

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Гідрометеорологічний інститут
Кафедра гідрології суші

Бакалаврська кваліфікаційна робота

на тему: Розрахункові характеристики річного стоку у верхів'ях
Сіверського Дінця

Виконав студент 3 року навчання
групи МСГ-236
спеціальності 103 Науки про Землю
Гончарова Анастасія Олександрівна

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

Консультант _____

Рецензент канд. геогр. наук, доцент
Сербов Микола Георгійович

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Гідрометеорологічний інститут
Кафедра Гідрології суші
Рівень вищої освіти бакалавр
Спеціальність 103 Науки про Землю
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри гідрології суші
д-р геогр. наук., проф. Шакірманова Ж.Р.
“26” квітня 2019 року

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

Гончаровій Анастасії Олександрівні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **Розрахункові характеристики річного стоку у верхів'ях Сіверського Дінця**

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від “07” грудня 2018 року №343-С

2. Строк подання студентом роботи 17.05.2019 р.

3. Вихідні дані до роботи

1. Часові ряди річних модулів стоку за період від початку спостережень до 2015р;

2. Морфометричні дані водозборів в межах верхів'їв басейну Сіверського Дінця

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

1. Короткий огляд фізико-географічних умов формування річного стоку річок в межах досліджуваної території

2. Статистичний аналіз рядів річного стоку

3. Оцінка точності визначення статистичних параметрів

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Карта-схема географічного положення досліджуваного водозбору;

2. Карта-схема розташування гідрологічних постів;

3. Емпіричні криві розподілу річного стоку.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання 26.04.2019 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Оцінка виконання етапу	
			у %	за 4-х бальною шкалою
1	Збір вихідної інформації	29.04-03.05.2019		
2	Фізико-географічний огляд досліджуваної території	04.05.2019-07.05.2019		
3	Статистична обробка вихідної інформації	08.05.2019-10.05.2019		
4	Аналіз результатів статистичної обробки	11.05.2019-12.05.2019		
	Рубіжна атестація	13.05-19.05.2019		
5	Оцінка точності статистичних параметрів	12.05.2019-14.05.2019		
6	Побудова емпіричних та теоретичних кривих розподілу	14.05.2019-15.05.2019		
	Оформлення роботи	16.05-17.05.2019		
	Перевірка на плагіат, підписання авторського договору	20.05-23.05.2019		
	Підготовка доповіді, презентації	23.05-02.06.2019		
	Інтегральна оцінка виконання етапів календарного плану (як середня по етапам)			

Студент

(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис) _____ (прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	5
1. Коротка фізико-географічна характеристика.....	6
1.1.Географічне положення та рельєф.....	6
1.2.Ґрунтовий покрив.....	9
1.3.Рослинний покрив.....	10
1.4. Коротка кліматична характеристика.....	12
1.5. Гідрологічна вивченість.....	14
2. Визначення статистичних параметрів розподілу часових рядів річного стоку.....	18
2.1 Метод моментів.....	19
2.2 Метод найбільшої правдоподібності.....	21
2.3 Оцінка точності визначення статистичних параметрів.....	23
3. Оцінка однорідності вихідної інформації по річковому стоку..	29
3.1 Визначення однорідності часових рядів за параметричними критеріями(Фішера і Стьюдента).....	29
3.2 Виявлення тренду у часових рядах стоку.....	32
4. Теоретичні криві розподілу випадкових величин, що використовуються в гідрології.....	36
4.1 Крива біноміального розподілу Пірсона III типу.....	37
4.2 Трипараметричний гама- розподіл С. М. Крицького та М. Ф. Менкеля.....	40
4.3 Оцінка точності визначення величин річного стоку різної ймовірності перевищення.....	41
Висновки.....	49
Список літератури.....	51
Додаток А. Вихідні данні.....	52
Додаток Б. Розрахункові таблиці.....	57
Додаток В. Емпіричні криві розподілу.....	61

Вступ

Розрахункові характеристики річного стоку мають важливе значення при водогосподарському проектуванні, зокрема норма річного стоку, яка визначає потенційні водні ресурси даного району або басейну.

Норма річного стоку є основною характеристикою водних ресурсів, яка використовується в гідрологічних розрахунках при проектуванні водосховищ, для гідроенергетики, зрошення, водопостачання та інших видів водогосподарського будівництва.

Загальна задача розрахунків річного стоку - встановити середню багаторічну величину і можливі його коливання на весь період служби гідротехнічних споруд.

У першому розділі бакалаврської роботи наведена коротка фізико-географічна характеристика верхів'їв басейну р. Сіверський Донець.

Другий розділ присвячено визначенню статистичних параметрів розподілу часових рядів річного стоку з використанням методу моментів та найбільшої правдоподібності.

У третьому розділі наводиться оцінка точності визначення статистичних параметрів шляхом перевірки рядів на однорідність і наявність тренда.

В заключному четвертому розділі описані теоретичні криві розподілу випадкових величин, які використовуються в гідрології, а також наведено результати розрахунку характеристик річного стоку різної забезпеченості.

Результати отримані під час написання бакалаврської роботи доповідалися автором на студентських наукових конференціях ОДЕКУ в 2018 та 2019 рр. За результатами доповіді опубліковані тези.

У подальшому представлене дослідження може бути продовжено в рамках магістерської наукової роботи.

1. Коротка фізико-географічна характеристика верхів'їв басейну Сіверського Дінця

1.1. Географічне положення та рельєф

Сіверський Донець – найбільша річка східної України і найбільша притока Дону. Загальна протяжність річки становить 1053 км, а в межах України – близько 718 км, площа басейну 98900 км².

Сіверський Донець бере початок на Середньоруській височині. У басейні Сіверського Дінця понад 3000 річок, з яких 425 мають довжину більш 10 км, і 11 річок більше 100 км. Живлення Сіверського Дінця переважно снігове, тому витрати води впродовж року нерівномірна. Весняна повінь займає близько 2 місяці з лютого по квітень.

Ширина русла в основному коливається від 30 до 70 м, інколи досягаючи 100-200м, а в зоні водосховищ – 4 км. Дно русла переважно піщане, нерівне, зі зміною глибини від 0,3 м на перекатах до 10 м на плесах. Річка взимку замерзає з поверхневою товщиною льоду від 20 до 50 см. Період замерзання зазвичай становить два-три місяці з середини грудня по кінець березня.

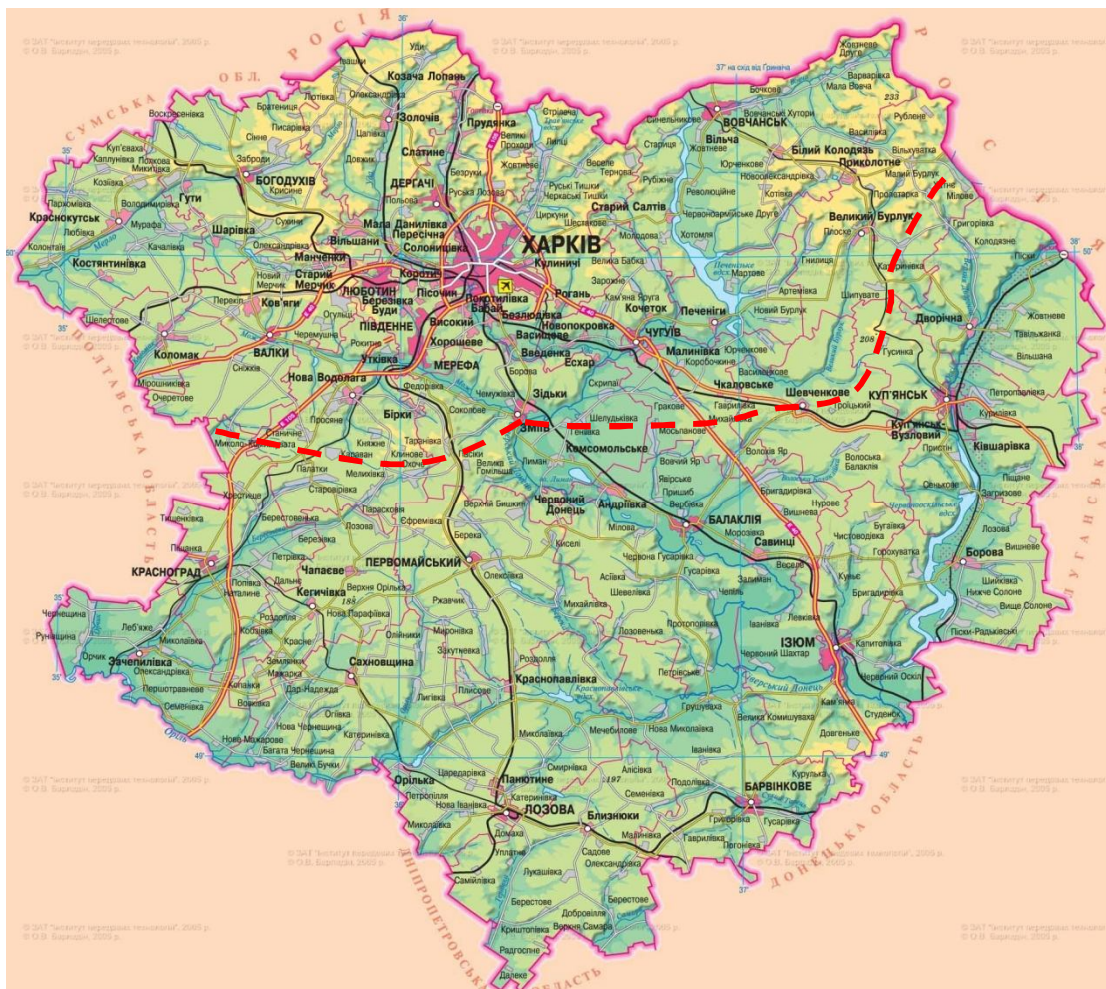
Падіння річки становить 195 м, середніх ухил 0,18 м/км. Швидкість течії Сіверського Дінця невелика, на деяких ділянках навіть нульова.

Долина здебільш асиметрична. Русло річки відрізняється звивистістю. На річці багато перекатів, бистрин, невеликих поріжків, завалів [1].

Розглядувана частина басейну розташована в межах лісостепової зони на південних острогах Середньоросійської височини на території трьох адміністративних районів Харківської області (Великобурлуцького, Вовчанського та Печенізького) (рис. 1.1).

Верхів'я Сіверського Дінця розташовано в північно-східній частині України, в межах вододілу, що розділяє басейни Дона і Дніпра. Досліджувана

територія межує з Луганською, Донецькою, Дніпропетровською, Полтавською, Сумською областями України та Белгородською областю Росії[2].




 - межа досліджуваної території

Рис.1.1 – Картосхема фізико-географічного положення верхів'я р. Сіверський Донець[3].

У верхній течії (до міста Белгорода) розташовано декілька невеликих водосховищ. Після впадіння річки Вовча розташовано Печенізьке водосховище (рис. 1.2), що забезпечує водою місто Харків

З геологічної точки зору досліджувана область в основному розташована в межах Дніпровсько–Донецької впадини, докембрійський кристалічний фундамент якої опущений на глибину до 4 – 6 і більше км. Він розбитий системою прокольних (північно-західного простягання) бродів і поперечних розломів.



Рис.1.2 –Картосхема розташування Печенізького водосховища[3].

Залягають осадові породи більш-менш горизонтально. Спокійне залягання осадових порушають місцеві структури. Серед них розрізняють порушення, викликані вертикальним переміщенням виділених розломами глиб кристалічного фундаменту, і так названими соляно-купольні структури (штоки), що представляють стовпи солі, вичавлені по тріщинах під тиском вищерозміщених порід. Іноді активні локальні морфоструктури не тільки деформують залягання осадової товщі, а й помітно ускладнюють рельєф, викликаючи появу невеликих підняттяв, вони порушують падіння річкового ложа, спотворюють поверхню терас, призводять до посиленого розвитку ярів, зсувів і обвалів, відхиляють потік річок [1,2].

Найбільш яскраво ці порушення виражені на південно-східній області – в долині Сіверського Донця. Значну роль в утворенні форм рельєфу зіграли вода, повітря, сила земного тяжіння, підземні води, які створили долини річок, котловини озер і ставків, балки, яри, зсуви, дюни, остаткові ерозійні та ерозійно-зсувні пагорби.

Істотне значення в будову поверхні мають річні тераси. Терасова зона краще всього розвинена в долині Сіверського Донця, ширина цієї зони досягає 68 км [1].

Розвиток ярів і зсувів на протилежних схилах лопастевидних виступів високого і крутого берега річки за умови близького розташування до нього вододілу і сприятливого цим процесам геологічної будови - сприяють формуванню останцево-горбистого або шишкового рельєфу. Такі яружно-зсувні форми рельєфу можна спостерігати на берегах Сіверського Донця[1].

1.2.Грунтовий покрив

У верхів'ї річки Сіверського Дінця переважають чорноземи, що змінюються від піщаних і крупнистопилуватих легких суглинків до важкосуглинистих і навіть глинистих.

Нечорноземні ґрунти трапляються на території області деінде. Наприклад, піщано-супіщані породи на борюих терасах річкових долин створили умови для формування промивних дерново-підзолистих ґрунтів.

Верхів'я річки Сіверського Дінця розташовується в четвертому ерозійному районі Лісостепоної ґрунтової зони.

Ступінь прояву водної ерозії – середня, 44,0 % змитих ґрунтів, повітряний – слабка, повітряний індекс – 1,0[2].

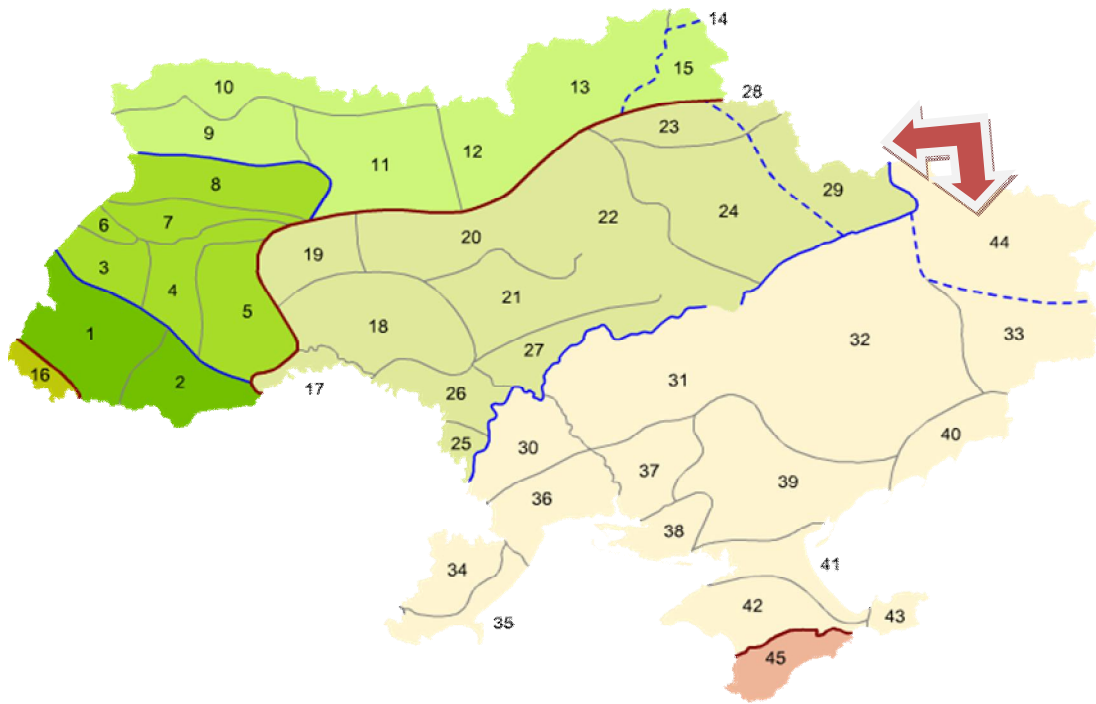
Вплив ерозійних процесів проявляється в зменшенні потужності гумусових горизонтів, запасів гумусу, валових і рухомих форм азоту, фосфору, калію та інших елементів живлення рослин, а також в розпиленні структури, підвищення об'ємної ваги коріння які розміщуються горизонтально, зменшенні водовбираючої і фільтраційної здатності, посилення ґрунтової засухи.

У зв'язку з цим всі прийоми поліпшення земель організаційно-господарські, агротехнічні, лісомеліоративні і гідротехнічні повинні носити позаґрунтовий характер.

1.3. Рослинний покрив

У системі геоботанічного районування України басейну річки розташований у межах Європейсько-Сибірської лісостепоної області, у Східноєвропейській провінції, Великобурлуцько – Шевченівського району (рис. 1.3)[2].

Раніше уздовж Сіверського Дінця росли вікові дуби, що були вирубані в XVIII – XIX століттях. Є відомості про те, що ще Петро I використовував ліс з берегів Сіверського Дінця для будування кораблів, що брали участь у російсько-турецьких війнах. Також переважна більшість луків уздовж берегів річки, на яких росли сотні видів різноманітних диких трав, були розорані до XX століття. Останнім часом збереглося лише мінімальна частина колишніх дубів, головним чином в Харківській області.



Євразійська степова область

Лісостепова підобласть (зона)

■ Середньоруська лісостепова підпровінція

29 Харківський округ дубових, липово-дубових лісів та лучних степів

■ Степова підобласть (зона)

44 Сіверськодонецький округ різнотравно-злакових степів, байрачних дубових лісів та рослинності крейдяних відслонень (томілярів)

Рис.1.3 - Схема геоботанічного районування України [4]

Де проходить межа степу та лісостепу, ще збереглися заплавні широколистяні дуби, а також соснові ліси в районі Чугуєва. Велика кількість видів диких рослин зберіглося поблизу меандрових боліт – тут можна зустріти вербу, пухнасту березу, вільху, крушину ламку. Вздовж річки поширений очерет, хвоц болотний, осока, вовче тіло болотне та інші види трав.

1.4. Коротка кліматична характеристика

Верхів'я річки Сіверського Дінця розташований в північно-східній частині України на кордоні двох ландшафтних зон – лісостепу і степу[1,2].

Клімат басейну Сіверського Дінця формується в результаті взаємодії трьох основних кліматоутворюючих факторів: притоку сонячної радіації, циркуляції атмосфери і особливостей поверхні землі території області. Велике значення також мають місцеві умови: висота над рівнем моря, рельєф поверхні, особливості рослинного покриву, відмінності в ґрунтах та інші[1].

Радіаційні умови басейну річки Сіверського Дінця досить однорідні, але різниця широт північної та південної її частин, все ж надає певний вплив на ці умови. Радіаційні умови різко змінюються від сезону до сезону і визначаються в основному широтою місця (висотою сонця) і умовами хмарності, залежними, в свою чергу, від циркуляції атмосфери.

Верхів'я басейну річки Сіверського Дінця розташоване у внутрішніх районах континенту, тому вирішальний вплив на формування клімату надають великі простори суші.

Основними процесами, що відбуваються над басейном Сіверського Дінця є процеси адвекції і трансформації повітряних мас. Над територією області формується місцева повітряна маса – континентальне повітря помірних широт. Літом над областю переважає процес трансформації, взимку – адвекції.

Клімат області помірно-континентальний, при цьому континентальність зростає з північного заходу на південний схід[1].

Зима починається із середини листопада (перехід середньодобових температур через 0 С).

Зимою переважає хмарна погода. Відносна вологість зимою збільшується до 80% – 90%.

Самим холодним місяцем в області є січень. Середньомісячна температура січня на півночі – -8,2 С, на півдні – -6,6 С.

Весна характеризується поліпшенням радіаційних умов, зростає число годин сонячного стояння.

Характер весни із року в рік змінюється. Частіше повторюється континентальна помірна маса повітря, морська помірність маси повітря спостерігається рідше; виділяють своєю повторністю арктичні маси, повторність яких навіть перевищує повторність морського арктичного повітря.

Вторгнення арктичних мас приносять з собою морозні погоди.

Початок літа можна віднести до середини травня(при переході середньодобової температури повітря через + 15 С).

Значний вплив на літню циркуляцію надають відроги Азовського антициклону [1,2].

Літом збільшується число днів з сонячним стоянням.

Не дивлячись на сильній розвиток трансформації, літом в окремі періоди над областю спостерігається фронтальна і циклонічна діяльність. Циклони приходять здебільшого з Атлантичного океану.

Літо помірно тепле, іноді спекотне із достатньою кількістю опадів. Максимум числа днів з опадами відмічають літом, мінімум – зимою. Літом найменша повторюваність похмурого неба. В другій половині літа, коли слабшає циклонічна діяльність, повторність ясної погоди доходить до 45%.

Самий теплий місяць – липень, його середньодобові температури повітря на півночі досягають +20,2 С; на півдні - +21,5 С. Максимальні температури повітря лежать у межах +37 С, +39 С.

При переході середньодобової температури повітря через +10 С, що відбувається у першій половині жовтня, літо закінчується і починається осінь. Початок осені супроводжується деяким, але в цілому незначним пониженням температури.

Збільшується повторність пахмурного неба до 50 – 60%, а ясного – зменшується до 30 – 35%[4].

