

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Одеська політехніка”

Методичні вказівки до практичних занять
«ГІДРОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ»
для здобувачів денної і заочної форми навчання першого
(бакалаврського) рівня спеціальності 101 “Екологія” освітньої
програми “Екологічна безпека”

Одеса 2025

Міністерство освіти і науки України
Національний університет “Одеська політехніка”
Кафедра екологічної безпеки та гідравліки

Методичні вказівки до практичних занять
«ГІДРОЛОГІЯ І ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ВОДНИХ ОБ'ЄКТІВ»
для здобувачів денної і заочної форми навчання першого
(бакалаврського) рівня спеціальності 101 “Екологія” освітньої
програми “Екологічна безпека”

Затверджено
на засіданні кафедри
екологічної безпеки та
гідравліки
Протокол № 1
Від 28.08.2025

Одеса 2025

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Гідрологія і екологічна безпека водних об'єктів» для здобувачів денної і заочної форми навчання першого (бакалаврського) рівня спеціальності 101 “Екологія” освітньої програми “Екологічна безпека”/ Укл.: Мельник С.В. Одеса: Національний університет «Одеська політехніка», 2025. – 38 с.

Укладач С. В. Мельник
канд. техн. наук, доц.

Роль водного фактору в економічному та соціальному розвитку суспільства постійно підвищується: зростає водопостачання на душу населення, великі об'єми водних ресурсів використовуються промисловістю для технологічних потреб, для атомних електростанцій, збільшується потреба у воді в сільському господарстві, особливо в південних районах.

Надзвичайно актуальним найближчим часом і для України стане облік, заощадження і охорона водних ресурсів. Ці ресурси обмежені і розподілені по території України і в часі вкрай нерівномірно. Придатні для використання ресурси поверхневих і підземних вод складають 60 км³ в рік, а в маловодні роки зменшуються до 37 км³. Зараз загальний забір води становить близько 21 км³. При зростанні промислового виробництва слід очікувати, що рівень забору досягне рівня 1990 р. (35,6 км³), що становить 97 % ресурсів в маловодні роки. У таких критичних умовах варто ретельно враховувати і розподіляти водні ресурси з використанням сучасних гідрологічних досліджень і методик.

У даних методичних указівках викладені методи і методики розрахунку деяких показників водних об'єктів. Освоєння цих методів допоможе студентам придбати певні навички для практичної роботи в галузі охорони навколишнього середовища.

1. ВИЗНАЧЕННЯ ГІДРОГРАФІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ВОДОЗБОРІВ КАРТОМЕТРИЧНИМ СПОСОБОМ

Основні поняття і тлумачення

Методичні вказівки дають змогу визначити гідрографічні характеристики водозборів згідно з методичними рекомендаціями ГМІ.

Термін “гідрографічні характеристики” відображає сукупність морфометричних та морфологічних характеристик, відображаючих форму, розмір водних об'єктів і деяких фізико-географічних особливостей водозборів. До гідрографічних характеристик відносять довжину, ухил, звивистість ріки, площу водозбору, середню висоту, густоту річкової мережі та ін.

1.1. Морфометричні характеристики водостоків (частина I)

Довжина ріки — відстань від витoku ріки до її гирла.

Середній похил — падіння висоти на одиницю довжини потоку.

Звивистість — відношення довжини водотоку до довжини прямої від початку до гирла.

Характеристика картографічного матеріалу

Гідрографічні характеристики визначають за топографічними картами масштабу 1:10000 ... 1:100000 шляхом проведення картометричних робіт. Точність розрахунку гідрографічних характеристик залежить від масштабу карти. Чим більший масштаб карти, тим вища точність визначення гідрографічних характеристик. Вибір оптимального масштабу карти залежить

від рельєфу. Рельєф вважається рівнинним, якщо відносне коливання висоти в межах водозбору — 200 м, гірським — якщо висоти більш 200 м.

1.1.1. Границі водозборів

Границя водозборів (вододільна лінія) визначається за рельєфом місцевості і проходить по найвищих точках водозбору, враховуючи горизонтальні, берг-штрихи, напрямки течії річок.

При відсутності горизонталей на карті вододільну лінію наносять посередині між початком річки дослідного і сусіднього водозборів.

Границі водозборів наносять на кальку у вигляді червоної або пунктирної лінії (рис. 1).

