.Луганськ	49,6	1,01	2,68	0,00	1,07	3,4
17	Деркул-х.Юганів	124	0,59	0,25	-0,09	0,60	0,5

Додаток Б - Статистична обробка часових рядів максимальних шарів стоку  
весняного водопілля

№ п/п	Річка-пост	$\bar{Y}_m$ , мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподіб- ності	
			$C_v$	$C_s$	$r(l)$	$C_v$	$C_s/C_v$
1	Сіверський Донець - Ізюм	33	0,66	1,03	0,31	0,66	1,60
2	Сіверський Донець - Лисичанськ	34	0,63	0,79	0,38	0,64	1,30
3	Сіверсткий Донець - Стан. Луганська	35	0,64	1,32	0,16	0,65	2,40
4	Сіверський Донець - Кружилівка	26	0,65	1,19	0,30	0,65	2,00
5	Казенний Торець- смт Райське	16	0,95	2,13	0,13	0,97	2,70
6	Кривий Торець- смт Олексієво- Дружківка	19	0,77	1,46	0,01	0,77	2,10
7	Сухий Торець-смт Черкаське	20	1,02	2,17	0,20	1,03	2,60
8	Бахмут-м.Артемівськ	20	0,62	0,86	0,08	0,62	1,50
9	Бахмут-м.Сіверськ	19	0,93	2,29	0,09	0,94	3,10
10	Жеребець-с.Торське	22	1,08	2,25	0,30	1,10	2,60
11	Красна-с.Червонопопівка	28	0,88	1,57	0,24	0,89	2,00
12	Айдар-смт Білолуцьк	37	0,90	2,38	0,23	0,93	3,20
13	Айдар-с.Бахмутівка	36	0,71	1,82	0,19	0,74	3,40
14	Євсуг-смт Петрівка	26	0,94	1,90	0,20	0,96	2,40
15	Лугань-с.Калинове (пос.Долиновське)	18	1,04	2,28	0,00	1,05	2,60
16	Лугань-м.Луганськ	20	0,80	1,60	-0,07	0,81	2,30
17	Деркул-х.Юганів	25	0,63	0,80	0,03	0,64	1,40