Восени часто виникають тумани. Взагалі в Харківській області тумани мають добре виражений осінньо-зимовий максимум. Осінь характеризується,

особливо друга її половина, зтяжними, незначними опадами і погодою без сонця.

Осіною відмічають наступна повторність повітряних мас: морське полярне повітря, морський арктичний і дуже рідко континентальний арктичний[4].

1.5. Гідрологічна вивченість

У верхів'ї басейну річки Сіверського Дінця розташовано 18 постів (рис. 1.4): р.Сіверський Донець -с.Кісельово, р.Сіверський Донець -с.Дальні піски, р.Сіверський Донець -с.Огурцово, р.Сіверський Донець - смт Печеніги, р.Сіверський Донець-м.Чугуїв, р.Сіверський Донець-м.Зміїв, р.Болховець-Білгород, р.Нежеголь-с.Більшетроїцьке, р.Нежеголь-м.Щебекіно, р.Короча-м.Короча, р.Вовча-м.Вовчанск, р.Хотомля-с.Гарашківка, р.Бабка-с.П'ятницьке, р.Уди-сmt Пересічне, р.Уди-сmt Пісочин, р.Уди-сmt Безлюдівка, р.Лопань-сmt Козача Лопань, р.Харків-с.Циркуни.

На головній річці розташовано 6 постів, а на притоках - 11 постів.

Найбільш тривалий період спостережень на посту р. Сіверський Донець – м. Зміїв (з 1923 року по 2015 рік)

Найкоротший період спостережень на р.Бабка- с. П'ятницьке (з 1951 року по 1971 рік)

В табл. 1.1 представлена морфометричні характеристик басейну річки Сіверського Дінця.З табл. 1.1 ми бачимо, що відстань від витоків становить від 16 до 258 км, а відстань від найбільш віддаленої точки коливається від 25 до 278 км. Середній ухил річки коливається від 0,5% до 3,7%, середньозважений ухил річки коливається від 0,2% до 1,7 %. Площа водозбору коливається від 245 км² (Хотомля-с.Гарашківка) до 16600 км² (Сіверський Донець – м. Зміїв). Середня висота водозбору в середньому 170. Середній ухил водозбору коливається в межах 38% – 49%. Озерність менше 1%. Заболоченість менше 1%. Лісистість від 1% до 32%. Оранка у середньому 60%.

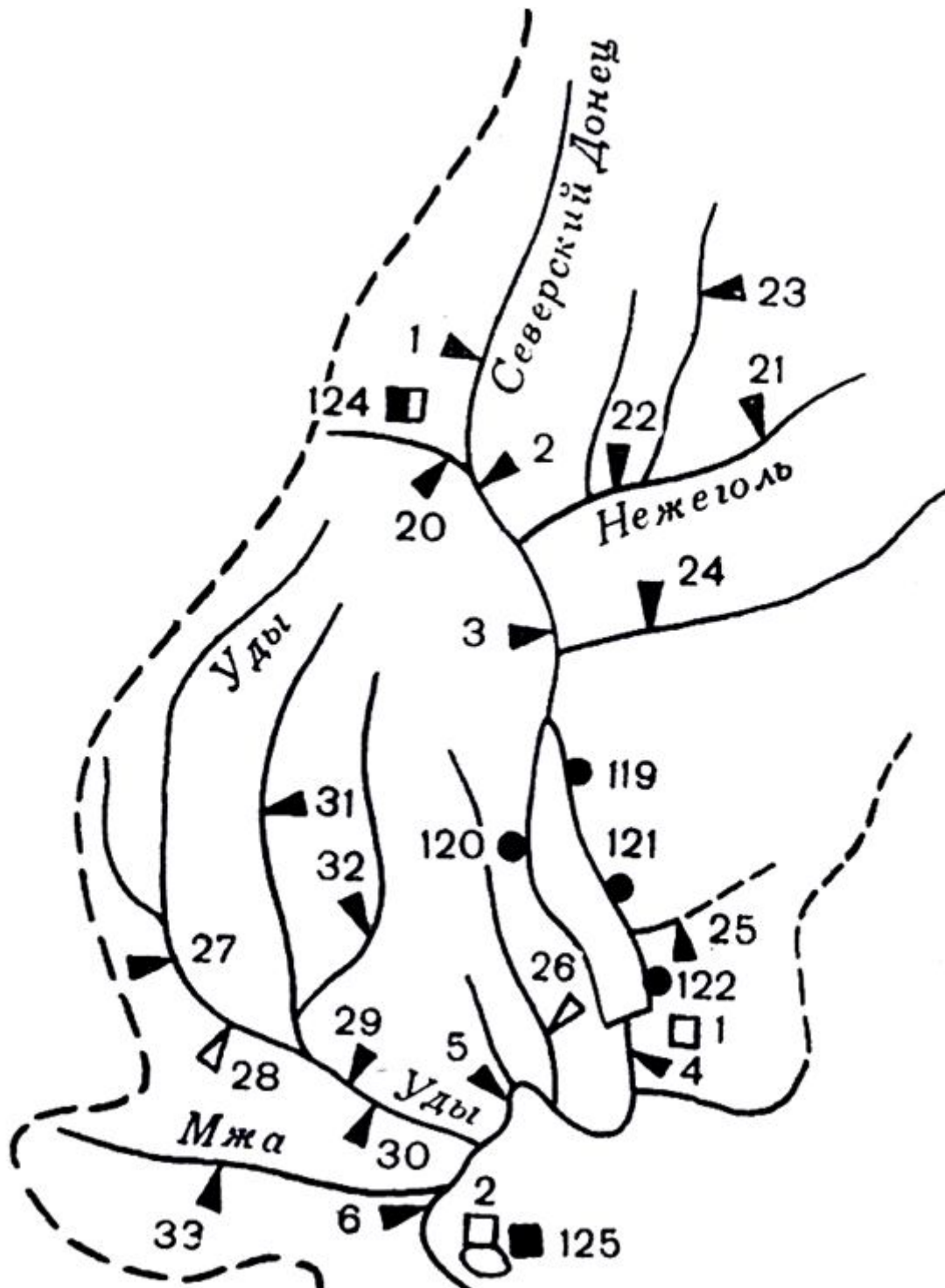


Рис. 1.4 – Карта-схема розташування гідрологічних постів у верхів'ях річки Сіверський Донець[5].

Таблиця 1.1 - Морфометричні характеристики басейну річки Сіверський Донець[5]

№	Річка – пост	Відстань, км		Ухил річки %		Площа водозбору, км ²	Середня висота водозбору,	Озерність, %	Заболоченість, %	Лісистість, %	Оранка, %
		Від витoku	Від найбільш	Середній	Середньозважений						
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Сіверський Донець-с.Кісельово	35	50	2,0	1,4	740	200	<1	<1	5	70
2	Сіверський Донець-с.Дальні піски	65	79	1,4	0,8	1700	190	<1	1	8	70
3	Сіверський Донець-с.Огурцово	104	124	1,3	0,4	5540	180	<1	<1	11	60
4	Сіверський Донець-с.мт Печеніги	174	194	0,7	0,3	8400	170	<1	<1	10	-
5	Сіверський Донець-м.Чугуїв	214	234	0,6	0,2	10300	170	<1	<1	10	-
6	Сіверський Донець-м.Зміїв	258	278	0,5	0,2	16600	170	<1	<1	12	-
20	Болховець-Білгород	25	25	2,1	1,7	394	190	<1	<1	7	60
21	Нежеголь-с.Більшетроїцьке	16	27	3,7	2,0	274	200	0	<1	5	60
22	Нежеголь-м.Щебекіно	64	83	1,2	0,5	2070	190	<1	1	10	60

Продовження таблиці 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
23	Короча- м.Короча	37	37	2,8	1,7	378	210	<1	1	4	70
24	Вовча- м.Вовчанск	81	88	1,0	0,6	1330	180	<1	0	3	60
25	Хотомля- с.Гарашківка	37	37	2,8	1,6	245	180	<1	2	1	85
26	Бабка- с.П'ятницьке	33	35	3,6	1,5	325	160	<1	<1	32	55
27	Уди-сmt Пересічне	88	88	1,0	0,8	905	180	<1	<1	9	70
28	Уди-сmt Пісочин	102	102	0,9	0,7	1070	170	<1	<1	9	70
29	Уди-сmt Безлюдівка	124	124	0,8	0,6	3300	170	<1	<1	10	-
31	Лопань-сmt Козача Лопань	30	30	1,7	1,5	189	190	<1	0	5	60
30	Харків- с.Циркуни	52	52	1,4	1,0	890	170	<1	<1	11	55

2. Визначення статистичних параметрів розподілу числових рядів річного стоку

Математична статистика – це прикладна математична дисципліна, яка споріднена теорії ймовірностей. Задача математичної статистики полягає у тому, щоб на підставі властивостей деякої підмножини (вибірки) зробити висновки про властивості усієї множини в цілому. Уся множина в цілому має назву генеральної сукупності[6].

Основною задачею гідрологічних розрахунків є визначення величин стоку із заданими ймовірнісними характеристиками.

Для того, щоб отримати величини стоку заданої забезпеченості необхідно підібрати теоретичний закон розподілу, який найточніше описує емпіричний розподіл стокових величин, та визначити статистичні параметри, необхідні для практичного застосування цього закону. Під статистичними параметрами розуміємо параметри законів розподілу, які описують основні властивості статистичного розподілу випадкової величини.

Величини стоку завжди позитивні, а верхня границя їх значень не обмежена, отже, областю визначення теоретичного закону розподілу величин стоку повинна бути область $(0, \infty)$ [6].

Статистичні параметри стоку визначаються за рядами спостережень фазовооднорідних стокових величин.

Статистичні параметри, визначені по рядах спостережень, відрізняються від відповідних параметрів генеральної сукупності і називаються оцінками статистичних параметрів.

При відсутності чи недостатності даних спостережень для визначення статистичних параметрів розроблено додаткові спеціальні методи, які викладаються у наступних розділах[6].

2.1 Метод моментів

Поняття моментів перенесено в статистику із розділу фізики “Механіка”, де момент являє собою добуток сили на плече. Плече – відстань від точки, у якій прикладено силу, до точки опори. Значення дискретної випадкової величини розглядається як матеріальна точка на числовій осі з масою пропорційною імовірності появи цієї випадкової величини. Якщо у якості плеча розглядається відстань від нуля числової осі до матеріальної точки, то такі статистичні моменти називаються початковими. Коли ж для визначення статистичного моменту береться відстань від математичного сподівання до розглядуваної матеріальної точки, то статистичний момент отримує назву центрального[6].

Для описування властивостей кривих розподілу широко використовують початкові та центральні моменти.

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

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n C_i - \bar{x}^2}{n}} \quad (2.1)$$

Оцінка коефіцієнта варіації знаходиться за виразом:

$$\bar{C}_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n [(k_i) - 1]^2}{n - 1}} \quad (2.2)$$

Кінцевий вид формули для розрахунків коефіцієнту асиметрії має вигляд:

$$\bar{C}_s = \frac{n}{(n - 1)(n - 2)} \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{\bar{C}_v^3} \quad (2.3)$$

По даних додатку А розраховуються основні статистичні параметри часових рядів: середні значення q , коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s , а також коефіцієнт автокореляції R_1 . Результати розрахунків представлені у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Розрахунок статистичних параметрів за методом моментів

№ п/п	Річка - пост	N, років	q , л/скм ²	C_v	C_s	(R_1)
1	Сіверський Донець-Зміїв	90	2,66	0,35	0,64	0,27
2	Сіверський Донець-Дальні Піски	35	3,19	0,32	0,33	0,19
3	Сіверський Донець-с.Огурцово	56	2,85	0,39	0,94	0,53
4	Сіверський Донець- Чугуїв	58	1,82	0,42	0,51	0,41
5	Вовча- Вовчанськ	61	2,50	0,47	0,97	0,49
6	Лопань- смт Козача Лопань	60	3,19	0,40	0,36	0,36
7	Сіверський Донець- Печеніги(н.б'єф)	53	2,73	0,31	0,45	0,44
8	Харків- с.Циркуни	51	2,77	0,45	2,14	0,35
9	Уди- смт Перехресне	48	2,86	0,50	1,36	0,71
10	Уди- смт Безлдовка	58	4,79	0,40	0,87	0,79
11	р.Болховец- м.Белгород	31	2,35	0,52	0,87	0,24
12	Сіверський Донець- Кісельово	19	3,27	0,41	0,60	0,28
13	Нежеголь- Щебекіно	30	3,29	0,40	0,83	0,15
14	Нежеголь- Більшетроїцьке	21	3,24	0,47	0,47	0,10
15	Короча- м.Короча	19	3,27	0,57	1,02	0,24
16	Бабка- с. П'ятницьке	21	2,24	0,40	0,45	-0,14

З табл.2.1 ми бачимо, що середні значення модулів річного стоку коливаються в межах від 2,24 л/скм² до 4,79л/скм². Коефіцієнти варіації

C_v коливається у межах від 0,32 до 0,52. Коефіцієнт асиметрії C_s коливається від 0,33 до 2,14, а коефіцієнт автокореляції R_1 змінюється в межах від -0,14 до 0,79.

2.2 Метод найбільшої правдоподібності

Походження назви цього методу пов'язане із застосуванням функції правдоподібності до визначення статистичних параметрів трьохпараметричного гама-розподілу, запропонованого С.М.Крицьким та М.Ф.Менкелем. Сутність методу найбільшої правдоподібності полягає в тому, щоб застосувати функцію правдоподібності до вибраного теоретичного закону статистичного розподілу випадкової величини з метою оптимізації параметрів розподілу[6].

Функція правдоподібності - це імовірність сумісного з'явлення подій. У свою чергу імовірність сумісної появи подій може розглядатися, як добуток ймовірностей кожної із подій.

Метод найбільшої правдоподібності - метод математичної статистики, у якому за оцінку невідомого значення параметру щільності імовірності береться те його значення, при якому функція правдоподібності досягає свого максимуму для даної вибірки випадкових величин[6].

За допомогою цього методу по даних додатку А також розраховуються середні значення рядів q , коефіцієнту варіації C_v , а також співвідношення коефіцієнтів варіації і асиметрії C_s/C_v .

Результати розрахунків представлені у табличному вигляді (табл.2.2).

З табл. 2.2 ми бачимо, що середні значення q коливаються в межах від 2,24 л/скм² до 4,79л/скм². Коефіцієнт варіації C_v коливається в межах від 0,32 до 0,58. А також співвідношення коефіцієнтів варіації і асиметрії C_s/C_v коливається в межах від 1 до 5,9.

Таблиця 2.2 – Розрахунок статистичних параметрів за методом найбільшої правдоподібності

№ п/п	Річка - пост	N, років	q,л/скм ²	C _v	C _v /C _s
1	Сіверський Донець-Зміїв	90	2,66	0,34	1,90
2	Сіверський Донець-Дальні Піски	35	3,19	0,32	1,20
3	Сіверський Донець-с.Огурцово	56	2,85	0,39	2,60
4	Сіверський Донець- Чугуїв	58	1,82	0,42	1,30
5	Вовча- Вовчанськ	61	2,50	0,47	2,20
6	Лопань- смт Козача Лопань	60	3,19	0,40	1,00
7	Сіверський Донець- Печеніги(н.б'єф)	53	2,73	0,31	1,50
8	Харків- с.Циркуни	51	2,77	0,45	5,90
9	Уди- смт Перехресне	48	2,86	0,50	3,10
10	Уди- смтБезлдовка	58	4,79	0,39	2,30
11	р.Болховец- м.Белгород	31	2,35	0,52	1,90
12	Сів.Донець- Кісельово	19	3,27	0,42	1,70
13	Нежеголь- Щебекіно	30	3,29	0,40	2,30
14	Нежеголь- Більшетроїцьке	21	3,24	0,47	1,10
15	Короча- м.Короча	19	3,27	0,58	2,20
16	Бабка- с. П'ятницьке	21	2,24	0,40	1,30

2.3 Оцінка точності визначення статистичних параметрів

Метод моментів. Середньоквадратичне відхилення розраховується за формулою розробленою для величин, які підкоряються нормальному закону розподілу, тобто формула може бути отримана аналітичним шляхом, дотримуючись при цьому припущення, що нормальний закон розподілу вибірових середніх зберігається і для вибірок, які відхиляються від нормального розподілу :

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (2.4)$$

Похибки σ_{C_v} коефіцієнтів варіації C_v , розрахованих за методом моментів, обчислюються за формулою Блохінова Є. Г.:

$$\sigma_{C_v} = \frac{C_v}{n + 4C_v^2} \sqrt{\frac{n}{2(1 + C_v^2)}} \quad (2.5)$$

Середня квадратична похибка σ_{C_s} коефіцієнта асиметрії визначається за теоретичною формулою С. М. Крицького та М. Ф. Менкеля:

$$\sigma_{C_s} = \sqrt{(6/n)(1 + 6 [C_v]^2) + 5 [C_v]^4} \quad (2.6)$$

Для визначення якості розрахунків статистичних параметрів за даними спостережень необхідно ввести критерій якості, а саме – допустиму похибку розрахунків. Допустиму похибку краще представляти у долях або відсотках від значення параметру, точність визначення якого оцінюється. Отже, і самі випадкові похибки зручніше представляти у відсотках, тобто

$$\varepsilon_{\bar{x}} = \frac{\sigma_{\bar{x}}}{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\bar{x}\sqrt{n}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \cdot 100\% \quad (2.7)$$

Для середніх арифметичних значень допустимою похибкою є похибка, що дорівнює 10%. Якщо фактична похибка розрахунку, визначена за формулою (2.7) перевищує 10%, то вихідний ряд вважається коротким, а визначений статистичний параметр (у даному випадку – середнє арифметичне) потребує

уточнення. Уточнення може бути виконано із залученням даних по річці-аналогу більшої довжини. Методи уточнення параметрів розрахункового ряду з використанням даних по річці – аналогу називаються методами приведення статистичних параметрів коротких рядів до довгого періоду. Такі методи будуть розглянуті у наступних розділах[6].

Відносна випадкова похибка коефіцієнту варіації визначається таким чином :

$$\varepsilon_{Cv} = \frac{\sigma_{Cv}}{Cv} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Допустимою похибкою визначення коефіцієнту варіації є величина, що дорівнює 15%.

У свою чергу, відносна похибка визначення коефіцієнту асиметрії розраховується за виразом:

$$\varepsilon_{Cs} = \frac{\sigma_{Cs}}{Cs} \cdot 100\% \quad (2.9)$$

При практичному застосуванні формул (2.5) – (2.9) використовуються значення коефіцієнту варіації, розраховані за вибіркою. Так, при $Cv = 0.2-1.0$ та заданій $\varepsilon_{Cv} = \pm 15\%$ необхідні ряди довжиною 300- 350 років. Зазначимо, що гідрологічні ряди найчастіше мають довжину 20-40 років і лише окремі з них досягають довжини в 50-100 років. У зв'язку з великою похибкою визначення за даними спостережень коефіцієнт Cs нормують за співвідношенням з Cs/Cv у межах виділених районів[6].

Метод найбільшої правдоподібності. Середня квадратична похибка обчислення n -річних середніх арифметичних значень стокових рядів x σ може бути обчислена за тією ж формулою, що і в методі моментів:

$$\sigma_x = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (2.10)$$

Середня квадратична похибка розрахунку коефіцієнта варіації Cv , отримана на основі статистичних іспитів, для умови $Cs/Cv = 2$ дорівнює:

$$\sigma_{Cv} = \frac{Cv}{\sqrt{2n}} \sqrt{\frac{3}{3 + Cv^2}} \quad (2.11)$$

Якщо $C_s/C_v=2.0$ стандарт вибіркової оцінки C_v , визначеної методом найбільшої правдоподібності, коректується за допомогою поправочного коефіцієнта:

$$K_{C_v} = \frac{\varphi_{C_v}(\text{при } C_v = mC_v)}{\varphi_{C_v}(\text{при } C_v = 2C_v)}, \quad (2.12)$$

який знімається з графіка залежності C_v К для вибіркових оцінок C_v та співвідношення C_s/C_v (рис.2.1). Середнє квадратичне відхилення для C_s/C_v , визначеного за методом найбільшої правдоподібності, установлюється за зв'язком σ_{C_v}/C_s і C_v (рис.2.2). Обчислення відносних середньоквадратичних відхилень статистичних параметрів відбувається за формулами (2.8 – 2.12)[6].