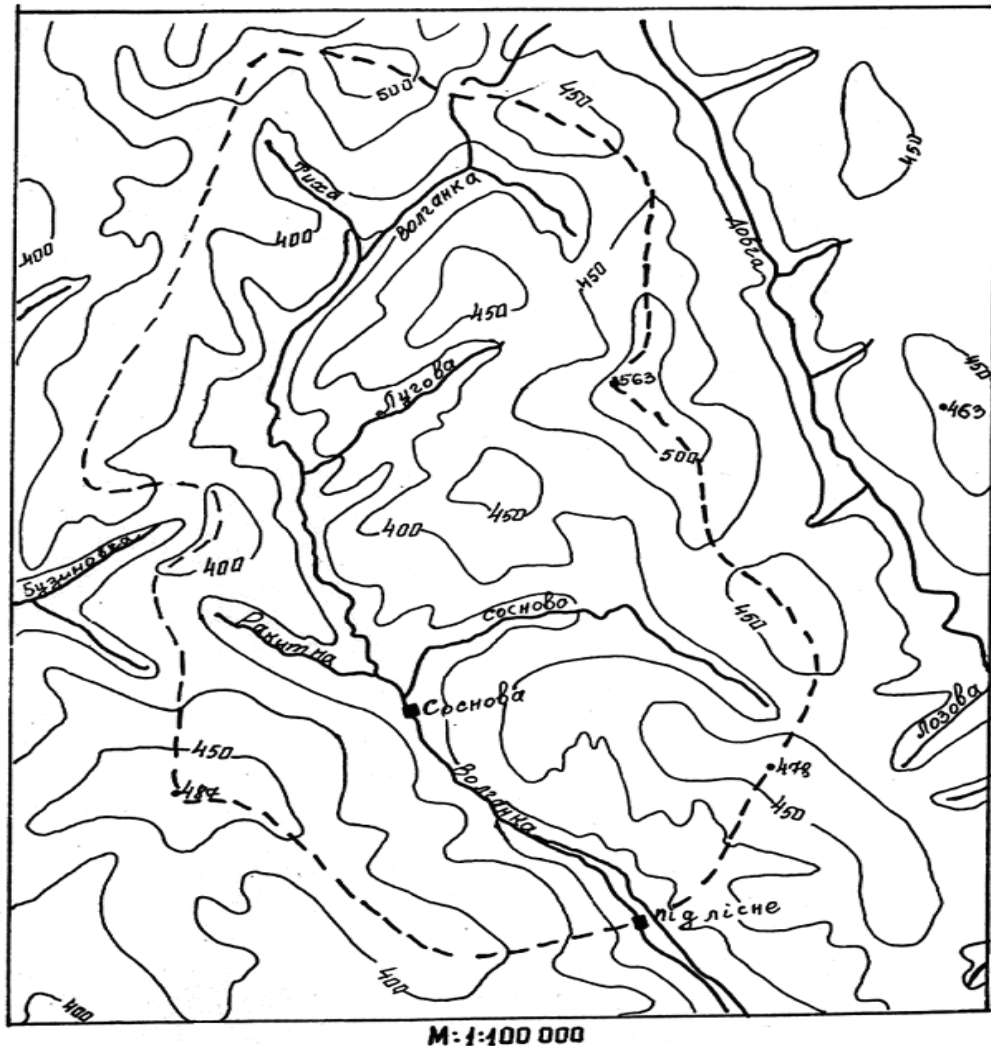


Рис.1.1 - Карта водозбору річки Волганка.

водотоків (річок)

До основних гідрографічних характеристик водотоків відносять довжину річки, похил, звивистість.

Довжина водотоку

Для визначення довжини водотоку (річки) необхідно знати початок та гирло (замикаючий створ).

Виток річки - місце, звідки вона бере початок. Витоком річки може бути озеро, льодовик, болото, або місце злиття двох річок.

Гирло річки - місце, де вона впадає в другу річку, озеро (водосховище) або море.

Довжиною річки називається відстань між витокom і гирлом, вимірювана по карті великого масштабу за допомогою курвіметра.

Довжина річки вимірюється в два прийоми, двічі. Спочатку знаходиться вся довжина від початку до гирла в прямому і зворотному напрямках, а потім по ділянках у тій же послідовності. Різниця між двома вимірюваннями повинна бути не більше 6% при довжині лінії 10 см, та не більше 4% - від 10 до 100 см.

Довжина річки

$$L = \left(\frac{L_{вим1} - L_{вим2}}{2} \right) m \quad (1.1)$$

де $L_{вим}$ - середина визначення довжини в двох напрямках, см;
 m - одне визначення курвіметра в масштабі карти.

Середній похил річки

Поздовжній профіль річки характеризує зміну схилів поверхні води за течією річки. Різниця відміток Δh верхів'я - h_1 та гирла - h_2 (або двох яких-небудь відміток за довжиною річки) називається падінням. Відношення падіння Δh до довжини річки (або до довжини даної ділянки річки) називають похилом річки, в ‰.

$$I_p = \frac{h_1 - h_2}{L} = \frac{\Delta h}{L}, \quad (1.2)$$

де Δh – падіння річки, м;
 L - довжина річки, км.

Гідрографічна звивистість річки

Річки в плані завжди мають звивисте окреслення. Звивистість залежить від місцевості, по якій тече річка, стійкості порід та ґрунтів, що становлять долину та русло, від розливу та динамічних явищ потоку.

Звивистість річки характеризується коефіцієнтом звивистості (κ_z), який становить відношення довжини ділянки річки L , виміряної по карті, до довжини прямої l , що з'єднує початок та кінець ділянки

$$\kappa_z = \frac{L}{l}, \quad (1.3)$$

де $\kappa_z > 1$.

Річка на всьому протязі має різну звивистість. Тому спочатку коефіцієнт звивистості обчислюється для окремих ділянок, а потім визначається їхній загальний коефіцієнт.

Порядок виконання роботи

Вихідні дані:

Карта водозбору ріки.

Потрібно:

1. Зробити аналіз висотних характеристик басейну, визначити на карті положення початку та гирла (або замикаючого створу) основної ріки та притоків. Аналіз і всі розрахунки супроводжувати поясненнями. Приблизний зразок пояснень приведений у додатку 1.
2. Нанести вододільну лінію та виділити водозбір.
3. Визначити гідрографічні характеристики ріки:
 - а) довжину річки та її притоків;
 - б) середній похил річки;
 - в) звивистість річки;
 - г) накреслити гідрографічну схему річки.

Порядок виконання роботи (зразок)

1. На фрагменті топографічної карти (рис.1.1) показано рельєф з горизонталями, проведеними через 50 м, та висотними відмітками. Найвища відмітка у верхів'ї басейну дорівнює 563 м.

Річка Волганка має початок на висоті близько 428 м і впадає в р.Рогозянку. Рельєф території знижується від початку до гирла і біля сіла Бідлісне (замикаючий створ) відмітка місцевості дорівнює 287 м (визначається інтерполяцією між суміжними горизонталями).

Річкова система представлена на карті головною річкою (р.Волганка) та притоками: зліва - р.Лугова, р.Соснова, справа - р.Тиха, р.Ракитна.

2. Аналіз карти показує, що найвищі відмітки місцевості між суміжними системами відносяться до замкнених горизонталей, вододільна лінія пересікає їх середину (пунктирна лінія).