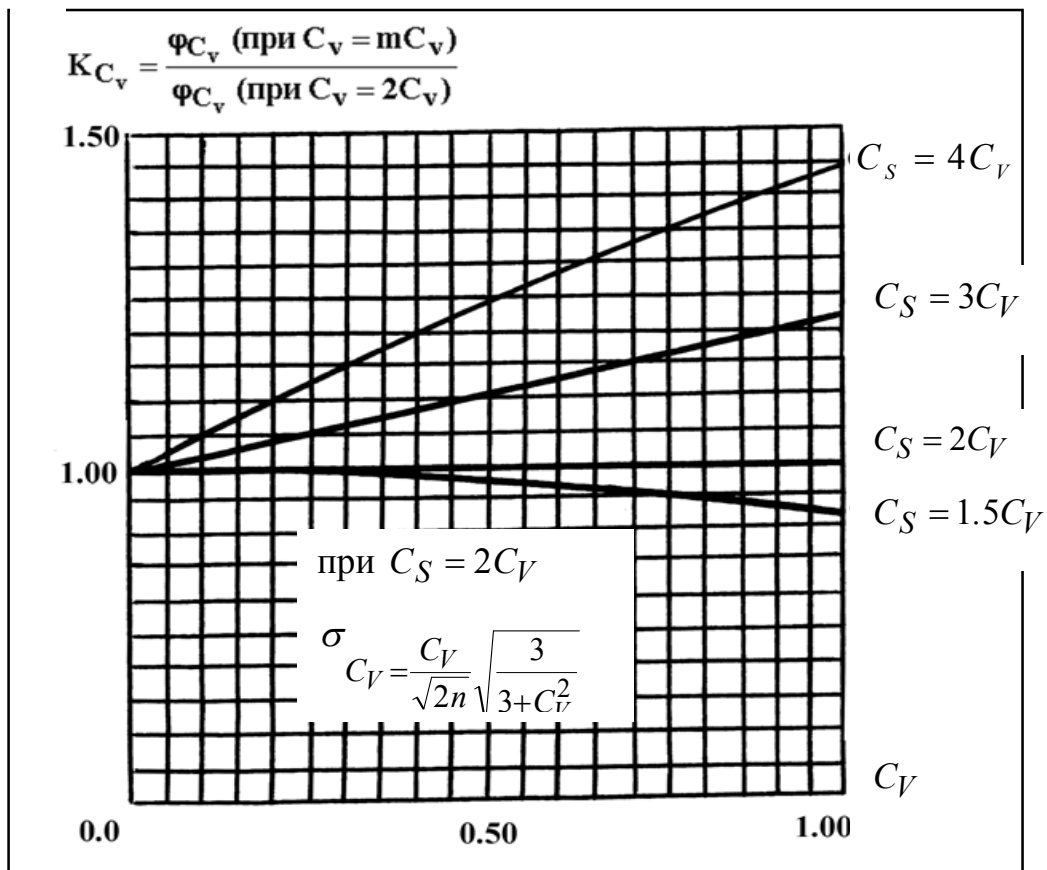


Рис.2.1 – Графік для визначення коефіцієнта K_{C_v} [6]

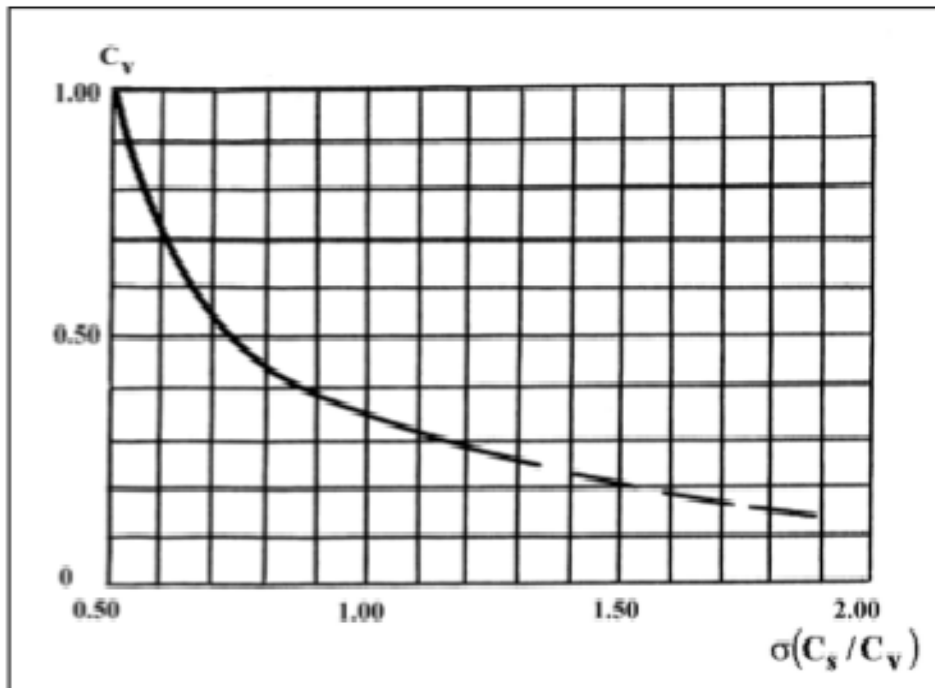


Рис. 2.2– Графік для визначення $\sigma C_v / C_s$ [6]

У гідрологічних розрахунках середньоквадратичні похибки оцінок встановлюються в залежності від методу їх визначення. Результати наводяться у табл. 2.3 .

Аналізуючи отримані результати, можна відмітити, що при використанні методу моментів похибки визначення коефіцієнтів варіації C_v коливаються від 7,9 % (Сіверський Донець-Зміїв) до 17,5% (Короचा- м.Короча), а коефіцієнта асиметрії – від 24,9% (Харків- с.Циркуни) до 182% (Нежеголь- Більшетроїцьке).

Якщо використовується метод найбільшої правдоподібності, то діапазон похибок дещо збільшується. Для коефіцієнту варіації він становить від 7,3% (р.Сіверський Донець – м.Зміїв) до 19,63% (р.Уди - смт Перехресне), а для співвідношення C_s/C_v коливається у межах від 36,1% (р.Харків- с.Циркуни) до 422% (р.Сіверський Донець-Печеніги(н.б'єф)).

Точність визначення середньо багаторічних значень в середньому по басейну становить $\pm 7\%$, що відповідає вимогам до визначення норми стоку. Таким чином отримані середні значення можна вважати нормами стоку.

Таблиця 2.3 – Точність статистичних параметрів часових рядів

Річка - пост	N, років	C _v	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності		
			εq , %	εC_v , %	εC_s , %	εq , %	εC_v , %	$\varepsilon C_s/C_v$, %
Сіверський Донець-Зміїв	90	0,35	3,6	7,85	54,3	3,6	7,31	188
Сіверський Донець-Дальні Піски	35	0,32	5,4	12,4	162	5,4	11,8	181
Сіверський Донець- с.Огурцово	56	0,39	5,2	10	49,6	5,2	9,77	93,9
Сів.Донець- Чугуїв	58	0,42	5,5	9,94	93,8	5,4	9,03	153
Вовча- Вовчанськ	61	0,47	6	9,86	51,8	6	8,74	67,1
Лопань- смт Козача Лопань	60	0,40	5,1	9,72	126	5,1	8,9	242
Сів.Донець- Печеніги(н.б'єф)	53	0,31	4,3	10,1	95,2	4,3	9,56	422
Харків- с.Циркуни	51	0,45	6,3	10,7	24,9	6,3	11,7	36,1
Уди- смт Перехресне	48	0,50	7,2	11,2	43,6	7,1	19,6	46,3
Уди-	58	0,40	5,2	9,88	53,4	5,2	9,05	101

смтБезлдовка								
--------------	--	--	--	--	--	--	--	--

Продовження таблиці 2.3

р.Болховец-м.Белгород	31	0,52	9,3	13,8	87,4	9,4	12,2	79,2
Сіверський Донець- Кісельово	19	0,41	9,5	16,9	137	9,5	15,8	133
Нежеголь- Щебекіно	30	0,40	7,2	13,6	77,9	7,2	12,6	107
Нежеголь- Більшетроїцьке	21	0,47	10,0	16,3	182	10,0	14,9	159
Короча- м.Короча	19	0,57	13,0	17,5	103	13,0	15,4	66,5
Бабка- с. П'ятницьке	21	0,40	8,6	16,1	172	8,6	15,0	173
<i>Середнє</i>			7,0	12,2	94,7	7,0	12,0	141

3. Оцінка однорідності вихідної інформації по річковому стоку

Класичні теорії оцінки однорідності частіше за усе використовуються для аналізу лише двох статистичних сукупностей. Статистичний аналіз рядів спостережень передбачає основні етапи: формування нульової і альтернативної гіпотез, прийняття рівня значущості та вибір критичної області.

Слід зауважити, що результати спостережень вважаються однорідними, якщо вони належать до однієї і тієї ж генеральної сукупності даних.

3.1 Визначення однорідності часових рядів за параметричними критеріями (Фішера і Стьюдента)

Критерій однорідності середніх величин зазвичай використовується, коли вибіркові середні підкоряються нормальному закону розподілу. Оцінюються ряди, котрі поділяються на дві половини, з яких одна має часову тривалість n_x , а інша - n_y .

Використовуючи таблицю нормального закону розподілу і задаючи рівень значущості, наприклад $\alpha=5\%$, визначається область допустимих відхилень при нормальному законі розподілу. Зокрема, при $\alpha=5\%$ критична область буде по обидві сторони від границь $-1,96 > a > 1,96$. Критерій однорідності середніх доцільно використовувати за наявності досить тривалих рядів спостережень, коли вдається середньоквадратичні відхилення обчислювати без великих похибок. При коротких рядах рекомендується для перевірки однорідності середніх застосовувати критерій Стьюдента. Але слід попередньо зауважити, що його використання правомірне, коли співпадають середньоквадратичні похибки.

Результати дослідження однорідності середніх значень заносять до табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Перевірка часових рядів стоку на однорідність середніх за критерієм Стьюдента(при рівні значущості $\alpha=5\%$)

№ п/п	Річка-пост	F, км ²	q _x , л/с* км ²	q _y , л/с* км ²	n _x , років	n _y , років	t	t _{кр}	Висновок
1	Сіверський Донець-Зміїв	16600	2,63	2,69	45	45	0,30	1,99	однорідний
2	Сіверський Донець-Дальні Піски	1700	3,24	3,13	18	17	0,30	2,05	однорідний
3	Сіверський Донець-с.Огурцово	5540	2,40	3,30	28	28	3,17	2,01	неоднорідний
4	Сів.Донець-Чугуїв	10300	1,70	1,93	29	29	1,16	2,01	однорідний
5	Вовча-Вовчанськ	1330	2,03	3,00	31	30	3,43	2,01	неоднорідний
6	Лопань- смт Козача Лопань	189	3,16	3,23	30	30	0,23	2,01	однорідний
7	Сіверський Донець-Печеніги(н.б'єф)	8400	2,58	2,88	27	26	1,27	2,01	однорідний
8	Харків-с.Циркуни	890	2,47	3,08	26	25	1,73	2,01	однорідний
9	Уди- смт Перехресне	905	2,10	3,62	24	24	4,18	2,02	неоднорідний
10	Уди-сmtБезлдовка	3300	4,68	4,90	29	29	0,43	2,01	однорідний

Продовження таблиці 3.1

11	р.Болховец-м.Белгород	394	2,94	2,16	16	15	0,81	2,07	однорідний
12	Сіверський Донець-Кісельово	740	2,83	3,29	10	9	0,06	2,10	однорідний
13	Нежеголь-Щебекіно	2070	3,18	3,40	15	15	0,42	2,07	однорідний
14	Нежеголь-Більшет-роїцьке	274	3,02	3,49	11	10	0,66	2,10	однорідний
15	Короча-м.Короча	378	3,31	3,23	10	9	0,09	2,10	однорідний
16	Бабка- с. П'ятницьке	325	2,12	2,37	11	10	0,60	2,10	однорідний

З табл. 3.1 ми бачимо, що є неоднорідні ряди, такі як Сіверський Донець – с. Огурцово, Вовча- Вовчанськ, Уди- смт Перехресне, всі інші ряди однорідні.

Вище згадувалось про те, що при оцінці середніх вибірових значень за критерієм Стьюдента, необхідно переконатись у рівності середніх квадратичних відхилень. У гідрологічних роботах широкого використання набув критерій Фішера.

Результати дослідження однорідності середніх квадратичних відхилень заносять до табл. 3.2.

З табл. 3.2 ми бачимо, що є неоднорідні ряди, такі як: Сіверський Донець - с.Огурцово, Сіверський Донець- м. Чугуїв, Вовча- Вовчанськ, Лопань- смт Козача Лопань, Сів.Донець-Печеніги(н.б'єф), Харків- с.Циркуни,Уди- смт Пересічне. Всі інші ряди однорідні.

Таблиця 3.2 - Перевірка часових рядів стоку на однорідність середніх квадратичних відхилень за критерієм Фішера (при рівні значущості $\alpha=5\%$)

Річка-пост	n_x , років	n_y , років	F	$F_{кр}$	Висновки
Сів.Донець-Зміїв	45	45	1,54	1,886	однорідний
Сів.Донець-Дальні Піски	18	17	2,408	3,091	однорідний
Сів.Донець-с.Огурцово	28	28	3,772	2,212	неоднорідний
Сів.Донець- Чугуїв	29	29	2,391	2,193	неоднорідний
Вовча- Вовчанськ	31	30	2,296	2,155	неоднорідний
Лопань- смт Козача Лопань	30	30	2,281	2,174	неоднорідний
Сів.Донець- Печеніги(н.б'єф)	27	26	2,291	2,232	неоднорідний
Харків- с.Циркуни	26	25	4,243	2,251	неоднорідний
Уди- смт Пересічне	24	24	7,554	2,387	неоднорідний
Уди- смтБезлдовка	29	29	2,497	2,193	неоднорідний
р.Болховец- м.Белгород	16	15	2,067	3,326	однорідний
Сів.Донець- Кісельово	10	9	1,732	4,03	однорідний
Нежеголь- Щебекіно	15	15	1,087	3,443	однорідний
Нежеголь- Більшетроїцьке	11	10	1,101	3,913	однорідний
Короча- м.Короча	10	9	2,214	4,03	однорідний
Бабка- с. П'ятницьке	11	10	3,362	3,913	однорідний

3.2 Виявлення тренду у часових рядах стоку

Коли статистична неоднорідність у рядах стоку встановлена, потрібно хронологічну послідовність вихідних даних перевірити на наявність у них

тренду, тобто одно направлених змін – у бік зростання або зменшення. Для вирішення цього завдання доцільно скористуватися критерієм Аббе Z , причому

$$Z = S^2 / \sigma^2 q \quad (3.1)$$

$$S^2 = 1/2(N-1) * \sum (q_{i+1} - q_i)^2 \quad (3.2)$$

Гіпотеза про відсутність тренду полягає у виконанні співвідношення $Z \geq Z_{кр}$ і, навпаки, при $Z < Z_{кр}$ – тренд існує. Критичні значення $Z_{кр}$ встановлюються по таблицях в залежності від рівня значущості α при забезпеченості 5%.

Розрахунки складових для визначення у часових рядах стоку тренда ($\alpha=5\%$) заносяться у табл. 3.3.

З табл. 3.3 ми бачимо, що $Z < Z_{кр}$, а це значить, що тренд існує.

Таблиця 3.3 Розрахунки складових для визначення у часових рядах стоку тренда ($\alpha=5\%$)

Річка-пост	F, км2	N, років	S ²	$\sigma^2 q$	Z	Z _{кр}	Висновки
Сіверський Донець- с.Огурцово	3300	56	0,58	1,12	0,52	0,79	тренд існує
Вовча- Вовчанськ	1330	61	0,02	1,19	0,02	0,79	тренд існує
Уди- смт Перехресне	905	48	0,02	1,44	0,01	0,77	тренд існує
Сіверський Донець- Чугуїв	10300	58	0,01	0,76	0,01	0,79	тренд існує
Лопань- смт Козача Лопань	189	60	0,04	1,28	0,03	0,79	тренд існує
Уди- смтБезлдовка	3300	58	0,03	1,91	0,01	0,79	тренд існує
Сіверський Донець- Печеніги(н.б'єф)	8400	53	0,01	0,86	0,01	0,78	тренд існує
Харків- с.Циркуни	890	51	0,05	1,26	0,77	0,77	тренд існує

Тем не менш, слід відмітити, що критерій Аббе має недолік, який полягає в тому, в тому, що генеральна сукупність, з якої вибирається ряд спостережень, допускається нормальної, тому функція Z може «зреагувати» на циклічні коливання стоку, особливо в таких випадках, коли цикл не повний.

Для прийняття остаточного рішення щодо можливості використання статистичних методів для визначення параметрів теоретичних кривих розподілу для розглядуваних часових рядів прийнято рішення про необхідність дослідити циклічність. Для такого аналізу, зазвичай використовуються методи згладжування, а також метод різницевої інтегральної кривої.

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

$$\sum_{i=1}^t (K_i - 1) = f(t), \quad (3.3)$$

де K_i - модульний коефіцієнт.

При побудуванні різницевої інтегральної кривої розраховують наростаючу суму відхилень з урахуванням знаку [6-10].

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

$$\operatorname{tg} \alpha = (K_i - 1)_{cp} = \frac{l_k - l_n}{m}, \quad (3.4)$$

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 тих рядів, які виявилися неоднорідними та в яких, відповідно до критерію Аббе виявлений тренд (рис.3.1). Аналіз побудованих кривих показує наявність повних циклів водності, але дійсно з 1990-х років й по теперішній час

спостерігається тривала маловодна фаза, яка виявляється у вигляді від'ємного тренду та неоднорідності при використанні стандартних критеріїв.

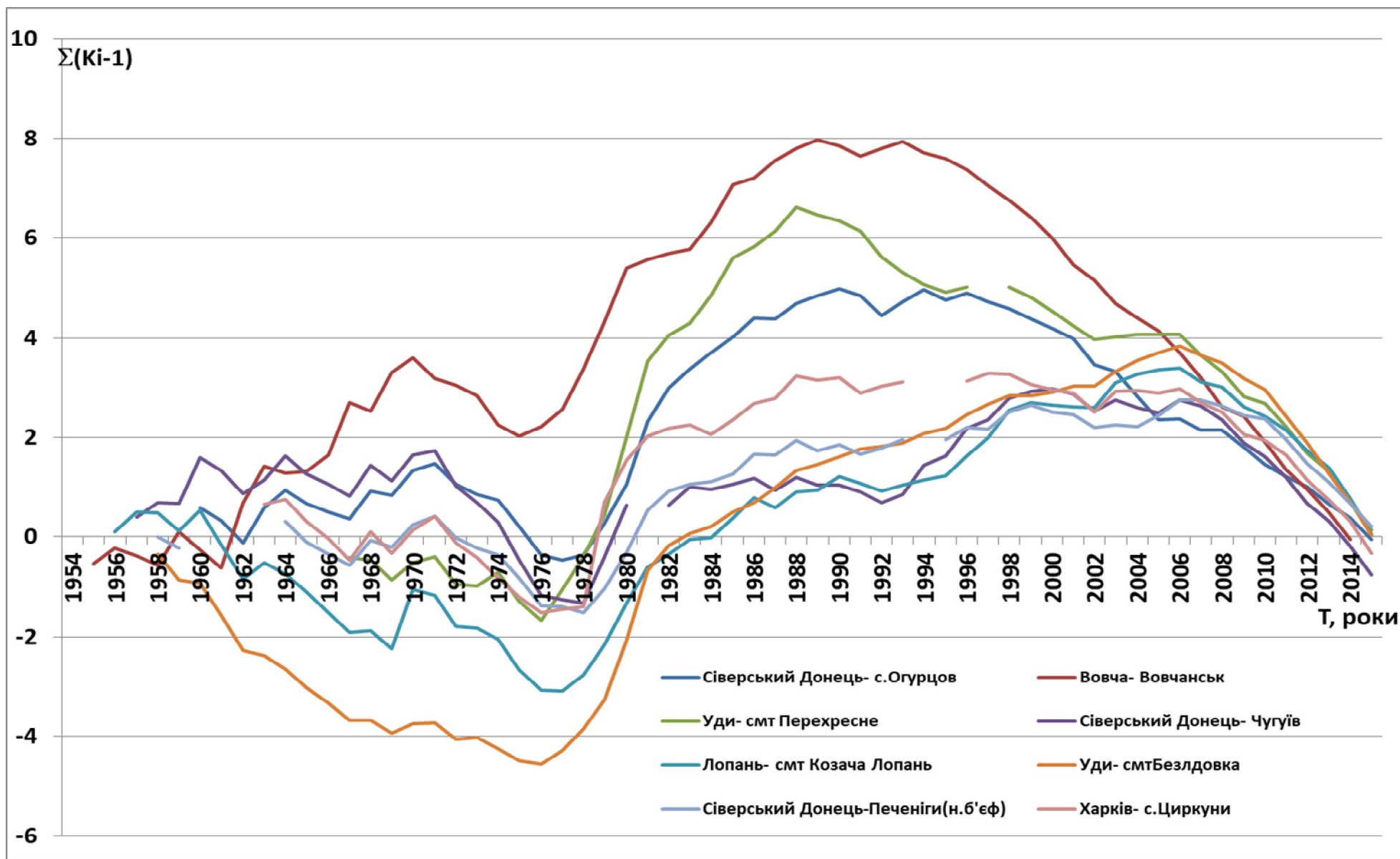


Рис.3.1- Різницеві інтегральні криві річного стоку для річок верхів'я басейну Сіверського Дінця

4. Теоретичні криві розподілу випадкових величин, які використовуються в гідрології

Теоретичні закони розподілу ймовірностей базуються або на визначених теоретичних схемах, або є узагальненням емпіричних розподілів. Вимоги до теоретичних кривих розподілу стокових величин[6].

1. У рівнянні кривої повинно бути як найменш параметрів, що чисельно визначаються за вибірковими даними.

2. Через те, що значення стоку завжди позитивні, крива розподілу не повинна знаходитися у області від'ємних значень.

3. Верхня границя кривої розподілу не обмежена.

4. Теоретичні криві розподілу повинні бути одномодальними, що витікає з умови однорідності і незалежності стокових величин.

Розподіл ймовірностей $z=f(y)$ повинен задовольняти таким умовам: на початку та на кінці графіка щільності ймовірностей $0 = y =$ та між початком і кінцем досягає максимального значення. Отже, перша похідна dz/ dy повинна дорівнювати нулю у трьох точках: на початку, в кінці та у точці, яка відповідає моді[6].

Сукупність теоретичних кривих розподілу випадкових величин Пірсона можна отримати в результаті вирішення диференціального рівняння:

$$\frac{\partial y}{\partial z} = \frac{y(z + d)}{\varphi(z)} \quad (4.1)$$

де $- d$ відстань між модою та математичним сподіванням на графіку кривої розподілу (рис.4.1);

$y=f(z)$ - щільність імовірності;

$\varphi(z)$ - ряд Маклорена

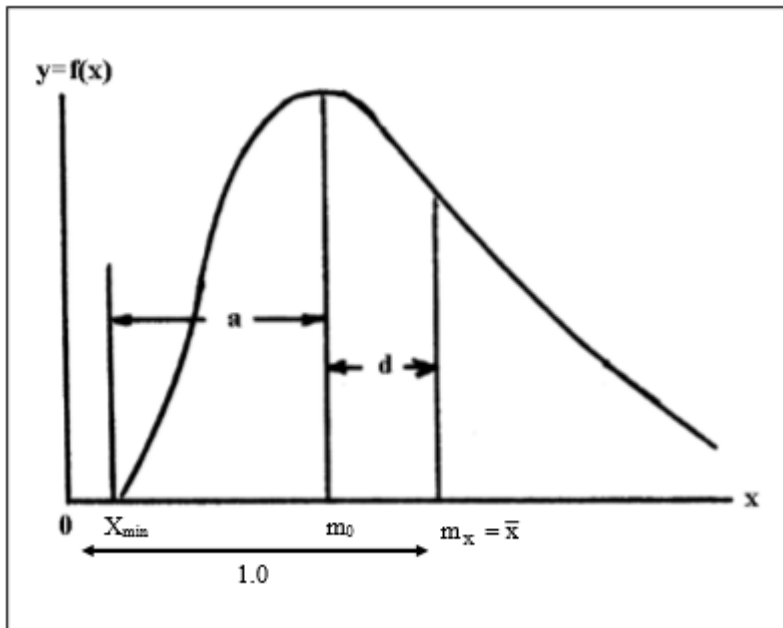


Рис. 4.1 - Крива Пірсона III ($C_s > 0$)[6]

4.1 Крива біноміального розподілу Пірсона III типу

Диференціальне рівняння Пірсона III (1.103) може бути розписаним для перших двох членів ряду Маклорена. Для нормального закону розподілу була прийнята жорстка умова про те, що розподіл симетричний, тобто мода розподілу співпадає з математичним сподіванням і радіус асиметрії $d=0$. Припустимо, що випадкова величина X позитивна, отже $0 < x_{\min}$. Обозначимо через a відстань від x_{\min} до моди. Тоді сума $d + a$ відстань від математичного сподівання до x_{\min} [4].

Звідки

$$a + d = m_x - x_{\min} = 1 - k_{\min} \quad (4.2)$$

Через те, що $k_{\min} \geq 0$, $d + a \leq 1$.

Рівняння біноміального розподілу Пірсона III типу може бути знайдено:

$$\frac{\partial y}{\partial z} = \frac{y(z+d)}{b_0 + b_1 z} \quad (4.3)$$

В загальному вигляді:

$$m_x = x_{\min} = \frac{2C_s m_x}{C_s} \quad (4.4)$$

Або

$$1 - k_{\min} = \frac{2C_V}{C_S} \quad (4.5)$$

де $k_{\min} = x_{\min}/m_x$ - модульний коефіцієнт мінімального значення ряду.[3]

Розглянемо три можливих варіанти: 1) якщо $k_{\min}=0$, $C_S=2C_V$; 2) якщо $k_{\min}>0$, $C_S>2C_V$; 3) якщо $k_{\min}<0$, $C_S<2C_V$.

Третій випадок суперечить природі стокових рядів, які завжди позитивні, отже крива розподілу Пірсона III може використовуватись тільки тоді, коли $C_S \geq 2C_V$. З цього слід зазначити таке: крива обмежена нижньою ($x=0$) і не обмежена верхньою границею. Тобто при $x \rightarrow \infty$ крива наближається до осі абсцис; опирається на три статистичні параметри m_x , C_V , C_S , а при $x_{\min}=0$ є двопараметричним розподілом[6].

Приклад розрахунку величин заданої забезпеченості з використанням біноміальної кривої розподілу представлений у табл.4.1. Аналогічний розрахунок виконаний для всіх розглядуваних постів та представлений у дод.Б.1.

Таблиця 4.1 – Ординати кривої забезпеченості річного стоку

Сіверський Донець-Зміїв, при $C_V=0,35$; $q=2,66$ л/скм ²							
Cs	Величина	Забезпеченість, Р%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,637	Фр	2,78	1,8	1,33	-0,13	-0,72	-1,38
	Фр C_V	0,96	0,62	0,46	-0,04	-0,25	-0,48
	$K_p = \text{Фр} C_V + 1$	1,96	1,62	1,46	0,96	0,75	0,52
	$q_p = K_p * q$	5,22	4,32	3,88	2,54	2,00	1,39

Для оцінки отриманих значень виконане порівняння 50%-их модулів стоку з середньо багаторічними значеннями (рис.4.1). Як добре ілюструє рис.4.1, збіжність величин дуже висока, що підтверджується вельми значущим коефіцієнтом кореляції ($r=0.988$), та дозволяє рекомендувати біноміальний теоретичний розподіл для визначення норм річного стоку.

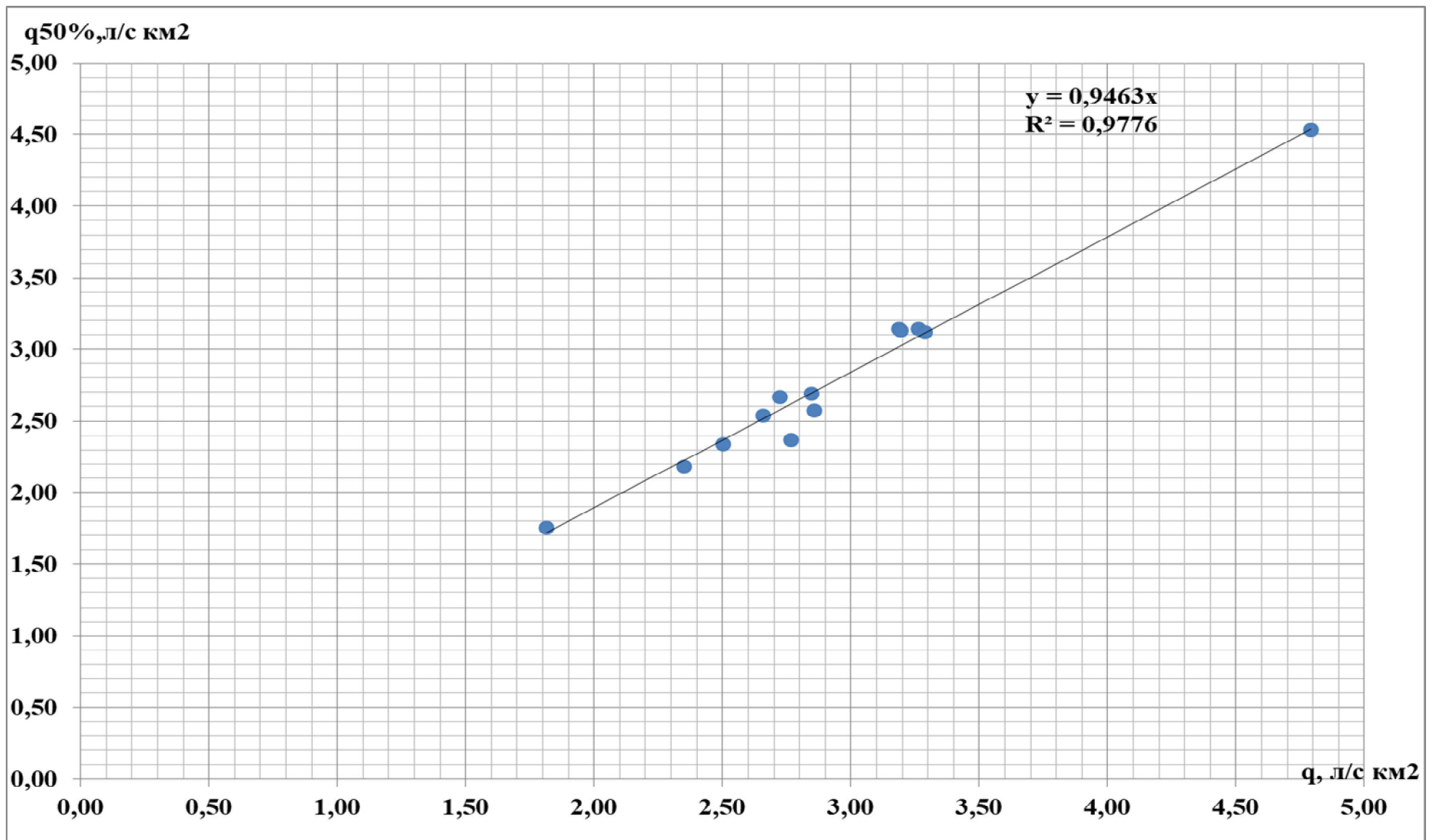


Рис. 4.1-Порівняння середньобагаторічних модулів стоку (вісь абсцис) та модулів стоку 50% забезпеченості визначених за біноміальною кривою розподілу (вісь ординат).

4.2 Трипараметричний гама-розподіл С. М. Крицького та М. Ф. Менкеля

Трипараметричний гама-розподіл базується на модифікації рівняння кривої Пірсона III при умові $C_s = 2C_v$. Для цього випадку, коли $C_s = 2C_v$, рівняння Пірсона III представляється у вигляді гама-функції:

$$f(z) = \frac{\alpha^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\alpha z} z^{\alpha-1} \quad (4.6)$$

де z - значення випадкової величини в модульних коефіцієнтах, тобто $z = k$;

$\Gamma(\alpha)$ - гама-функція;

$$(4.7)$$

Рівняння гама-функції є двопараметричним, через те що залежить тільки від двох аргументів z і C_v ($C_s = 2C_v$). Позитивною якістю гамафункції є те, що значення z змінюється від 0 до ∞ , що відповідає фізичній природі стоку. Однак, відношення $C_s = 2C_v$ є одним з часних випадків можливих розподілів. Вихідна величина z була трансформованою. Замість z була виведена нова змінна u :

$$z = au^h \operatorname{tanh} = \left(\frac{z}{a}\right)^{1/h} \quad (4.8)$$

де a та h - параметри, які є функцією C_v та C_s .

Тоді

$$f(u) = \frac{\alpha^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\alpha u} z^{u-1} \quad (4.9)$$

$$\frac{du}{dz} = \frac{1}{b} \left(\frac{1}{a}\right)^{1/h} z^{1/h-1} \quad (4.10)$$

Новий закон розподілу можна записати у вигляді:

$$f(z) = \frac{\alpha^{\alpha}}{\Gamma(\alpha)} e^{-\alpha u} z^{u-1} \frac{1}{h} \left(\frac{1}{a}\right)^{1/h} z^{1/h-1} \quad (4.11)$$

Якщо замінити u на z і урахувати, що $k = z$, то

$$f(K) = \frac{a^a}{\Gamma(a)} \left(\frac{1}{a}\right)^{1/b} \frac{1}{h} e^{-a\left(\frac{K}{a}\right)^{1/h}} K^{a/h-1} \quad (4.12)$$

де a і h - параметри розподілу, які зв'язані із стандартними параметрами – коефіцієнтами варіації та асиметрії.

Головна перевага кривих розподілу Крицького-Менкеля полягає у тому, що при будь-яких співвідношеннях між C_s та C_v нижня границя признака завжди дорівнює нулю[6].

При використанні трьохпараметричного гама розподілу слід пам'ятати, що у якості статистичних параметрів можна використовувати тільки параметри, визначені за методом найбільшої правдоподібності.

Результати розрахунку за трьохпараметричним гама розподілом представлені у табл. 4.2. Також, як й у випадку використання біноміальної кривої Пірсона III типу, виконане порівняння величин модулів стоку 50%-ної забезпеченості з середньобаторічними значеннями. (рис.4.2). Точність апроксимації теоретичної кривої практично співпадає з результатами отриманими для біноміальної кривої, та підтверджує правомірність використання обох розподілів для визначення характеристик річного стоку у випадку відсутності спостережень за стоком.

4.3 Оцінка точності визначення величин річного стоку різної ймовірності перевищення

За відомих значень статистичних параметрів, як було показано вище, можна визначати модулі стоку заданої забезпеченості з використанням біноміальної кривої розподілу та кривої трипараметричного гама-розподілу. Однак виникає питання наскільки точно теоретичні криві відтворюють реальні часові ряди спостережень, зокрема в області малих та великих забезпеченостей.

Таблиця 4.2 – Визначення річного стоку різної ймовірності перевищення зарозподілом Крицького-Менкеля

N п/п	Річка- пост	F, км ²	C _v	C _s /C _v	Q, л/с км ²	Модульні коефіцієнти забезпеченості						Модулі стоку забезпеченості, %					
						1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0	1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
1	Сіверський Донець-Зміїв	16600	0,35	1,90	2,66	1,82	1,54	1,40	0,97	0,78	0,57	4,84	4,10	3,72	2,58	2,09	1,50
2	Сіверський Донець-Дальні Піски	1700	0,32	1,20	3,19	1,76	1,52	1,40	0,99	0,79	0,53	5,61	2,68	4,46	3,14	2,51	1,70
3	Сіверський Донець- с.Огурцово	5540	0,39	2,60	2,85	1,86	1,55	1,40	0,96	0,79	0,58	5,30	4,41	3,99	2,74	2,23	1,64
4	Сіверський Донець- Чугуїв	10300	0,42	1,30	1,82	2,09	1,72	1,54	0,96	0,71	0,42	3,80	3,12	2,80	1,74	1,29	0,76
5	Вовча- Вовчанськ	1330	0,47	2,20	2,50	2,16	1,74	1,54	0,95	0,71	0,45	5,40	4,35	3,85	2,37	1,77	1,12
6	Лопань- смт Козача Лопань	189	0,40	1,00	3,19	1,76	1,52	1,40	0,99	0,79	0,53	5,62	4,85	4,47	3,15	2,51	1,70
7	Сів.Донець- Печеніги(н.б'єф)	8400	0,31	1,50	2,73	2,09	1,72	1,54	0,96	0,71	0,42	5,70	4,69	4,20	2,61	1,93	1,14
8	Харків- с.Циркуни	890	0,45	5,90	2,77	2,60	1,80	1,50	0,89	0,71	0,53	7,19	4,98	4,15	2,46	1,96	1,47

Продовження таблиці 4.2

9	Уди- смт Перехресне	905	0,50	3,10	2,86	2,64	1,93	1,64	0,90	0,68	0,50	7,55	5,52	4,69	2,57	1,94	1,42
10	Уди- смтБезлдовка	3300	0,40	2,30	4,79	2,19	1,72	1,51	0,94	0,71	0,47	10,5 0	8,24	7,24	4,51	3,42	2,25
11	р.Болховец- м.Белгород	394	0,52	1,90	2,35	2,51	1,94	1,67	0,92	0,63	0,34	5,90	4,56	3,93	2,16	1,49	0,80
12	Сіверський Донець- Кісельово	740	0,41	1,70	3,27	2,16	1,74	1,54	0,95	0,71	0,45	7,05	5,68	5,03	3,10	2,31	1,46
13	Нежеголь- Щебекіно	2070	0,40	2,30	3,29	2,19	1,72	1,51	0,94	0,71	0,47	7,20	5,66	4,96	3,09	2,35	1,54
14	Нежеголь- Більшетроїцьке	274	0,47	1,10	3,24	2,26	1,82	1,62	0,96	0,63	0,42	7,33	5,90	5,25	3,11	2,05	1,37
15	Короча- м.Короча	378	0,57	2,20	3,27	2,51	1,94	1,67	0,92	0,63	0,34	8,22	6,35	5,47	3,00	2,08	1,12
16	Бабка- с. П'ятницьке	325	0,40	1,30	2,24	2,06	1,70	1,52	0,96	0,71	0,42	4,61	3,81	3,40	2,14	1,58	0,93

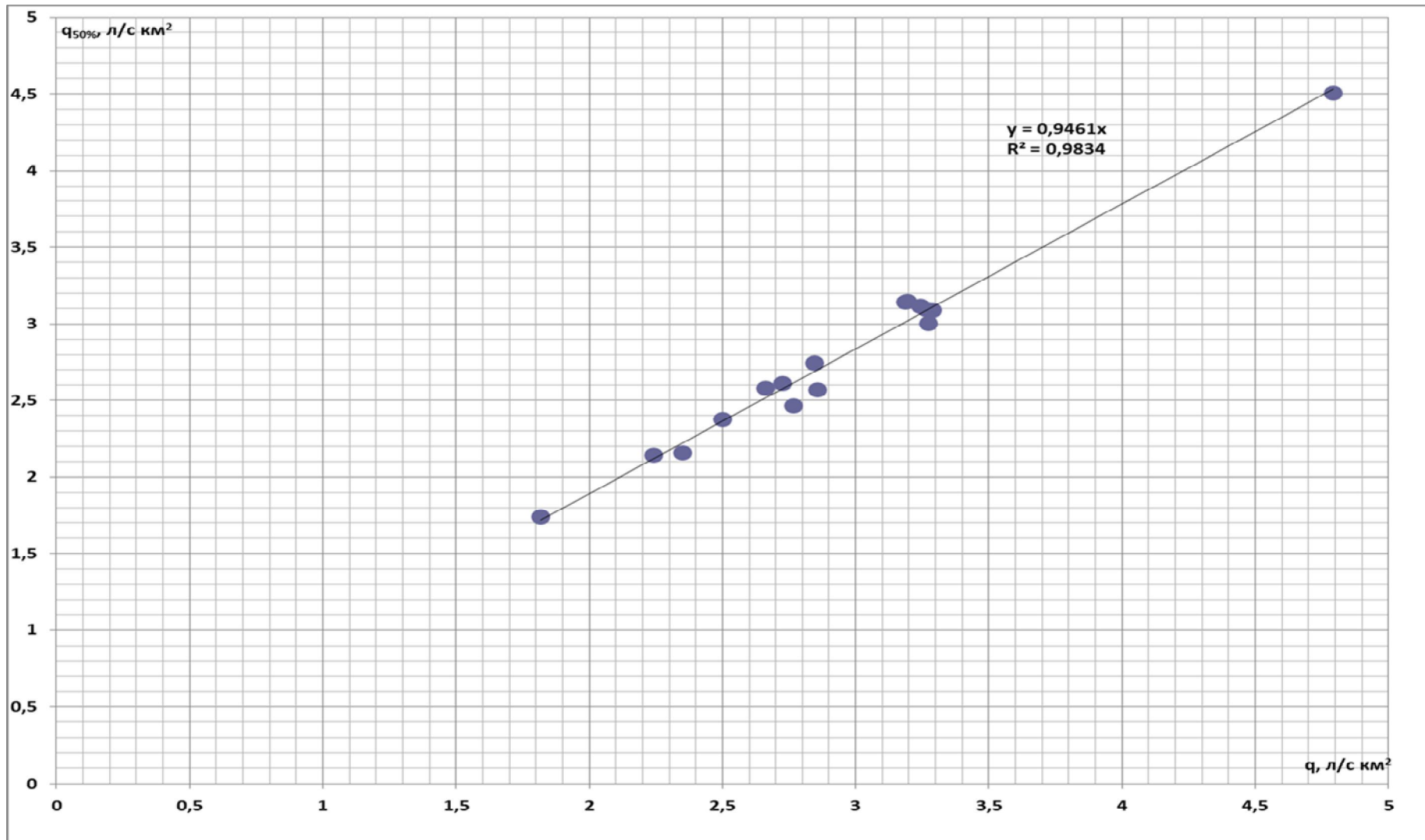


Рис.4.2 - Порівняння середньо багаторічних модулів стоку (вісь абсцис) та модулів стоку 50% забезпеченості за трипараметричним гамма розподілом С.М.Крицького та М.Ф. Менкеля (вісь ординат).