3. а) довжина р. Волганки та її притоків вимірюється курвіметром. Границі ділянок відносять до місця впадіння притоку. Довжина річки та її ділянок визначається за (1.1). Довжина річки при двох прийомах виміру склала - 21,8 та 21,6 км. Потім розраховують довжини притоків в прямому та зворотному напрямках (результати вимірювань зводять у таблицю, зразок - табл. 1.1);

Таблиця 1.1 – Довжини р.Волганка та її притоків

№	Границі ділянок	Довжина ділянки ріки, см			Довжина ділянки		Довжина ділянки від витоку, км	Довжина ділянки від гирла, км
		I ви мір	II ви мір	Сере днє	см	км		
1	Виток-р.Тиха	4,9	4,7	4,8	4,8	4,8	4,8	21,8
2	р.Тиха-р.Луго ва	4,9	5,1		5	5	9,8	17

3	р.Лугова-р.Ракитна	5	5,4		5,2	5,2	15	12
4	р.Ракитна-р.Соснова	0,8	0,8		0,8	0,8	15,8	6,8
5	р.Соснова-с.Підлісне	5,9	6	6	6	6	21,8	6
					$\Sigma=21,8$	$\Sigma=21,8$		
1	Виток-с.Підлісне	22	21,6	21,8	21,8	21,8	-	-
2	с.Підлісне-виток	21,6	22	21,8	21,8	21,8	-	-
3	р.Тиха	2,9	2,8	2,8	2,8	2,8	-	-
4	Р.Лугова	4	3,9	4	4	4	-	-
5	Р.Ракитна	2,9	2,9	2,9	2,9	2,9	-	-
6	Р.Соснова	7,1	7,1	7,1	7,1	7,1	-	-

б) відмітка початку р. Волганки знаходиться шляхом інтерполяції між горизонталями 400 та 450 м і складає 428 м. Відмітка місцевості розрахункового створу - 287 м. Падіння річки на цій ділянці дорівнює 141 м. Середній ухил розраховується за формулою (1.2);

в) звивистість річки є відношення довжини річки (21.8 км) до прямої, з'єднуючої створи (15,1 км). Розраховується за формулою (1.3);

г) за даними таблиці креслиться гідрографічна схема р.Волганка (рис.1.2). Для цього у відповідному масштабі на горизонтальній чи вертикальній лінії відкладають загальну довжину річки Лугова. Від гирла відзначаються відстані до впадіння усіх притоків (табл.1.1), тобто на відстані 6 км від гирла відзначають першу притоку на лівому березі, ще через 0,8 км – праву притоку та т.п. Під кутом 45° до прямої у місцях впадіння притоків відкладаються в масштабі довжини усіх притоків. На схемі виписуються довжина річок. На основній річці відзначаються населені пункти, водомірні пости та гідровузли.

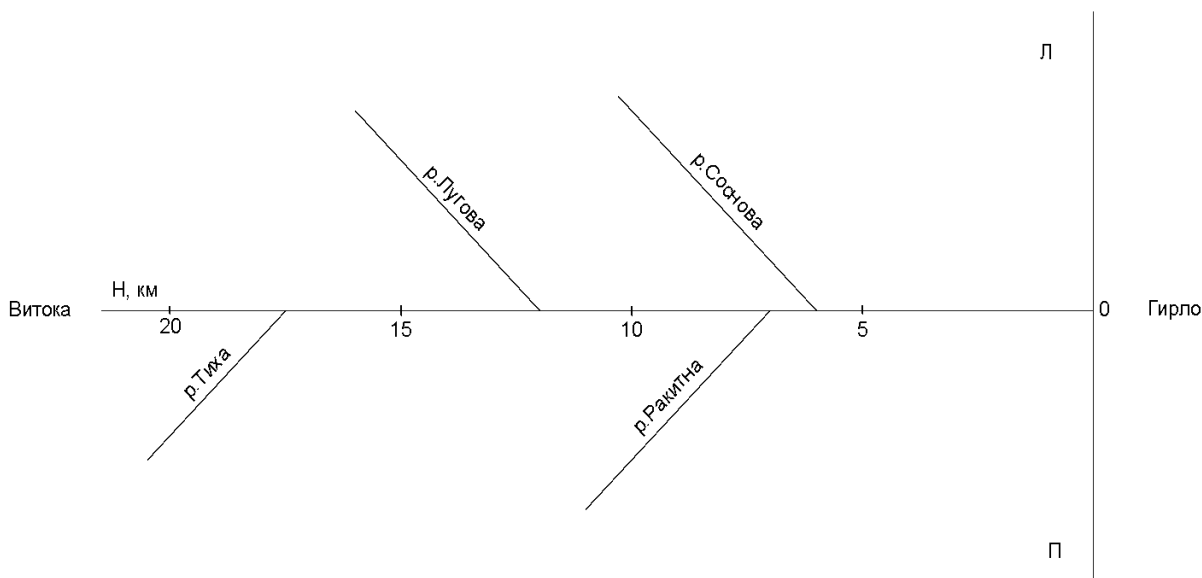


Рис. 1.2 – Гідрографічна схема р.Волганка.

1.2. Морфометричні характеристики водозборів

Площа водозбору — частка земної поверхні та товщі ґрунтів, з яких вода надходить у річкову мережу.

Середня висота — середнє з абсолютних відміток висот, рівномірно розташованих на водозборі.

Густота річкової мережі — відношення сумарної довжини всіх водотоків до площі території.

1.2.1. Визначення гідрографічних характеристик водозборів

Основні характеристики водозборів: площа, середня висота, густота річкової мережі.

Площа водозбору

Площу контурів, зображених на топографічних картах, визначається графічним способом (палеткою).

Для визначення площі даного контуру кладуть палетку і підраховують число повних кліток в межах ділянки. Неповні клітки, розташовані вздовж контуру ділянки, (оцінюють на око) враховують як половину клітки і додають до цілих. Площа

$$S = n \cdot a^2, \quad (1.4)$$

де n - кількість кліток палетки;

a - сторона клітки, км.

Всі вимірювання виконуються двічі.