При нормальному розподілі (незалежно від методу обчислення вибіркового параметрів) точність обчислення розрахункових квантилів визначається за формулою вигляду

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{1 + \frac{z_p^2}{2}}, \quad (4.13)$$

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

При гамма-розподілі з використанням методу моментів [9]

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{1+3Cv}{2} \left(\frac{\partial k_p}{\partial Cv} \right)^2}, \quad (4.14)$$

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

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

Для гамма-розподілу з використанням методу найбільшої правдоподібності

$$\sigma_{x_p} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{3}{2(3+Cv^2)} \left(\frac{\partial k_p}{\partial Cv} \right)^2} \quad (4.15)$$

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 σ_{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 вибірових оцінок відповідних моментів. Теоретичних рішень цієї задачі поки-що немає. С.М.Крицький і М.Ф.Менкель [6] для подолання виникаючих труднощів використовували метод статистичних випробувань. За результатами статвипробувань і серій довірчих рівнів запропоновані спеціальні номограми для відносного відхилення $\Delta x_p/x_p$, де Δx_p - абсолютне відхилення оцінок квантилів x_p .

Відносна помилка $|\Delta x_p|/x_p$ в цьому випадку дорівнює

$$\frac{|\Delta x_p|}{x_p} = E_p \sqrt{n} \quad (4.16)$$

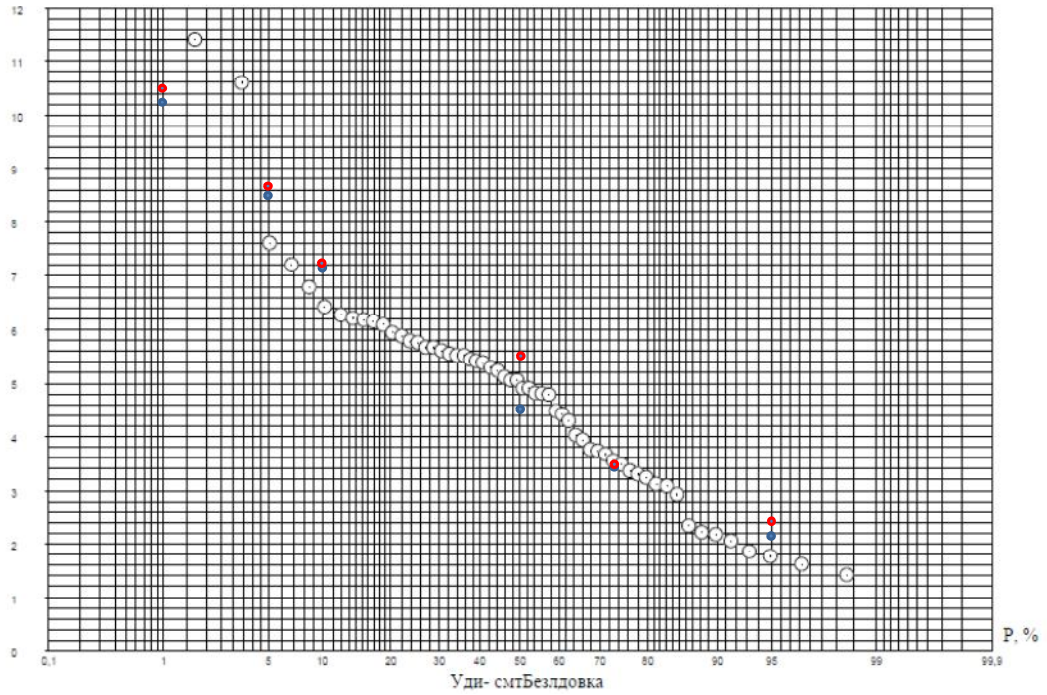
Приведена відносна помилка квантиля E_p номограмована для різних співвідношень $P\%$, C_v і рівнів довірчої ймовірності. У даній роботі формула (4.16) використовувалася при оцінці точності обчислення максимальних витрат води опорної забезпеченості $P=1\%$ та 75% .

Розрахунки точності визначення характеристик стоку різної ймовірності перевищення приведені у табл.4.3. Як видно з табл.4.3, середня похибка визначення 1% квантелів річного стоку становить 12,1%, а 75% - 9.7%. Отже найбільші похибки характерні для величин стоку рідкісної ймовірності перевищення. Причини такої ситуації добре ілюструють емпіричні криві, на які нанесені теоретичні криві розподілу. В якості прикладу на рис.4.3 представлена емпірична крива розподілу для р.Уди –с. Безлюдівка. Як видно з рис.4.3, в діапазоні забезпеченостей від 10 до 90% теоретичні криві добре описують емпіричні дані, а діапазоні малих та великих за безпечностей мають місце більші відхилення. Аналогічні криві були побудовані для всіх досліджуваних рядів та представлені у додатку В.

Таблиця 4.3 - Визначення точності величин річного стоку різної ймовірності перевищення

№ п/п	Річка пост	N, років	Cv	$E_{\sigma_{1\%}}$	$E_{\sigma_{75\%}}$	$\sigma_{q_{1\%}}$	$\sigma_{q_{75\%}}$
1	Сіверський Донець-Зміїв	90	0,346	0,58	0,4	6,1	4,2
2	Сіверський Донець-Дальні Піски	35	0,32	0,58	0,4	9,8	6,8
3	Сіверський Донець-с.Огурцово	56	0,391	0,56	0,47	9,5	6,3
4	Сіверський Донець-Чугуїв	58	0,416	0,79	0,6	10,4	7,9
5	Вовча- Вовчанськ	61	0,471	0,79	0,76	10,1	9,7
6	Лопань- смт Козача Лопань	60	0,398	0,78	0,59	10,1	7,6
7	Сів.Донець-Печеніги(н.б'єф)	53	0,314	0,68	0,4	9,3	5,5
8	Харків- с.Циркуни	51	0,451	0,8	0,47	11,2	6,6
9	Уди- смт Перехресне	48	0,498	0,8	0,46	11,6	6,6
10	Уди- смтБезлдовка	58	0,395	0,78	0,59	10,2	7,8
11	р.Болховец- м.Белгород	31	0,518	0,8	0,75	14,4	13,5
12	Сіверський Донець-Кісельово	19	0,414	0,54	0,48	12,4	11,0
13	Нежеголь- Щебекіно	30	0,395	0,78	0,59	14,2	10,8
14	Нежеголь- Більшетроїцьке	21	0,465	0,78	0,85	17,0	18,6
15	Короча- м.Короча	19	0,569	0,79	0,86	18,1	19,7
16	Бабка- с. П'ятницьке	21	0,395	0,78	0,59	17,0	12,9
<i>Середнє</i>						12,0	9,7

q , л/с



● - теоретична крива розподілу

С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля

● - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис. 4.3- Емпірична крива розподілу річного стоку р. Уди- смт Белюдовка за період 1958 – 2015 рр.

Висновки

- Для написання бакалаврської роботи використані вихідні дані по річному стоку у верхів'ях басейну річки Сіверський Донець по 17 гідрологічним постах з площами водозборів від 245 км² (Хотомля-с.Гарашківка) до 16600 км² (р. Сіверський Донець – м.Зміїв) та періодом спостережень від їх початку по 2015 рік включно. Гідрологічну вивченість досліджуваної території можна вважати задовільною
- Статистична обробка часових рядів середньорічних модулів стоку виконувалась за методом моментів та методом найбільшої правдоподібності. Точність визначення статистичних параметрів відповідає вимогам нормативних документів, а середні багаторічні значення річного стоку, які змінюються від 1,82 л/скм² до 4,79 л/скм² можна прийняти якості багаторічних норм стоку.
- Для оцінки однорідності вихідних рядів стоку використані параметричні критерії Фішера і Стьюдента. У випадку використання критерію Фішера неоднорідними виявилися лише 18% часових рядів, а при використанні критерію Стьюдента – вже 43%.
- Враховуючи наявність неоднорідних рядів було оцінено наявність трендів у цих рядах за критерієм Аббе. У всіх випадках наявність тренда підтвердилася.
- Для прийняття остаточного рішення щодо можливості використання статистичних методів для визначення параметрів теоретичних кривих розподілу для розглядуваних часових рядів прийнято рішення про необхідність дослідити циклічність. Аналіз побудованих кривих показує наявність повних циклів водності, але дійсно з 1990-х років й по теперішній час спостерігається тривала маловодна фаза, яка проявляється у вигляді від'ємного тренду та неоднорідності при використанні стандартних критеріїв.

- За відомих значень статистичних параметрів визначені модулі стоку заданої забезпеченості з використанням біноміальної кривої розподілу та кривої трипараметричного гама-розподілу С.М.Крицького та М.Ф. Менкеля.
- Для оцінки отриманих значень виконане порівняння 50%-их модулів стоку з середньо багаторічними значеннями, яке показало, що збіжність величин дуже висока з вельми значущим коефіцієнтом кореляції ($r=0.988$), та дозволяє рекомендувати теоретичні біноміальний та трьох параметричний гама розподіл для визначення норм річного стоку.
- Розрахунки точності визначення 1% квантелів річного стоку становить 12,1%, а 75% - 9.7%. Отже найбільші похибки характерні для величин стоку рідкісної ймовірності перевищення. Причини такої ситуації добре ілюструють емпіричні криві, на які нанесені теоретичні криві розподілу та показують, що в діапазоні забезпеченостей від 10 до 90% теоретичні криві добре описують емпіричні дані, а діапазоні малих та великих за безпечностей мають місце більші відхилення.
- Виконана статистична обробка та аналіз вихідної інформації по часовим рядам річного стоку річок досліджуваної території можуть слугувати підґрунтям для подальшої розробки методики визначення розрахункових параметрів річного стоку для невивчених річок у верхів'ях басейну Сіверського Донця.

Список використаної літератури

1. Матеріали Харківського відділу Географічного товариства України [Текст] : Вип.8 : Харківська область : природа і господарство. – Харків / Отв. ред. Г. П. Дубинський : Видавництво ХГУ, 1971. – 248 с.
2. Ресурси поверхневих вод СРСР. Т.6. Україна і Молдова. Вип.3. Басейн Северського Дінця і річки Приазов'я / Під ред. М.С.Каганера. – Л.: Гідрометеоиздат, 1967. 492 с.
3. Електронний ресурс:<http://planetolog.ru/map-ukr-oblast-big.php?oblast=КНА&type=1>
4. Електронний ресурс: <http://geomap.land.kiev.ua/zoning-5.html>
5. Государственный водный кадастр. Основные гидрологические характеристики, том 6, вып. 2, Л.: Гидрометеоиздат, 1978.
6. Гопченко Є.Д., Лобода Н.С., Овчарук В.А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
7. Соломенцев Н.А., Львов А.М., Симиренко С.Л., Чекмарев В.А. Гидрология суши. – Л. Гидрометеоиздат, 1976. – 680 с.
8. Швець Г.І. Характеристики водності річок України. – Київ. Наукова думка, 1964. – С. 130-142.
9. 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.
10. 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

Додаток А - Вихідні данні

Рік	Сіверський Донець- Зміїв	Сіверський Донець- Дальні піски	Сіверський Донець- с.Огурц ов	Сіверський Донець- Чугуїв	Вовча- Вовчанськ	Лопань - смт Козача Лопань	Сіверський Донець- Печеніг и(н.б'єф)	Харків- с.Циркун и	Удич- смт Перех ресне	Удич- смт Бездовка	р.Бол ховец - м.Бел город	Сів.Д онець - Кісель ово	Неже голь- Щебе кіно	Нежего ль- Більше т роїцьке	Коро ча- м.Ко роча	Бабка - с. П'ятн ицьке
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1923	2,46															
1924	2,31															
1925	2,62															
1926	4,72															
1927	3,72															
1928	2,39															
1929	3,58															
1930	2,44															
1931	3,96															
1932	5,40															
1933	2,64															
1934	1,59															
1935	1,26															
1936	1,81															
1937	2,77															
1938	1,15	1,76														
1939	2,66	3,11														
1940	3,46															
1941																
1942																
1943																
1944	1,46															
1945	2,99	3,85														
1946	3,36	4,39														
1947	2,95	3,74									1,46					

1948	1,95	2,67									1,16					
1949	2,05	2,96									0,97		2,34			
1950	1,76	2,84									1,30		2,03			
1951	2,72	3,28									1,33		3,22			2,28
1952	2,91	3,88									1,66		4,21			2,86
1953	3,54	3,65									1,68					2,89
1954	1,39	1,99			1,17						0,88		2,29			1,75
1955	4,55										1,97		3,42			2,62
1956	2,96	3,29			2,78	3,49					4,44		3,30	3,32		3,23
1957	2,78			2,52	3,26	4,44							3,38			2,52
1958	2,81	3,52		2,37	2,09	3,17	2,74			3,12			2,84			1,57
1959	1,94	2,61		1,78	2,03	2,01	2,13			2,34	2,74		2,99	2,45		1,45
1960	4,13	4,02	4,51	3,51	4,21	4,55				4,42	4,67		5,27	5,69		2,52
1961	1,58	1,68	2,09	1,34	1,59	0,95				1,77	1,78	2,04	2,44	1,97	1,90	1,08
1962	1,13	1,41	1,59	1,00	1,58	1,01				1,42	1,02	1,93	1,82	1,75	1,24	0,83
1963	4,34	4,47	4,87	2,31	5,78	4,23		4,58		4,30	5,30	4,81	6,52	4,68	3,33	4,18
1964	2,98	3,41	3,86	2,68	4,36	2,49	3,56	3,04		3,48	3,45	3,73	4,83	4,64	4,13	2,15
1965	1,50	2,65	2,09	1,18	2,14	2,06	1,60	1,53		2,93	1,90	2,49	2,30	2,02	2,78	1,26
1966	1,85	2,95	2,34	1,44	2,60	1,85	2,08	1,83		3,36	2,28	2,68	2,63		2,67	1,60
1967	1,84	2,91	2,49	1,39	3,28	1,90	2,12	1,55	1,69	3,09	1,75	3,08	3,20	2,97	3,60	1,57
1968	3,29	4,66	4,44	2,95	5,13	3,34	4,10	4,35	2,68	4,81	3,55	5,32	5,31	5,36	6,48	3,45
1969	1,78	3,14	2,62	1,25	2,08	2,01	2,34	1,58	1,72	3,55	2,49	3,50	2,73	2,66	2,91	1,72
1970	3,53	5,56	4,28	2,77	4,44	6,98	3,96	4,06	3,88	5,67	4,19	5,70	4,72	4,83	5,74	3,48
1971	2,71	3,76	3,21	1,95	3,23	2,80	3,21	3,52	3,19	4,91	3,22	3,19	3,66	3,18	4,29	2,03
1972	1,30	2,02	1,67	0,56	1,48	1,22	1,56	1,32	1,29	3,24	1,78	1,70	1,74	1,53	1,53	
1973	2,07	2,70	2,26	1,18	2,15	3,07	2,17	1,95	2,76	4,91	2,56	2,50	2,34	2,12	2,12	
1974	2,23	2,73	2,51	1,09	1,98	2,49	2,35	1,63	3,64	3,73	2,77	2,86	2,53	2,59	2,49	
1975	1,28	1,52	1,35	0,47	1,05	1,22	1,46	1,74	1,18	3,67	0,86	1,38	1,38	1,28	1,01	
1976	1,73	2,09	1,25	0,53	1,92	1,85	1,19	1,91	1,80	4,48	1,09	2,18	1,73	1,53	1,40	
1977	3,16	2,44	2,54	1,66	3,00	3,17	2,69	2,97	4,64	6,09	1,68	2,58	2,84	2,52	2,09	

1978	3,28		3,14	1,69	3,32	4,23	2,43	2,89	4,72	6,79					
1979	4,16	4,75	4,66	3,51	4,54	5,18	4,01	8,56	5,28	7,61	2,72	5,32	5,41	5,55	7,79
1980	4,84	5,16	5,11	3,71	4,90	5,82	4,73	5,13	7,31	10,6	4,24	5,04	5,22	5,44	4,68
1981	4,88		6,44		5,17	5,50	5,02	4,10	7,17	11,4					
1982	3,69		4,75	2,96	2,94	3,97	3,79	3,19	4,39	7,21					
1983	2,92		3,90	2,50	2,80	4,13	3,13	2,97	3,54	5,94					
1984	2,49		3,79	1,73	2,71	3,33	2,86	2,26	4,45	5,45					
1985	3,30		3,79	1,99	3,83	4,44	3,17	3,55	5,03	6,21					
1986	3,23		3,95	2,04	4,40	4,50	3,82	3,71	3,48	5,67					
1987	2,64		2,76	1,38	2,85	2,54	2,67	3,02	3,77	6,27					
1988	3,28		3,74	2,30	3,40	4,23	3,52	4,03	4,24	6,42					
1989	2,25		3,32	1,53	3,09	3,28	2,18	2,51	2,43	5,42					
1990	2,79		3,25	1,82	2,91	4,07	3,07	2,93	2,49	5,52					
1991	2,45		2,44	1,59	2,22	2,75	2,20	1,93	2,27	5,52					
1992	1,78		1,74	1,41	1,98	2,70	3,05	3,13	1,37	5,06					
1993	2,64		3,61	2,11	2,90	3,60	3,21	3,03	2,00	5,06					
1994	3,12		3,52	2,89	2,82	3,49			2,15	5,76					
1995	2,73		2,27	2,16	1,96	3,49	2,51		2,42	5,24					
1996	3,42		3,27	2,83	2,20	4,44	3,38	3,51	3,15	6,15					
1997	2,97		2,35	2,13	1,92	4,34	2,62	3,21		5,79					
1998	3,27		2,47	2,60	1,72	4,92	3,70	2,73	2,36	5,61					
1999	3,01		2,24	2,08	1,77	3,70	3,07	2,20	2,27	4,79					
2000	2,31		2,31	1,91	1,62	3,02	2,37	2,48	2,08	5,12					
2001	2,33		2,26	1,64	1,45	3,07	2,57	2,58	2,04	5,30					
2002	2,08		1,36	1,19	1,17	3,17	2,06	1,73	2,08	4,82					
2003	3,08		2,42	2,24	1,75	4,76	2,87	3,89	2,98	6,18					
2004	2,59		1,45	1,53	1,35	3,76	2,61	2,84	3,04	5,88					
2005	2,67		1,52	1,62	1,74	3,44	3,35	2,61	2,82	5,55					
2006	3,06		2,89	2,31	1,86	3,33	3,56	3,02	2,87	5,39					
2007	2,13		2,22	1,59	1,38	2,28	2,74	1,99	1,65	3,94					

2008	2,05		2,83	1,32	1,27	2,86	2,39	2,25	1,91	4,03						
2009	1,72		1,91	0,98	1,02	1,96	2,23	1,52	1,46	3,30						
2010	2,44		1,86	1,31	2,05	2,59	2,55	2,47	2,46	3,76						
2011	1,87		2,18	1,07	1,19	2,28	1,59	1,96	1,50	2,18						
2012	1,54		2,22	0,86	1,11	1,90	1,42	1,39	1,36	2,22						
2013	1,77		1,86	1,14	1,54	2,06	1,70	1,62	1,81	1,86						
2014	1,56		2,06	0,91	1,29	1,22	1,58	1,56	1,09	2,06						
2015	1,56		1,62	0,79	1,17	0,90	1,45	1,04	1,26	1,62						

Додаток Б- Розрахункові таблиці

Додаток Б.1 – Ординати кривої забезпеченості річного стоку

Сіверський Донець-Дальні Піски, при $C_v=0,32$; $q=3,188$							
Cs	Величина	Забезпеченість, P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,329	Фр	2,55	1,73	1,31	-0,05	-0,7	-1,56
	Фр C_v	0,82	0,55	0,42	-0,02	-0,22	-0,50
	$K_p=ФрC_v+1$	1,82	1,55	1,42	0,98	0,78	0,50
	$qr=K_p*q$	5,79	4,95	4,52	3,14	2,47	1,60
Сіверський Донець-с.Огурцово, при $C_v=0,391$; $q=2,847$							
Cs	Величина	Забезпеченість, P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,937	Фр	2,91	1,87	1,34	-0,14	-0,73	-1,3
	Фр C_v	1,14	0,73	0,52	-0,05	-0,29	-0,51
	$K_p=ФрC_v+1$	2,14	1,73	1,52	0,95	0,71	0,49
	$qr=K_p*q$	6,09	4,93	4,34	2,69	2,03	1,40
Сіверський Донець-Чугуїв, при $C_v=0,416$; $q=1,816$							
Cs	Величина	Забезпеченість, P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,509	Фр	2,7	1,78	1,33	-0,08	-0,72	-1,51
	Фр C_v	1,12	0,74	0,55	-0,03	-0,30	-0,63
	$K_p=ФрC_v+1$	2,12	1,74	1,55	0,97	0,70	0,37
	$qr=K_p*q$	3,86	3,16	2,82	1,76	1,27	0,68
Вовча- Вовчанськ, при $C_v=0,471$; $q=2,502$							
Cs	Величина	Забезпеченість, P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,969	Фр	2,91	1,87	1,34	-0,14	-0,73	-1,3
	Фр C_v	1,37	0,88	0,63	-0,07	-0,34	-0,61
	$K_p=ФрC_v+1$	2,37	1,88	1,63	0,93	0,66	0,39
	$qr=K_p*q$	5,93	4,71	4,08	2,34	1,64	0,97
Лопань- смт Козача Лопань, при $C_v=0,398$; $q=3,193$							
Cs	Величина	Забезпеченість, P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,363	Фр	2,55	1,73	1,31	-0,05	-0,7	-1,56
	Фр C_v	1,01	0,69	0,52	-0,02	-0,28	-0,62
	$K_p=ФрC_v+1$	2,01	1,69	1,52	0,98	0,72	0,38

	$qr=Kp*q$	6,43	5,39	4,86	3,13	2,30	1,21
--	-----------	------	------	------	------	------	------

продовженндодатку Б.1

Сіверський Донець-Печеніги(н.б'єф), при $Cv= 0,314$; $q=2,725$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,45	Фр	2,65	1,76	1,32	-0,07	-0,71	-1,52
	Фр Cv	0,83	0,55	0,41	-0,02	-0,22	-0,48
	$Kp=ФрCv+1$	1,83	1,55	1,41	0,98	0,78	0,52
	$qr=Kp*q$	4,99	4,23	3,85	2,67	2,12	1,42
Харків- с.Циркуни, при $Cv= 0,451$; $q=2,767$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
2,136	Фр	3,64	2,01	1,289	-0,32	-0,7	-0,9
	Фр Cv	1,64	0,91	0,58	-0,14	-0,32	-0,41
	$Kp=ФрCv+1$	2,64	1,91	1,58	0,86	0,68	0,59
	$qr=Kp*q$	7,31	5,28	4,38	2,37	1,89	1,64
Уди- смт Перехресне, при $Cv= 0,498$; $q=2,858$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
1,362	Фр	3,22	1,93	1,34	-0,2	-0,73	-1,19
	Фр Cv	1,60	0,96	0,67	-0,10	-0,36	-0,59
	$Kp=ФрCv+1$	2,60	1,96	1,67	0,90	0,64	0,41
	$qr=Kp*q$	7,44	5,60	4,77	2,57	1,82	1,16
Уди- смт Безлдовка, при $Cv= 0,395$; $q=4,793$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,874	Фр	2,9	1,85	1,34	-0,14	-0,73	-1,35
	Фр Cv	1,15	0,73	0,53	-0,06	-0,29	-0,53
	$Kp=ФрCv+1$	2,15	1,73	1,53	0,94	0,86	0,47
	$qr=Kp*q$	10,28	8,30	7,33	4,53	4,13	2,24
р.Болховец- м.Белгород, при $Cv=0,518$; $q=2,351$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,871	Фр	2,9	1,85	1,34	-0,14	-0,73	-1,35
	Фр Cv	1,50	0,96	0,69	-0,07	-0,38	-0,70
	$Kp=ФрCv+1$	2,50	1,96	1,69	0,93	0,82	0,30

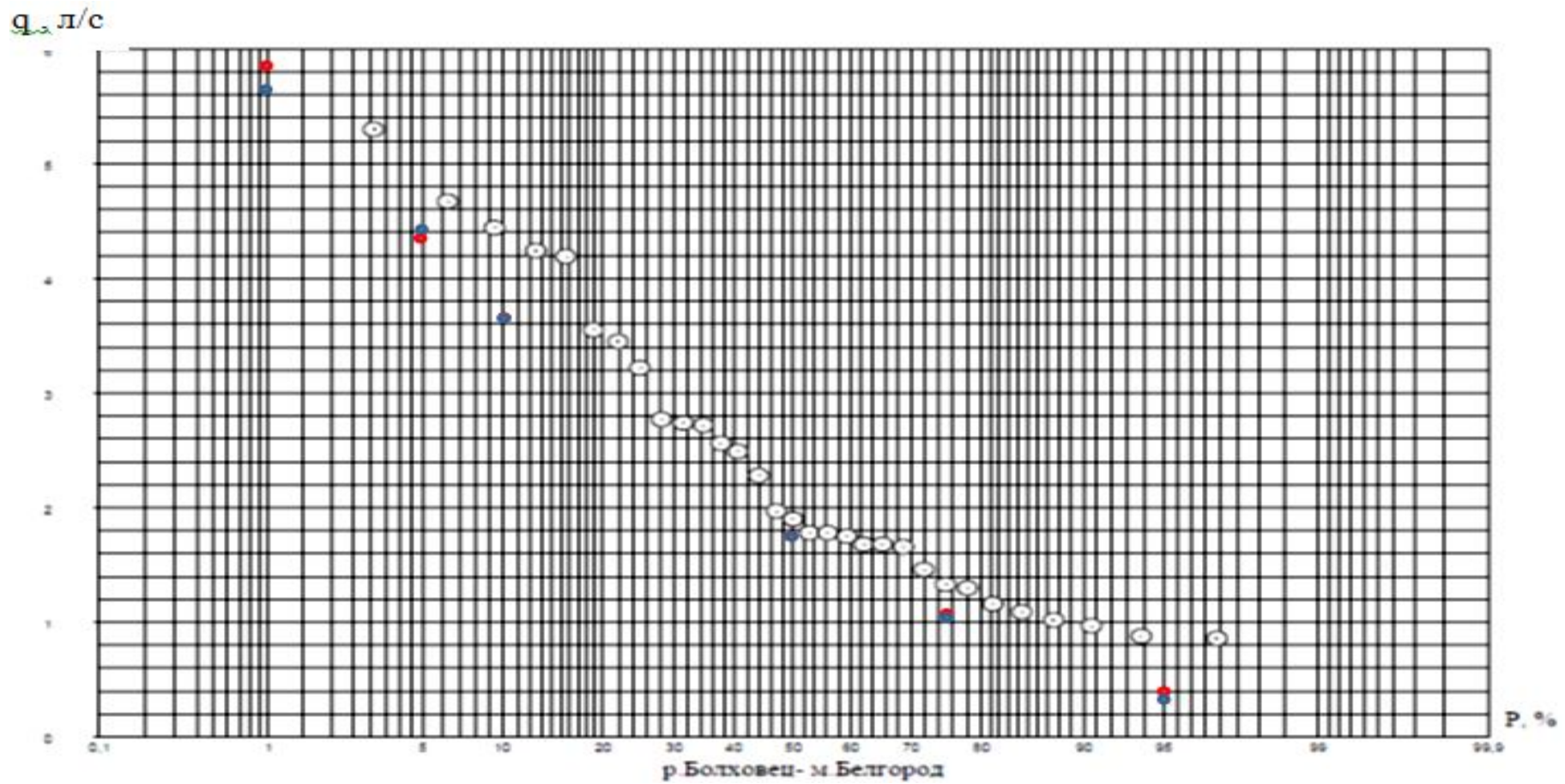
	$qr=Kp*q$	5,88	4,60	3,98	2,18	1,92	0,71
--	-----------	------	------	------	------	------	------

продовження додатку Б.1

Сіверський Донець- Кісельово, при $Cv=0,414$; $q=3,265$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,596	Фр	2,74	1,79	1,33	-0,09	-0,72	-1,44
	Фр Cv	1,13	0,74	0,55	-0,04	-0,30	-0,60
	$Kp=ФрCv+1$	2,13	1,74	1,55	0,96	0,70	0,40
	$qr=Kp*q$	6,97	5,68	5,06	3,14	2,29	1,32
Нежеголь- Щебекіно, при $Cv=0,395$; $q=3,288$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,826	Фр	2,89	1,85	1,34	-0,13	-0,73	-1,38
	Фр Cv	1,14	0,73	0,53	-0,05	-0,29	-0,55
	$Kp=ФрCv+1$	2,14	1,73	1,53	0,95	0,85	0,45
	$qr=Kp*q$	7,04	5,69	5,03	3,12	2,81	1,50
Нежеголь- Більшетроїцьке, при $Cv=0,465$; $q=3,242$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,471	Фр	2,65	1,76	1,32	-0,07	-0,71	-1,52
	Фр Cv	1,23	0,82	0,61	-0,03	-0,33	-0,71
	$Kp=ФрCv+1$	2,23	1,82	1,61	0,97	0,67	0,29
	$qr=Kp*q$	7,24	5,90	5,23	3,14	2,17	0,95
Короча- м.Короча, при $Cv=0,569$; $q=3,273$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
1,022	Фр	3,02	1,88	1,34	-0,16	-0,73	-1,32
	Фр Cv	1,72	1,07	0,76	-0,09	-0,42	-0,75
	$Kp=ФрCv+1$	2,72	2,07	1,76	0,91	0,58	0,25
	$qr=Kp*q$	8,90	6,77	5,77	2,98	1,91	0,81
Бабка- с. П'ятницьке, при $Cv=0,395$; $q=2,24$							
Cs	Величина	Забезпеченість , P%					
		1.0	5.0	10.0	50.0	75.0	95.0
0,45	Фр	2,65	1,76	1,32	-0,07	-0,71	-1,52
	Фр Cv	1,05	0,70	0,52	-0,03	-0,28	-0,60
	$Kp=ФрCv+1$	2,05	1,70	1,52	0,97	0,72	0,40

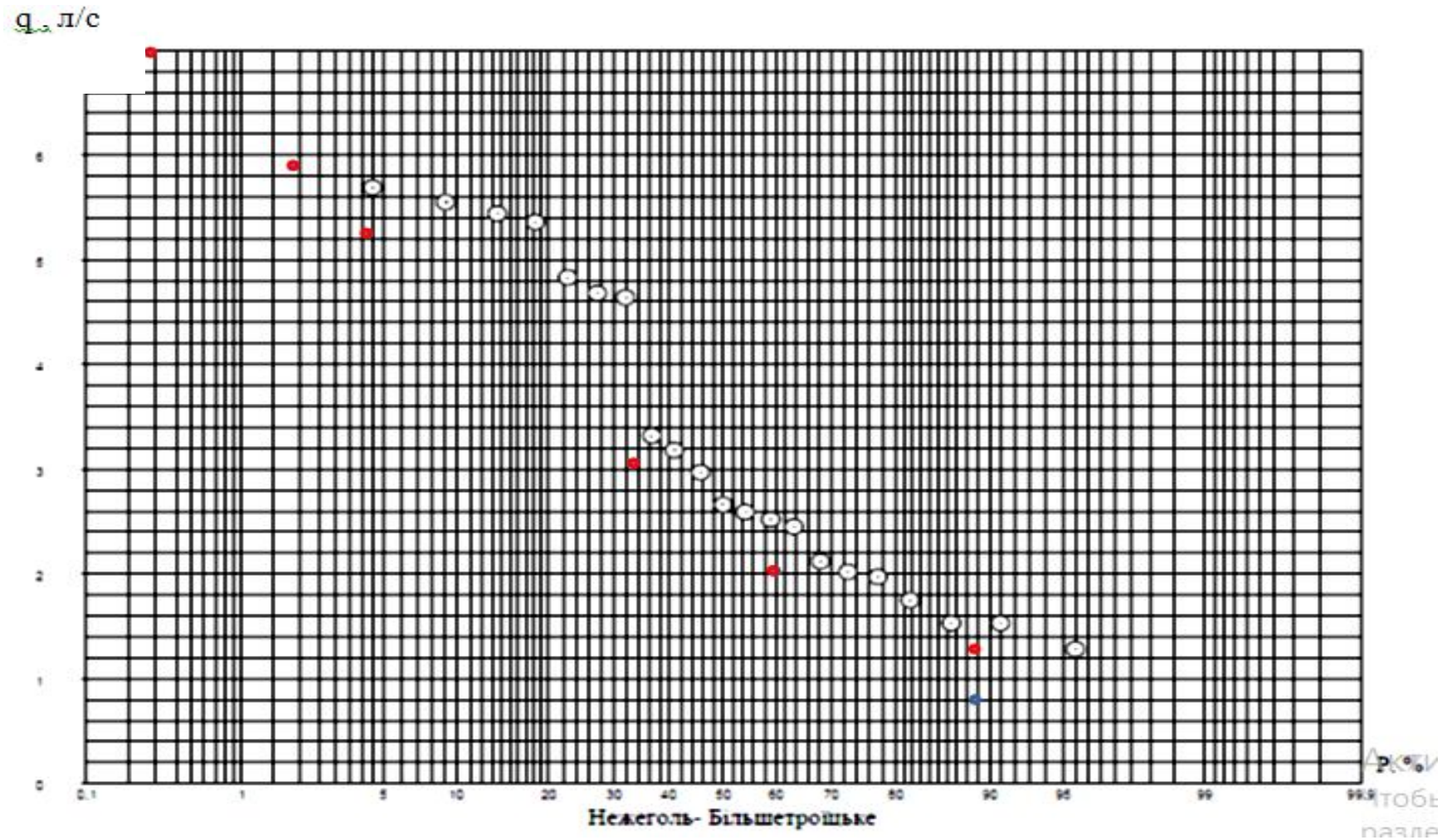
	$qp=Kp*q$	4,58	3,80	3,41	2,18	1,61	0,90
--	-----------	------	------	------	------	------	------

Додаток В - Емпіричні криві розподілу



- - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля
- - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис. В1- Емпірична крива річного стоку р. Болховец – м. Белгород за 1947 – 1980 рр.



- - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля
- - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис. В2 - Емпірична крива річного стоку р. Нежеголь- Більшетроїцьке за 1956 – 1980 рр.

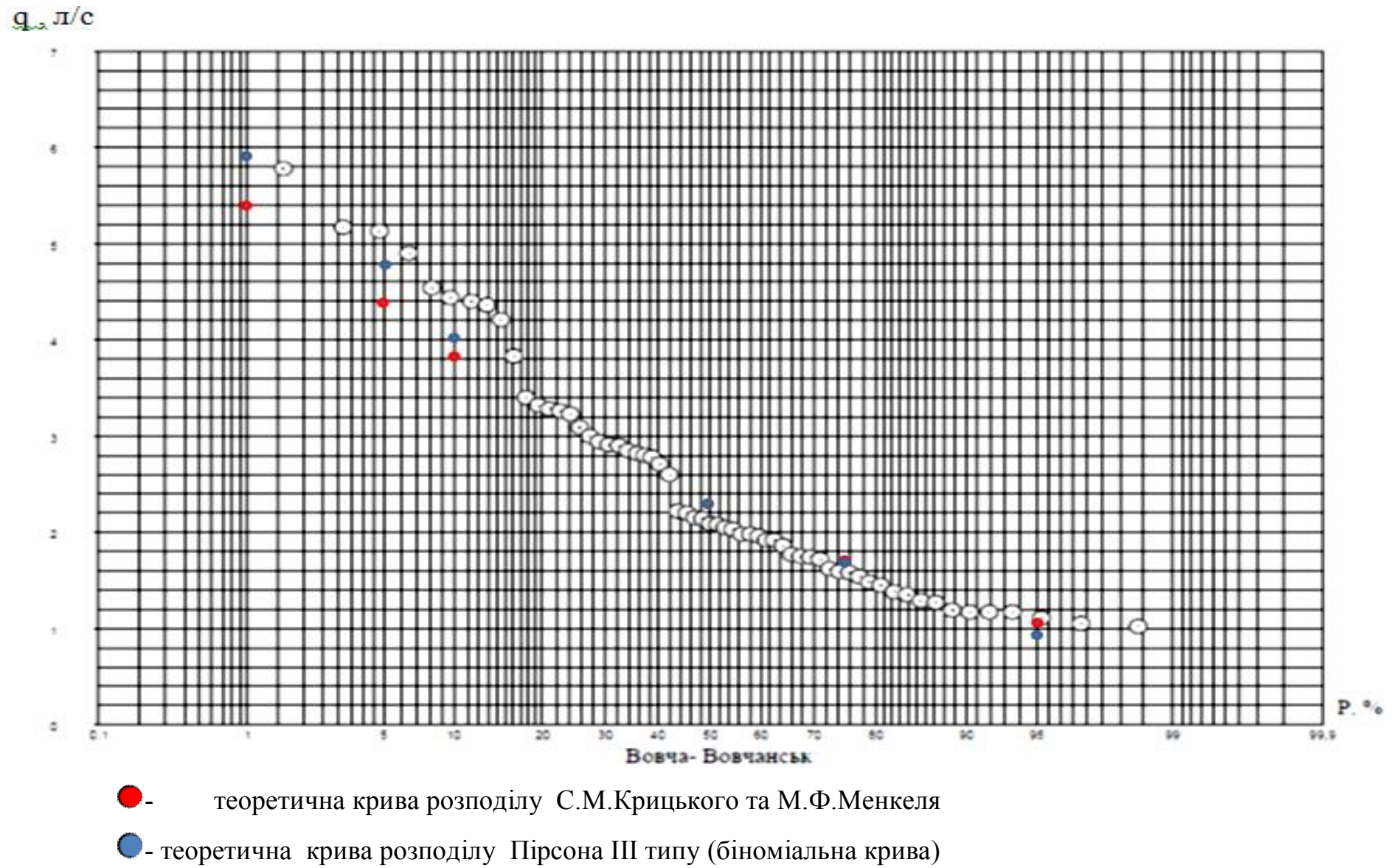


Рис.В3- Емпірична крива річного стоку р. Вовча- Вовчанськ за 1954 – 2015 рр.

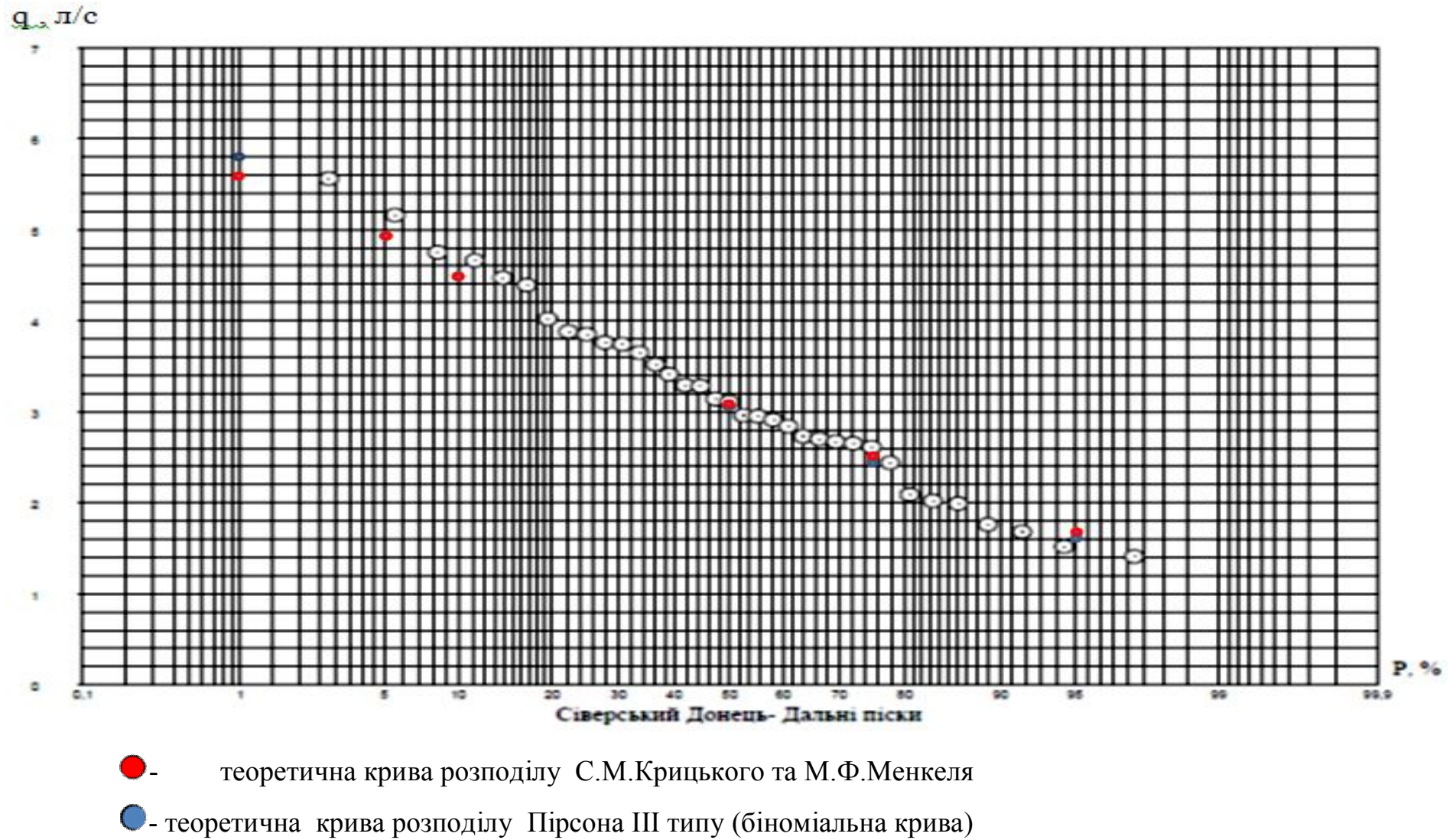


Рис. В4- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець –Дальні піски за 1938 – 1980 рр.