Середня висота водозбору

Середня висота водозбору при наявності карти в горизонталях може бути отримана за формулою

$$H_{cp} = \frac{(f_1 \cdot h_1 + f_2 \cdot h_2 + \dots + f_n \cdot h_n)}{F}, \quad (1.5)$$

де $f_1, f_2, \dots, f_n$ - частки площі, обмежені горизонталями, м²;
 $h_1, h_2, \dots, h_n$ - середні висоти між горизонталями водозбору, м;
 F – загальна площа, м².

Густота річкової мережі

Ступінь насичення території водотоками характеризується коефіцієнтом густоти річкової мережі ρ . Він дорівнює відношенню сумарної довжини всіх водотоків $\sum L$ до площі території F і вимірюється в кілометрах на квадратний кілометр (км/км²).

$$\rho = \frac{\sum L}{F}.$$

Порядок виконання роботи

Вихідні дані:

Карта водозбору ріки.

Потрібно:

Визначити гідрографічні характеристики водозбору:

- а) площу водозбору;
- б) середню висоту водозбору;
- в) густоту річкової мережі.

Порядок виконання роботи (зразок)

а) площа водозбору р. Волганка та площа часткових водозборів і міжприточних територій одержується графічним способом за допомогою палетки. Ціна клітки палетки n розміром 2х2 мм в масштабі робочої карти становить 0,04 км². На кожний контур водозбору кладуть палетку і підраховують кількість кліток. Площа водозбору розраховується за (1.4) (результати вимірювань зводять у таблицю, зразок - табл. 1.2);

Таблиця 1.2 – Площа басейну р.Волганка

№	Площа	n	Виміряна площа, км ²
Правий берег			
1	I міжприточний простір		
2	1 басейн водозбору р.Тиха		
3	II міжприточний простір		
4	2 басейн водозбору р.Ракитна		
5	III міжприточний простір		
		$\Sigma=$	$\Sigma=$
Лівий берег			
1	I міжприточний простір		

2	1 басейн водозбору р.Лугова		
3	II міжприточний простір		
4	2 басейн водозбору р.Соснова		
5	III міжприточний простір		
		$\Sigma=$	$\Sigma=$
			$\Sigma_{\text{заг}}=$

За даними таблиці креслиться графік наростання водозбору р.Волганка (рис. 1.3). Для побудови графіка призначають масштаби (наприклад: вертикальний 1 см = 10 км і горизонтальний 1 см = 1 км). Побудова на графіку ведеться для правого берега вниз від лінії довжини річки, для лівого берега - вгору від неї. На рис.1.3 для правого берега відкладається відстань від гирла р.Волганка до впадання перший притоку р.Ракітна. Площа міжприточного простору від витоків р.Волганка до р.Ракітна дивимося по табл. 1.2. Ця площа відкладається на відстані довжини р.Ракітна від гирла. Від витоків проводиться похила лінія. Площа водозбіру р.Ракітна в сумі з вже відкладеним міжприточним простором - наростання площі. Відкладаючи вниз від горизонтальної лінії на відстані довжини р.Ракітна від гирла значення площі, отримуємо точку, яка з'єднується вертикальною лінією. Таким же чином відкладаємо другий міжприточний простір і приток, а далі наростання площі відбувається тільки за рахунок третього міжприточного простору. Таким чином, на графіку похилими лініями зображується наростання площ міжприточних просторів, а вертикальними лініями - площ водозборів притоків. Для лівого берега побудова проводиться аналогічно.

б) середня висота водозбору розраховується за формулою (1.5). Для цього складають таблицю, (зразок таблиця 1.3) куди заносять горизонталі з найвищої точки басейну до замикаючого створу. Площі, обмежені горизонталями, визначаються палеткою.

Таблиця 1.3 – Середня висота водозбору р.Волганка

Відмітки горизонталей	Площа водозбору, f , км ²	Середня висота, h_{CP} , м	$f \cdot h_{CP}$
<30	45	25	1125
...	...	...	...
$\Sigma=$		$\Sigma=$	

За даними таблиці креслиться гіпсографічна крива басейну р.Волганка (рис. 1.4). Гипсографическая крива дає наочне уявлення про розміщення площ водозбору по висотних зонах. За даними табл. 1.3 наносяться значення площ, відносячи їх до середини висотних інтервалів. Враховуючи масштаб на горизонтальній лінії відкладають площу басейну річки, на вертикальній – середні висоти водозбору.

в) густота річкової мережі розраховується за формулою (1.6) та за допомогою таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Густота річкової мережі р.Волганка

Назва річки	Довжина річки км	Площа басейну км ²	Густота річкової мережі км/км ²
р.Волганка	21,8		
р.Тиха	2,8		
Р.Лугова	4		
Р.Ракитна	2,9		
Р.Соснова	7,1		

2. РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОЇ БАГАТОРІЧНОЇ КІЛЬКОСТІ ОПАДІВ У БАСЕЙНІ РІКИ

Атмосферні опади, попадаючи на земну поверхню, частково стікають у зниження рельєфу і утворюють річкові потоки і водойми, частково випаровуються, а частково просочуються в ґрунт і стікають більш повільно у вигляді підземних вод у ті ж річкові потоки або водойми. Частину земної поверхні і товщу ґрунтів, звідки вода надходить до водяного об'єкта, називають водозбором або басейном ріки.

Загальне рівняння водяного балансу замкнутого річкового водозбору для середнього багаторічного періоду, коли різницю в запасах вологи ґрунтів на початок і кінець розрахункового інтервалу можна вважати такою, що дорівнює нулю, може бути записане так:

$$Y_0 = X_0 - Z_0, \quad (2.1)$$

де X_0 - середня річна кількість опадів, що випадають на поверхню водозбору у виді дощу, снігу, інею або роси, мм;

Y_0 - частина опадів, що стікає поверхневим і підземним шляхом або середній багаторічний розмір річного стоку, мм;

Z_0 - частина опадів, що витрачається на випар і транспірацію (за відрахуванням конденсації), або середній багаторічний розмір річного випаровування, мм.

Частка опадів $\frac{Y_0}{X_0}$, що стікає, враховується коефіцієнтом стоку. Даний коефіцієнт змінюється від 0 до 1. У районах надлишкової вологості коефіцієнт стоку складає 0,7 і більш. У посушливих і пустельних зонах коефіцієнт стоку може падати до нуля, тобто усі опади витрачаються на випаровування.

Середній багаторічний річковий стік як результуючий елемент водяного балансу, обумовлений властивостями даного географічного ландшафту,

співвідношенням тепла і вологи і є в даних, кліматичних і фізико-географічних умовах, стійкою характеристикою водяних ресурсів території або нормою річкового стоку. Відповідно до сучасної гідрологічної термінології норма річкового стоку - це середнє арифметичне значення характеристики за багаторічний період такої тривалості, при збільшенні котрої отримане середнє значення істотно не змінюється.

При наявності гідрометричних спостережень на водозборі норма річкового стоку

$$Y_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n}, \quad (2.2)$$

де Y_i - значення річного стоку, вираженого в міліметрах шару;

n - число років спостережень.

При відсутності або недостатності гідрологічної інформації розмір Y_0 може бути визначений за метеорологічними даними як різниця між середніми багаторічними опадами і випаром із поверхні суші. Норму річного стоку, розраховану за (2.2), у літературі називають “кліматичною”.

“Кліматична” норма річного стоку може істотно відрізнятися від Y_0 , обчисленого за спостереженнями із використанням (2.1). Це обумовлено впливом ряду місцевих факторів: неповнотою дренивання руслом ріки підземних вод; впливом лісів, озер, боліт, що знаходяться в межах водозбору; антропогенною діяльністю і т.д. Для середніх річок із площею водозбору від 2000 до 50000 км², що розташовуються в одній географічній зоні, вплив місцевих факторів несуттєвий і гідрологічний режим такої ріки відбиває головним чином коливання клімату, властиві даній зоні. У цьому випадку “кліматична” і зональна норми річного стоку збігаються.

Кліматичні компоненти рівняння (2.1), підпорядковуючись закону географічної зональності, змінюються з півночі на південь поступово. Це дозволяє припускати, що і середній річний стік, що є функцією кліматичних факторів, також підпорядковується закону географічної зональності і може бути картирован. Особливістю карт стоку є та обставина, що зображені на карті величини відносяться не до точки, а до цілого водозбору і є інтегральними його характеристиками. Це створює деяку умовність при побудові карти стоку, тому що спостережені величини повинні відноситися до умовних точок, що представляють центр ваги усього водозбору.

При відсутності даних спостережень за стоком рік для визначення норми річного стоку можна використовувати як карту ізоліній норм річного стоку, так і рівняння водяного балансу (2.1), попередньо визначив значення X_0 і Z_0 .

Щоб приступити до обчислень кліматичних факторів стоку з водозбору ріки, необхідно виділити на карті водозбір аналізованої ріки до замикаючого створу. Межу між суміжними водозборами (вододільна лінія) проводиться по найвищих точках навколишньої місцевості.

Залежно від рельєфу місцевості, наявності метеостанцій і постів, рівномірності їхнього розподілу по території для розрахунку середньої

багаторічної кількості опадів в основному застосовують три методи: середньоарифметичний; ізогіет; середньозважений.

2.1. Метод середньоарифметичного

Метод дає задовільні результати для рівнинних районів при рівномірному розміщенні пунктів спостережень.

Розрахунок норми опадів

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}, \quad (2.3)$$

де $\sum_{i=1}^n X_i$ - сума річних опадів по метеостанціях, мм;
 n - число станцій.

До розрахунку залучають показання метеорологічних станцій, що відстоять від лінії вододілу до 100 км, якщо рельєф, що оточує водозбір території, рівнинний.

2.2. Метод ізогіет

Ізогіети - лінії, що з'єднують на карті точки з однаковою кількістю опадів за визначений період часу (місяць, сезон, рік, багаторічний період). Для проведення ізогіет визначається амплітуда коливань опадів $(A = X_{\max} - X_{\min})$, за якою вибирають переріз із таким розрахунком, щоб на карті можна було провести не менше трьох ізогіет. Ізолінії проводять через 5, 10, 20, 25 мм (вони повинні бути кратними цим числам) за допомогою лінійної інтерполяції між станціями.

Шар опадів обчислюється за формулою

$$X_0 = \frac{(f_1 \cdot X_1 + f_2 \cdot X_2 + \dots + f_n \cdot X_n)}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (2.4)$$

де $X_1, X_2, \dots, X_n$ - середні значення опадів між ізогіетами;

$f_1, f_2, \dots, f_n$ - площі, замкнуті між ізогіетами і вододільною лінією (визначаються планіметрируванням або за допомогою палетки).

2.3. Метод середньозваженого

Особливість методу полягає у виділенні площі на водозборі, що відноситься до показань даної метеорологічної станції. Для цієї мети пункти суміжних метеостанцій з'єднуються прямими лініями (рис. 2). З середини кожної лінії відновлюються перпендикуляри, перетинання яких дозволяє отримати опорні точки (в деяких трикутниках доводиться відновлювати перпендикуляри з середини однієї сторони, а з інших як можна ближче до середини, так щоб одержати точку перетинання усередині трикутника). На рис. 2 показані опорні точки ABCD навколо однієї метеостанції. З'єднавши

опорні точки, отримуємо площі, що тяжіють до показань метеорологічних станцій.

Середнє значення опадів обчислюється за формулою

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n X_i f_i}{F}, \quad (2.5)$$

де f_i - окремі площі, що тяжіють до показань (X_i) конкретних станцій, у поділах палетки.