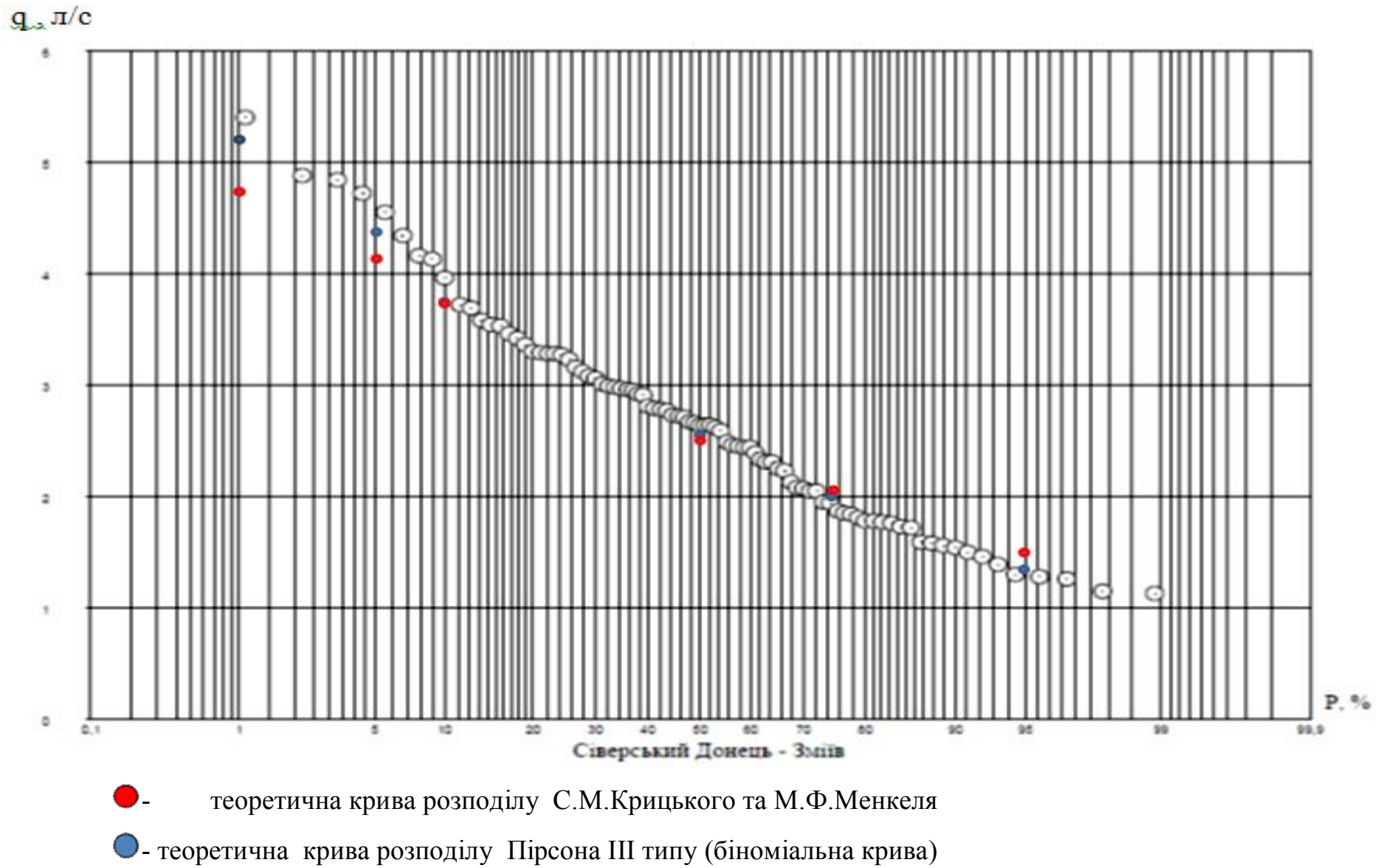


Рис. В5- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець – м. Зміїв за 1923 – 2015 рр.

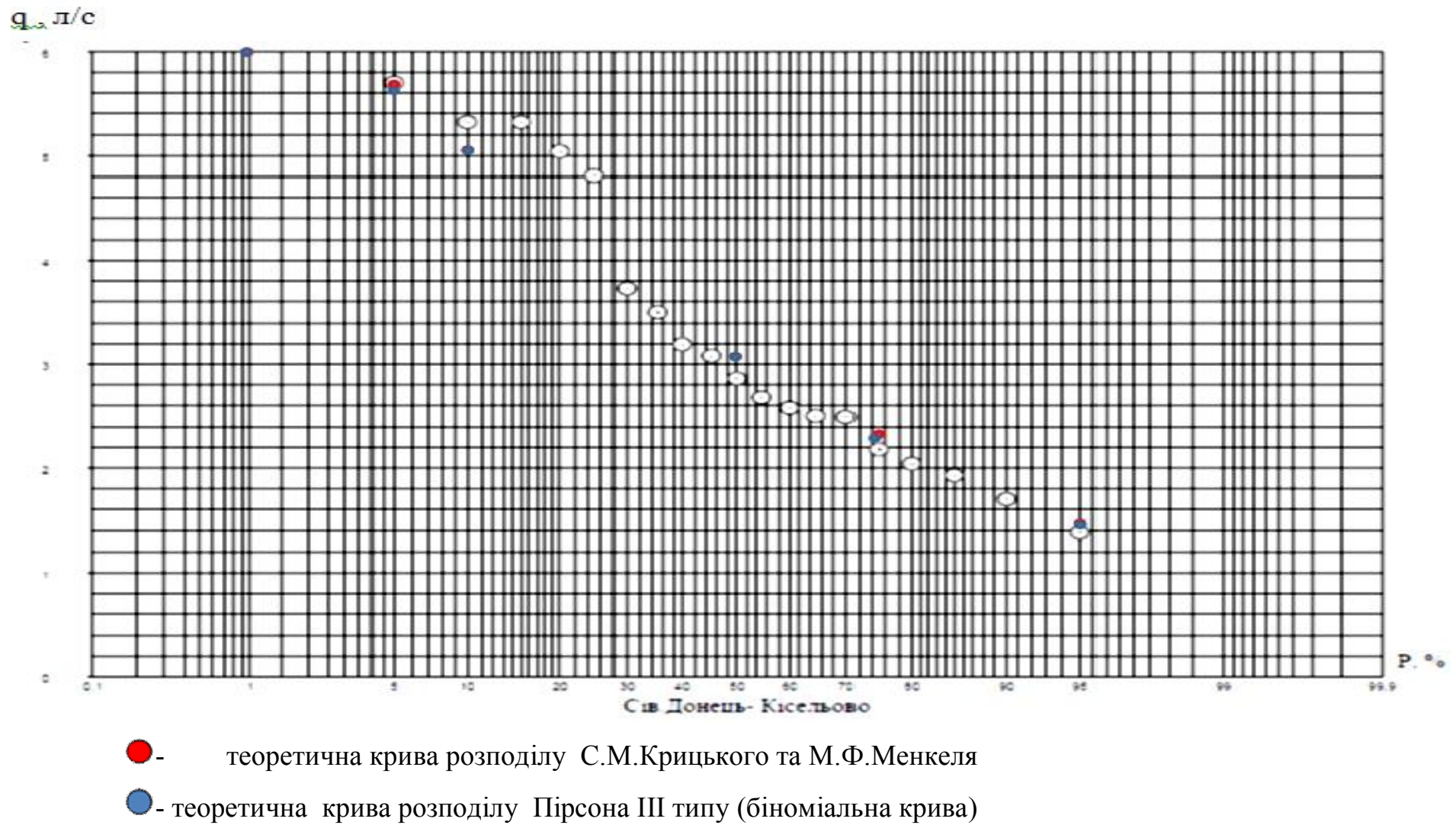


Рис.В6- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець - Кісельово за 1961 – 1980 рр.

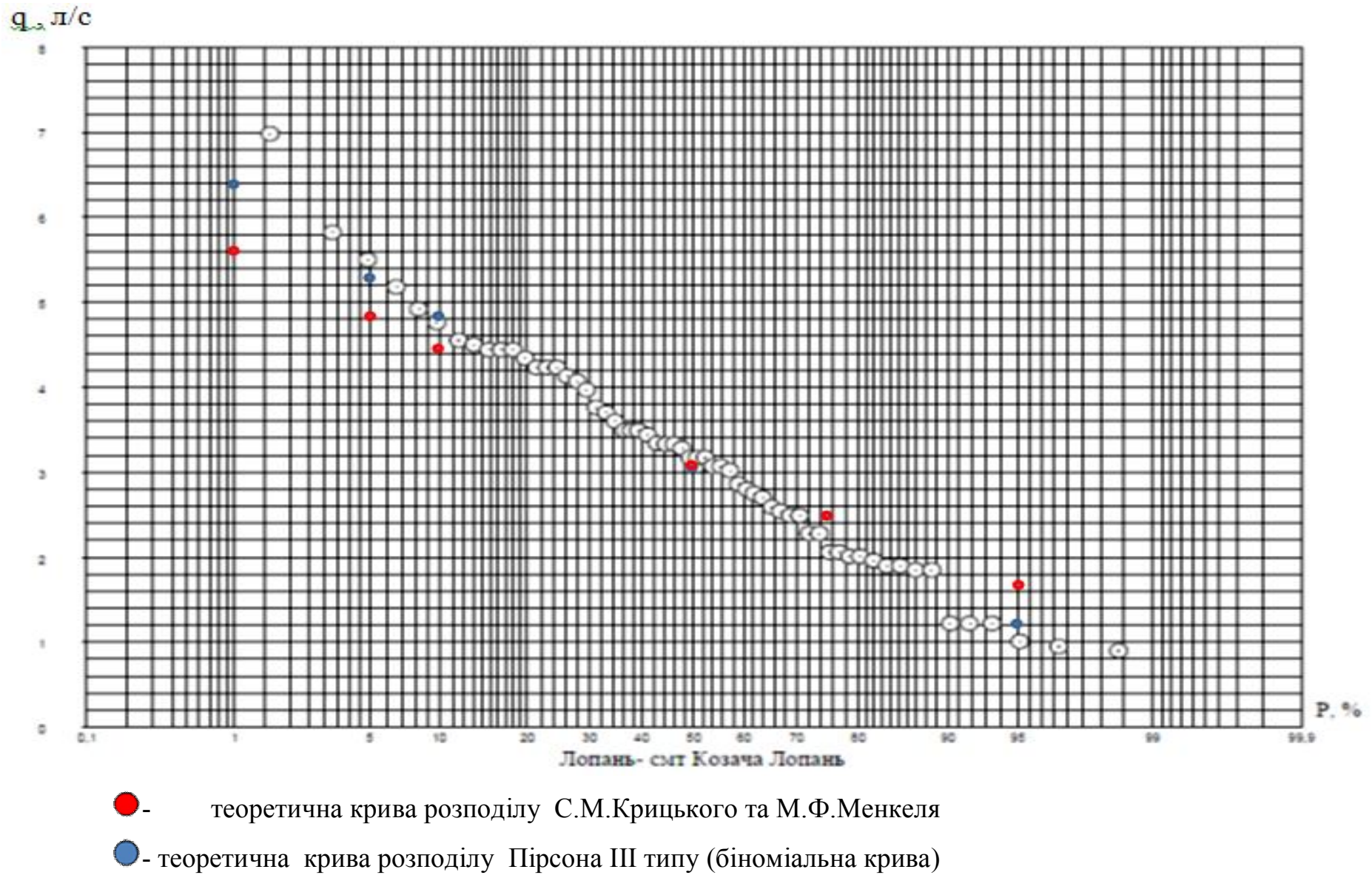


Рис.В7- Емпірична крива річного стоку р. Лопань - смт Козача Лопань за 1956 – 2015 рр.

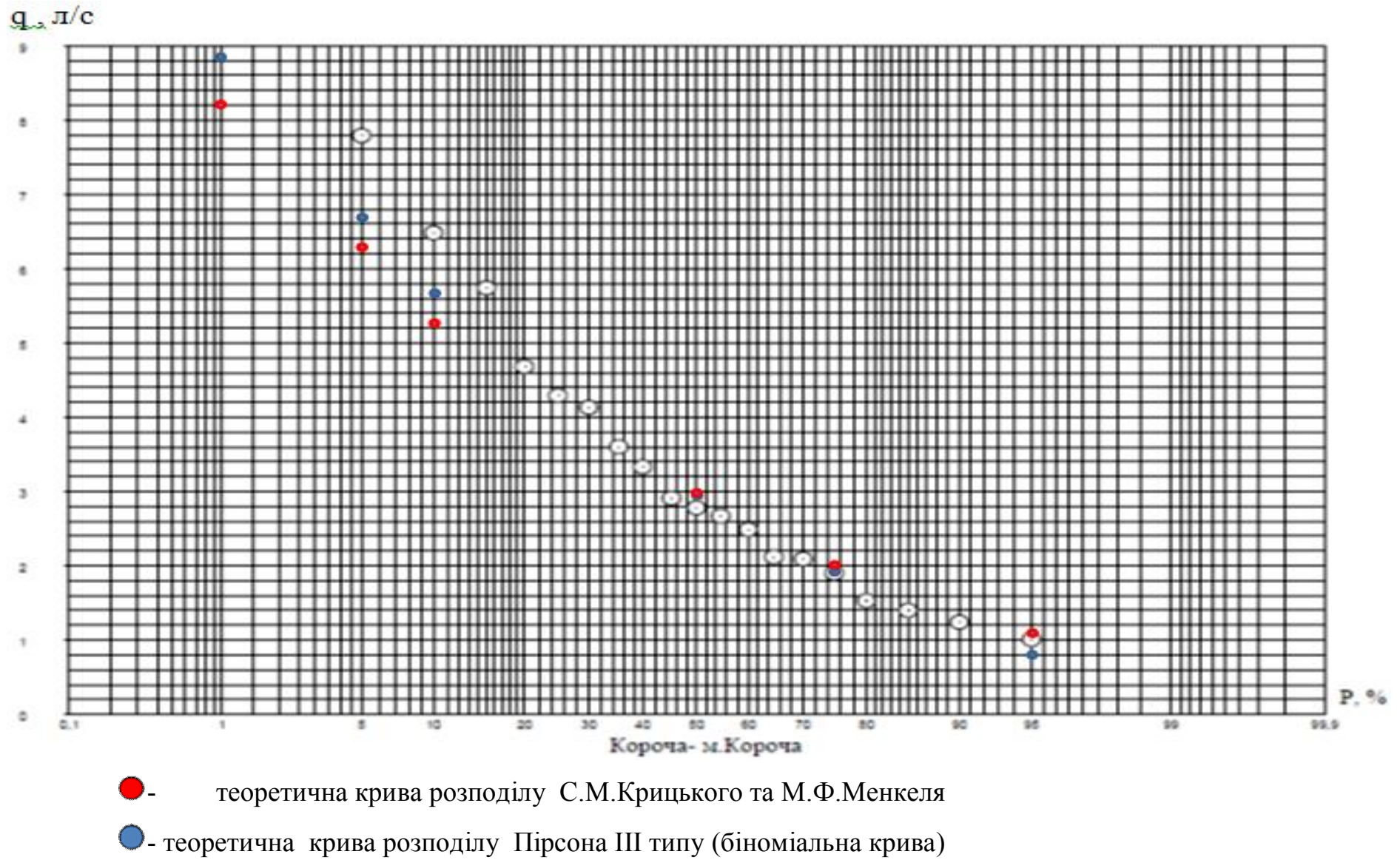


Рис.В8- Емпірична крива річного стоку р. Корча – м. Короча за 1961 – 1980 рр.

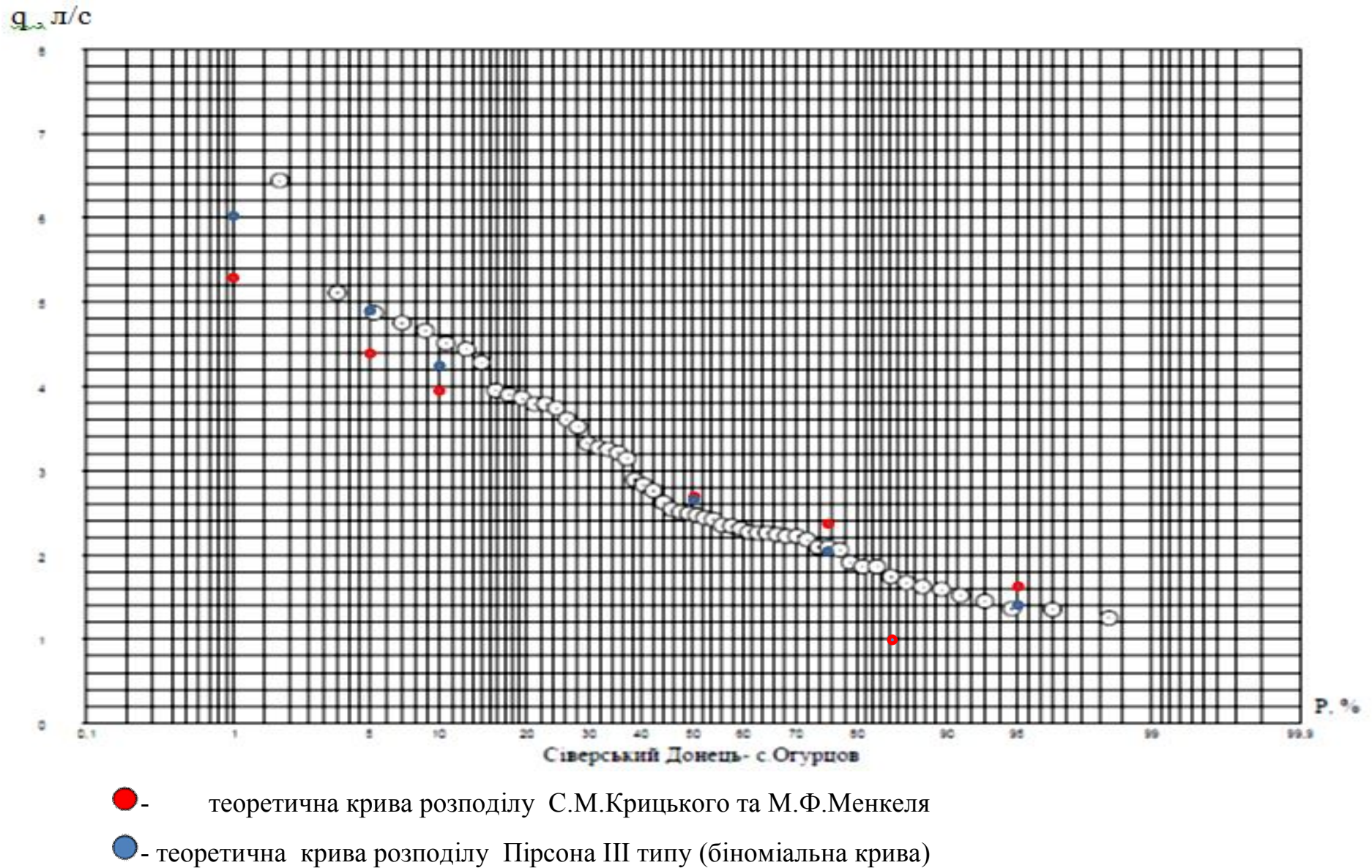
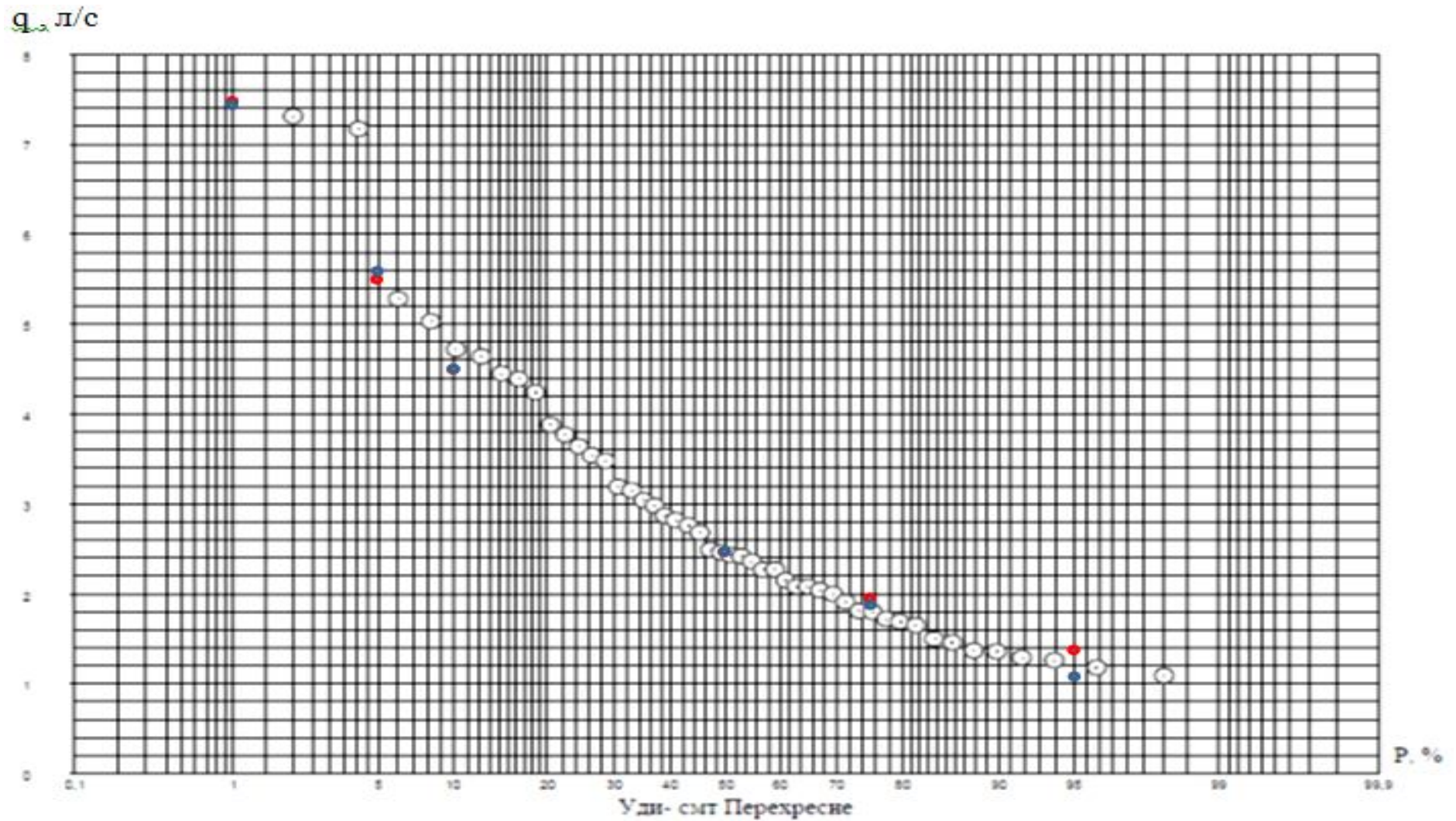