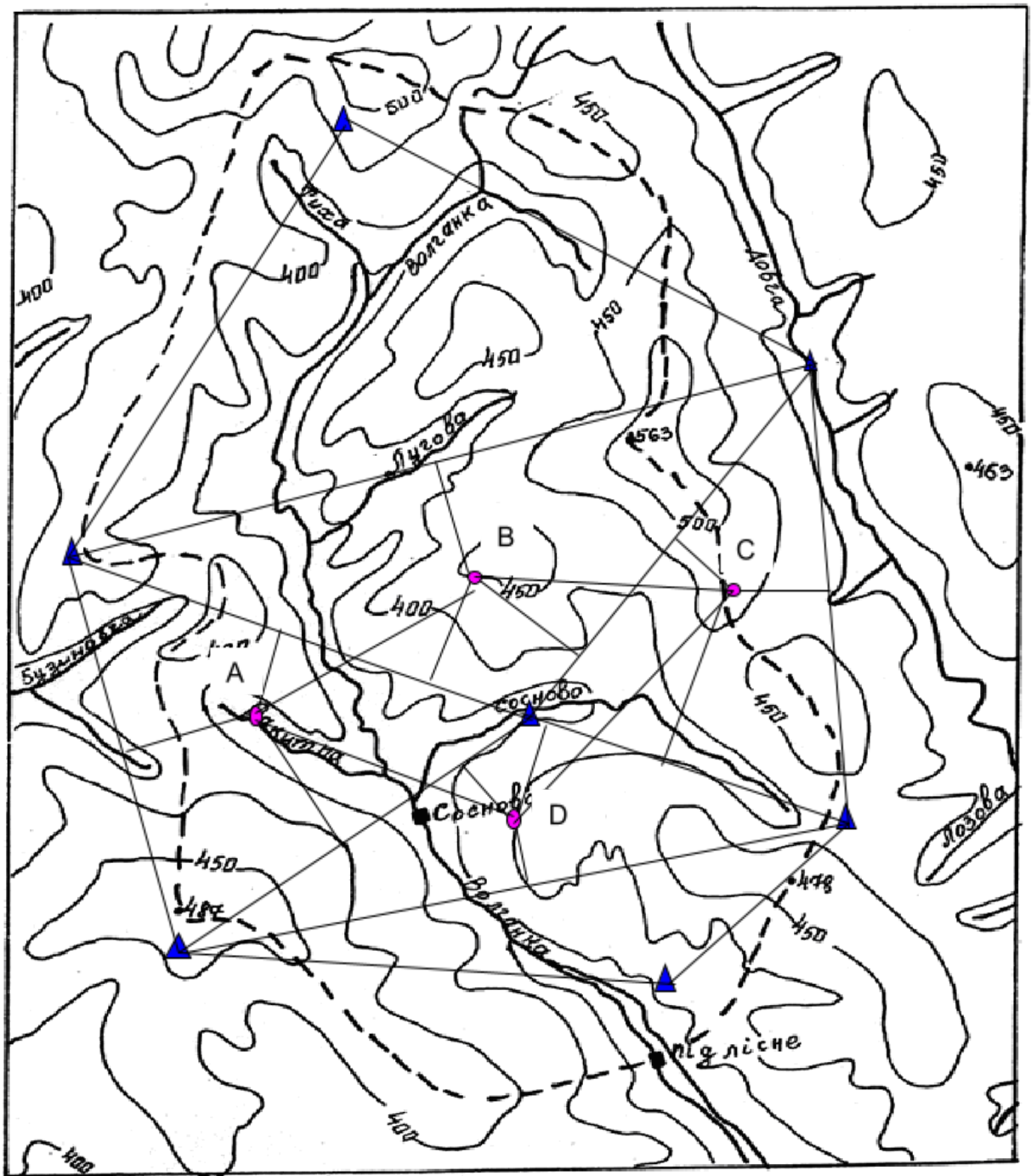


Рис. 2.1 - Визначення площі, що тяжіє до метеостанції

1. Схема водозбору ріки.
2. Річні суми опадів по метеостанціях.

Потрібно: Розрахувати шар опадів для водозбору річки методами:

а) середньоарифметичним;

- б) ізогієт;
в) середньозваженим.

Зіставити результати розрахунків.

Порядок виконання роботи (зразок)

1. Дати коротку характеристику водозбору.

2. а) Метод середньоарифметичного.

Дані заносять в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Річна кількість опадів

№ станцій	1	2	3	4	5	6	7	8
Кількість опадів, мм								

Розрахунок проводиться за формулою (2.3).

б) Метод ізогієт

Дані заносять в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Дані для розрахунку шару опадів за методом ізогієт

Значення ізогієт	Середнє значення, X_i	Площа, S_i	$X_i * S_i$
1	250	150	37500
...	...	...	...
		$\Sigma =$	$\Sigma =$

Розрахунок проводиться за формулою (2.4).

в) Метод середньозваженого

За методом виділяємо площі на водозборі, що відносяться до показників даної метеостанції. Дані до розрахунку шару опадів за методом середньозваженого зносимо до таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Дані до розрахунку шару опадів за методом середньозваженого

№	Кількість опадів X_i , мм	Площа багатокутника, f_i	$X_i f_i$
1			
...	...	...	...
		$\Sigma =$	$\Sigma =$

Розрахунок проводиться за формулою (2.5).

3. Результати обчислення різними методами зводяться у таблицю 2.4.

№	Метод	X_0 , мм
1	Середньоарифметичного	
2	Ізогієт	
3	Середньозваженого	

3. РОЗРАХУНОК СЕРЕДНЬОГО БАГАТОРІЧНОГО ВИПАРОВУВАННЯ З ПОВЕРХНІ ВОДОЗБОРУ

Середнє багаторічне випаровування визначається за трьома методами: по карті ізоліній, за температурою та вологістю повітря (метод А.Р.Константинова) і за рівнянням зв'язку М.І.Будико.

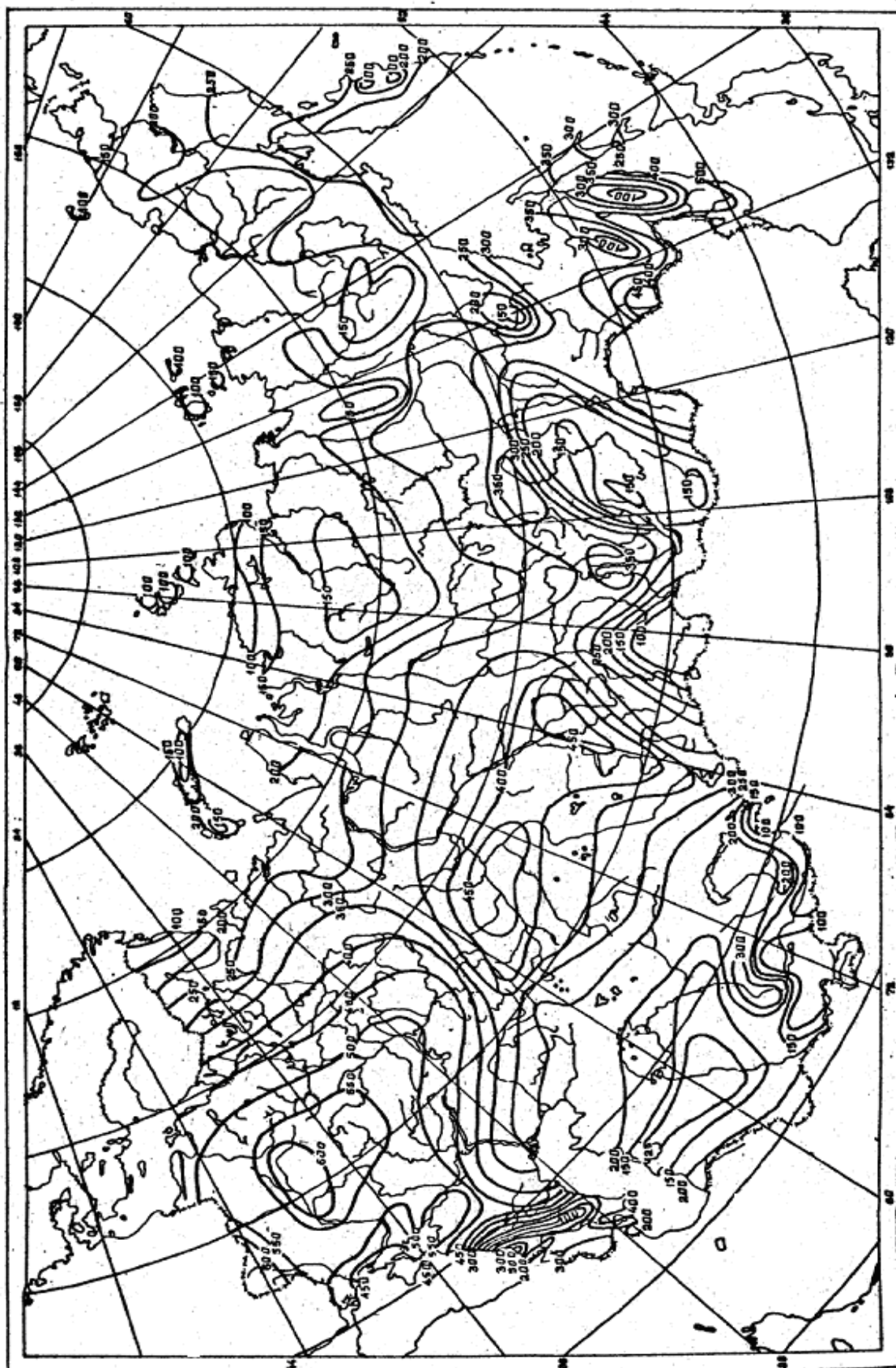
3.1. Визначення середньорічного шару випаровування по карті ізоліній

Карта випаровування, складена в Державному гідрологічному інституті (рис. 3.1), може бути використана для ділянок суші значних розмірів (6000-10000 км²). При наближених розрахунках на карту наноситься точка центру ваги водозбору і шляхом інтерполяції між ізолініями знаходяться випаровування в міліметрах шару. Помилка обчислення випаровування по карті для рівнинної території складає 12 %, для гірських районів Крайньої Півночі вона зростає до 20 % і для слабо вивчених районів досягає 40 %.

3.2. Розрахунок середнього багаторічного випаровування за температурою і вологістю повітря (метод Р.А. Константинова)

Цей метод дає найбільш точні результати для районів надлишкового і достатнього зволоження, де процес випаровування з поверхні суші визначається припливом тепла, а ресурси ґрунтової вологи не обмежені.

Розрахунок відбувається за допомогою номограми $Z = f(t, e)$, (рис.3.2), де t , e – середні багаторічні значення температури і вологості повітря, що беруться по репрезентативній метеорологічній станції. Під репрезентативністю розуміється ступінь представництва пункту, у якому сезонний хід елементів гідрометеорологічного режиму на території в безпосередній близькості від станції узгоджується із середнім ходом цих елементів на більшій території.



Ри
с.
3.1
- Се
ре
днь
орі
чни
й ша
р ви
про
вув
анн
я з
су
ші,
мм.