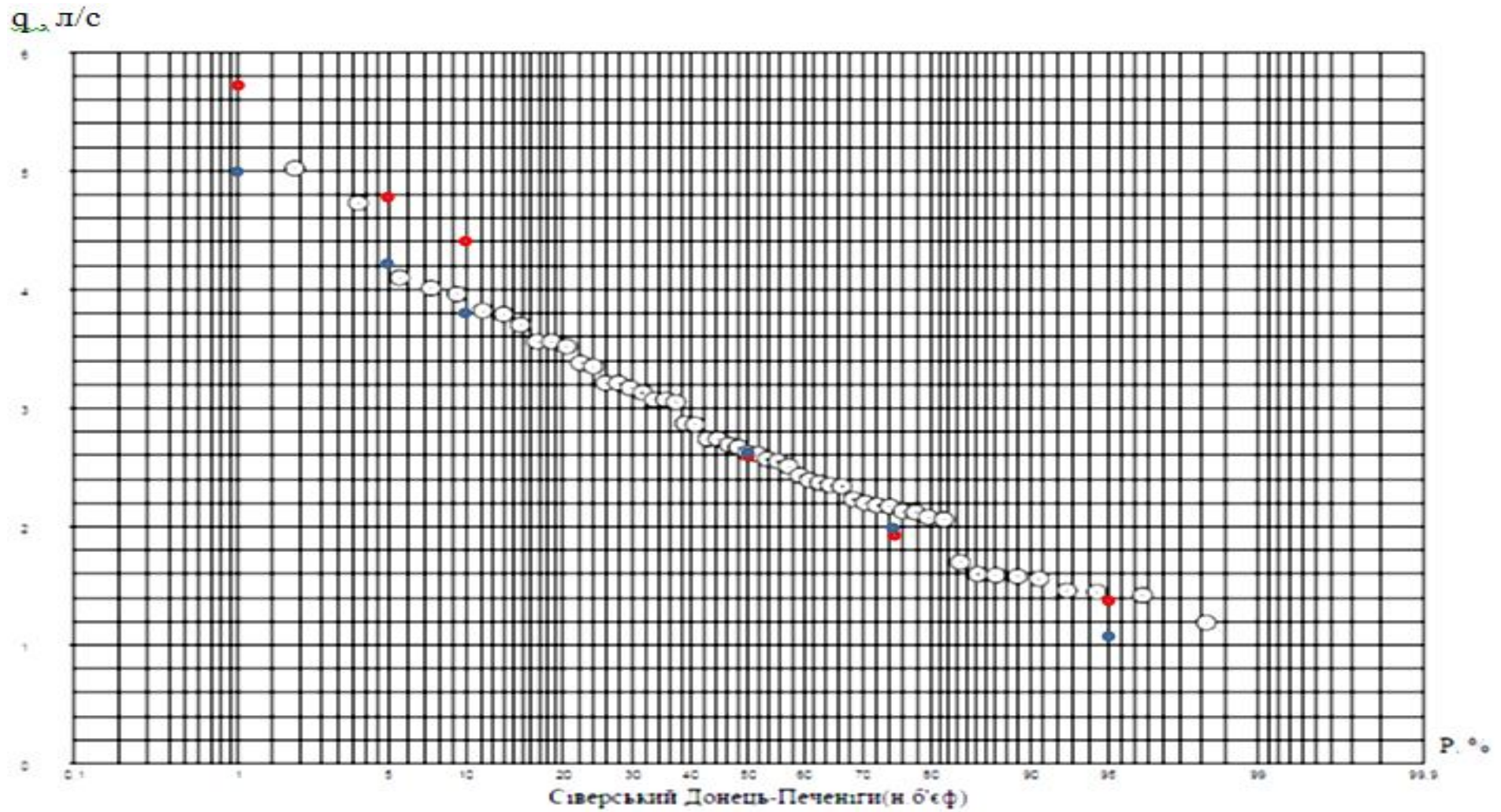
Рис.В9- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець –с. Огурцово за 1951 – 2015 рр.



● - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля

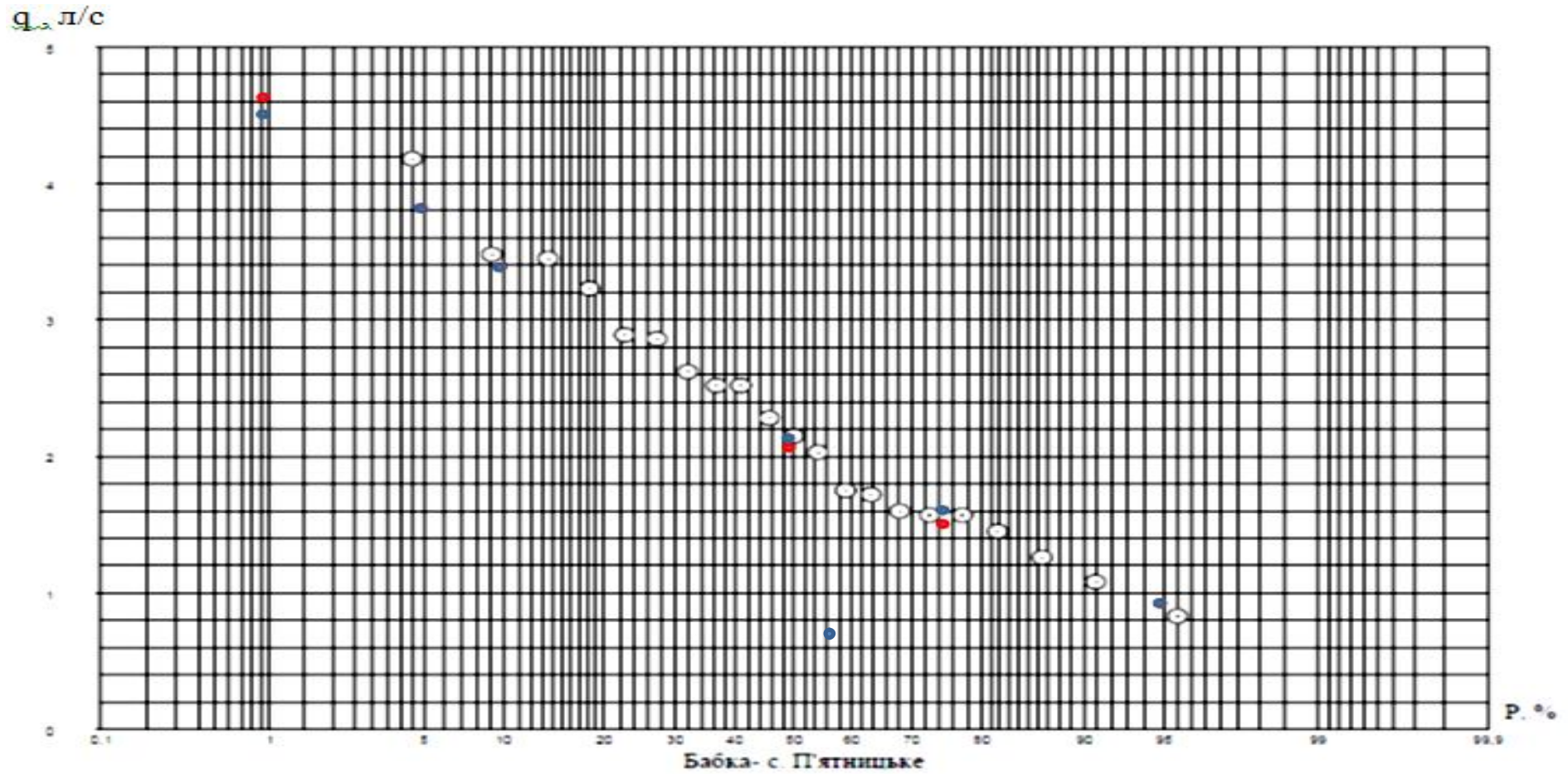
● - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис.В-10 Емпірична крива річного стоку р. Уди- смт Перехресне за 1967 – 2015 рр.



- - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля
- - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис.В11- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець – Печеніги(н. б'єф) за 1958 – 2015 рр.



- - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля
- - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис.В12- Емпірична крива річного стоку р. Бабка- с П'ятницьке за 1951 – 1971 рр.

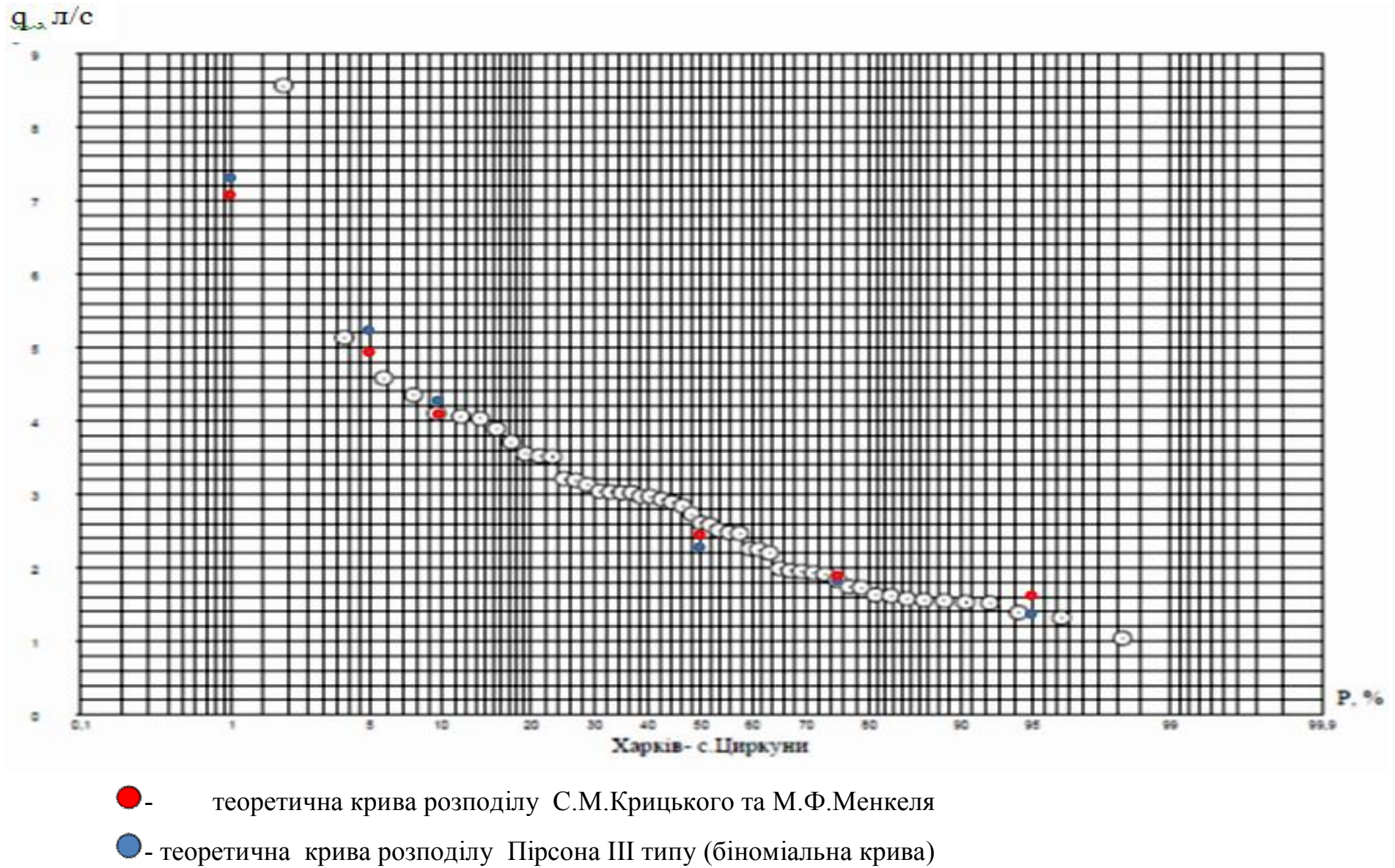
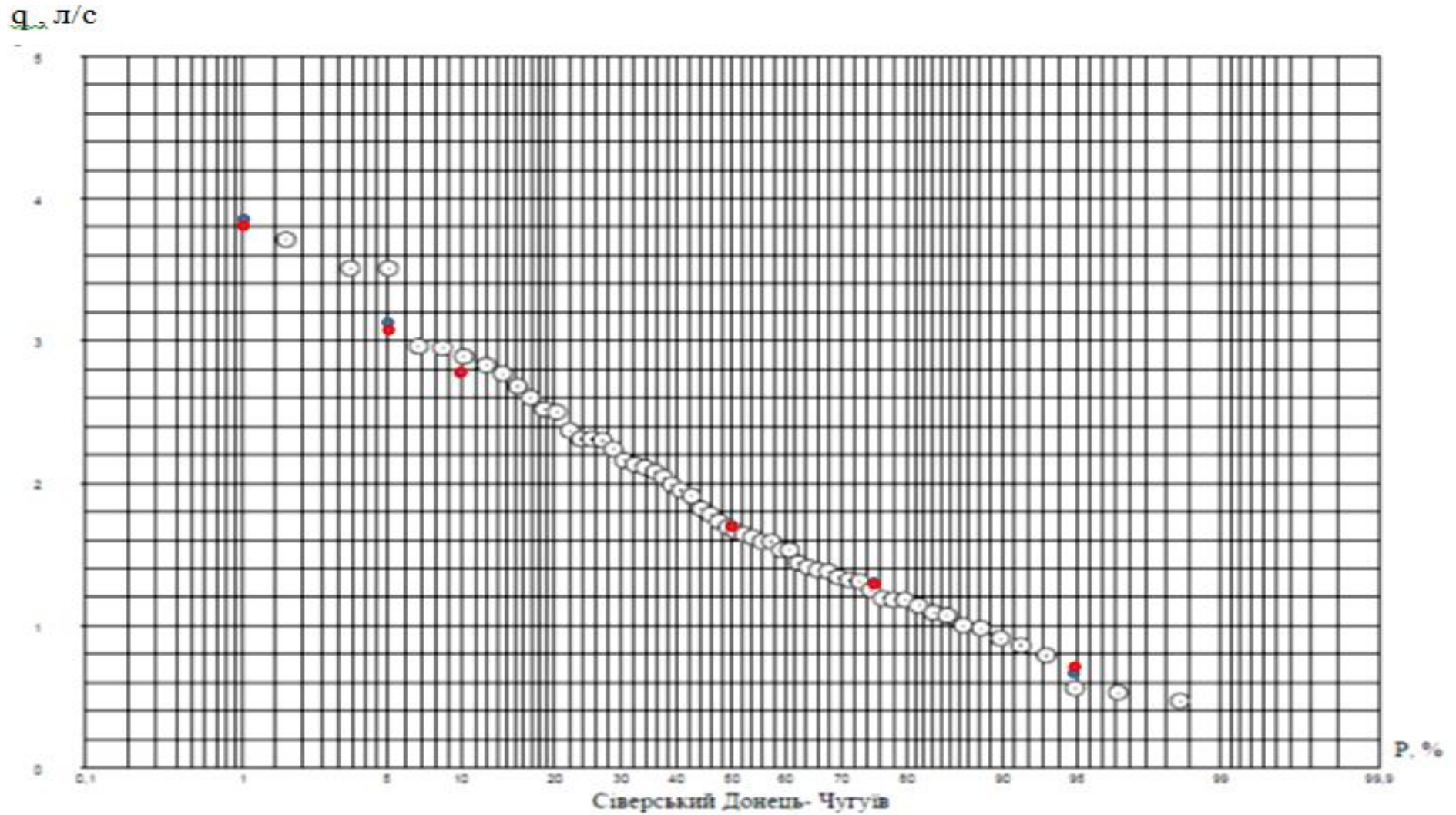


Рис.В13- Емпірична крива річного стоку р. Харків – с Циркуни за 1963 – 2015 рр.



- - теоретична крива розподілу С.М.Крицького та М.Ф.Менкеля
- - теоретична крива розподілу Пірсона III типу (біноміальна крива)

Рис. В14- Емпірична крива річного стоку р. Сіверський Донець – м. Чугуїв за 1957 – 2015 рр.

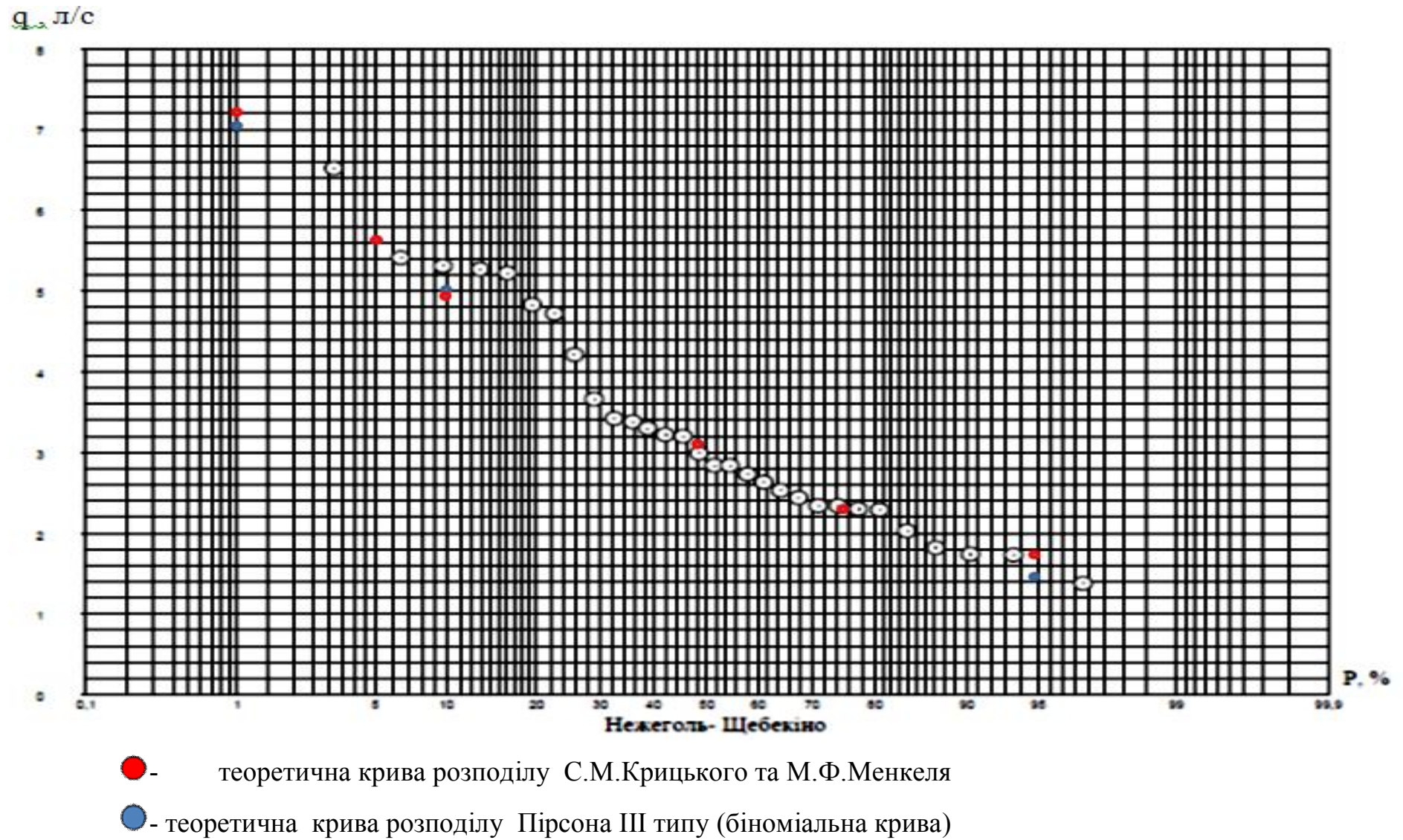


Рис.В15- Емпірична крива річного стоку р. Нежеголь – м. Щебекіно за 1949 – 1980 рр.