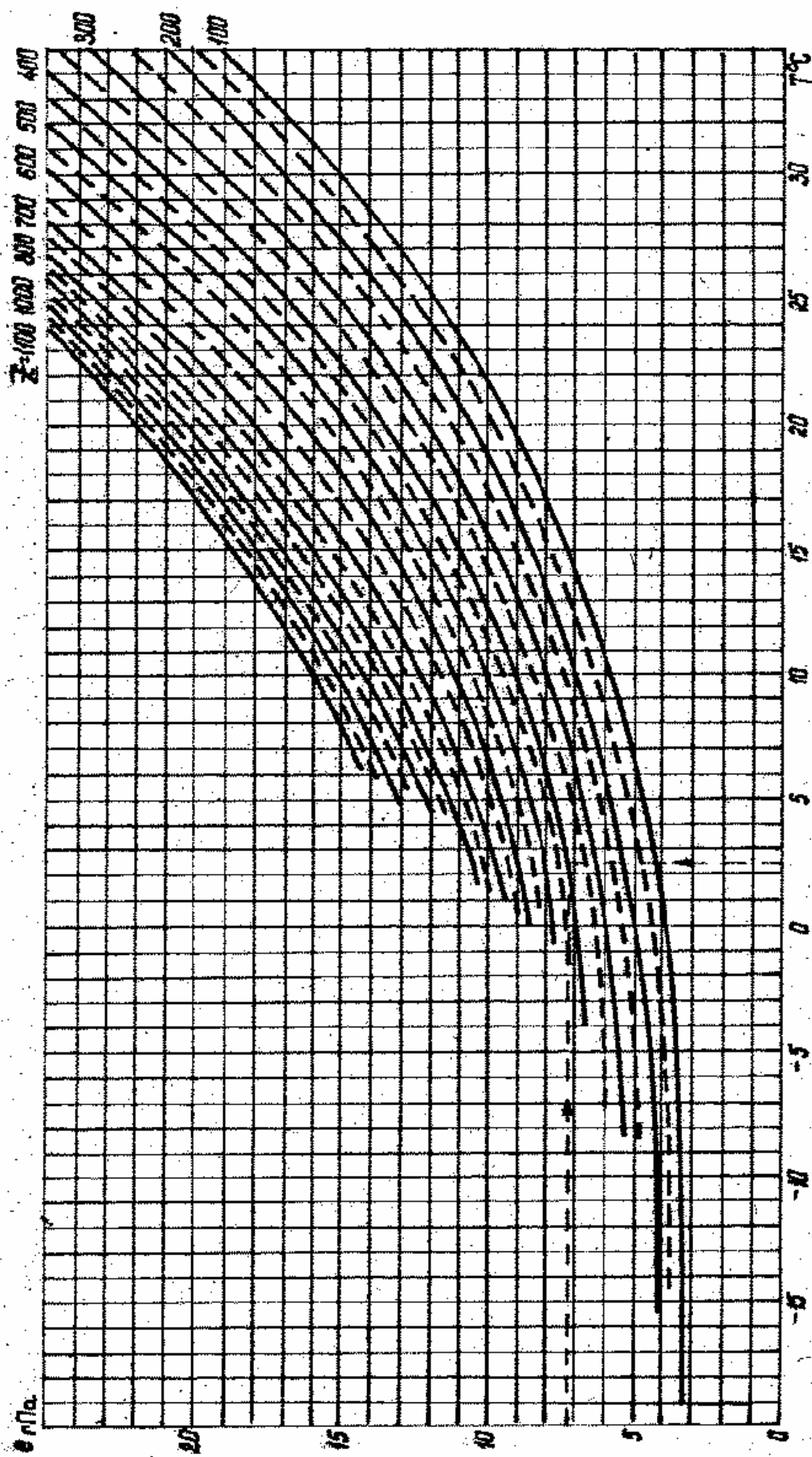


Рис. 3.2 - Номограма для визначення середнього багаторічного випаровування

3.3. Розрахунок середнього багаторічного випаровування за рівнянням зв'язку М.І. Будико

Середнє багаторічне випаровування визначається за даними спостережень за атмосферними опадами.

Дане рівняння має вигляд

$$Z_0 = \sqrt{\frac{R_0 X_0}{L} \left(1 - e^{-\frac{R_0}{X_0 L}}\right) \tanh \frac{X_0 L}{R_0}}, \quad \frac{\text{см}}{\text{рік}}, \quad (3.1)$$

де X_0 - норма опадів, см/рік;

R_0 - середній багаторічний радіаційний баланс для зволоженої поверхні, кДж/см²рік (170-260);

L - питома теплота паротворення, кДж/см³ (≈ 251).

Зволоженість враховується опадами X_0 , а теплоенергетичні ресурси клімату - величиною радіаційного балансу R_0 . Величина радіаційного балансу для водозбору, як правило, визначається по карті.

Розрахунки випаровування Z_i наведеним засобом роблять для кожної станції, розташованої на водозборі, а середнє значення обчислюють за методом зважування

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n Z_i f_i}{F}, \quad (3.2)$$

Порядок виконання роботи

Вихідні дані:

1. Схема водозбору ріки.
2. Дані: t , e – середні багаторічні значення температури і вологості повітря (табл. 3.1); X_0 - норма опадів, см/рік; R_0 - середній багаторічний радіаційний баланс для зволоженої поверхні, кДж/см²рік; L - питома теплота паротворення, кДж/см³.

Потрібно:

- а) розрахувати для водозбору ріки середнє багаторічне випаровування за температурою і вологістю повітря (метод Р.А. Константинова);
- б) розрахувати для того ж водозбору ріки середнє багаторічне випаровування за рівнянням зв'язку М.І. Будико (дані X_0 взяти з роботи №2);
- г) розрахувати середній багаторічний шар річного стоку (Y_0) за рівнянням водного балансу (2.1), для чого середній багаторічний шар опадів

взяти з роботи №2, а середній багаторічний шар випаровування взяти як середній з методів Константинова і Будико;

Таблиця 3.1 - Дані для розрахунку середнього багаторічного випаровування за методом Р.А. Константинова.

№ варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
e	5	5,5	8	9	10	12	12	13	9	18	17	15	16	19	20
t	0	-5	6	8	17	11	15	13	10	16	20	24	16	16	31

4. ГІДРОГРАФ РІВНИННИХ РІЧОК ТА ЙОГО ЗВ'ЯЗОК З ТИПАМИ ЖИВЛЕННЯ. ХАРАКТЕРИСТИКИ РІЧНОГО СТОКУ

У цій роботі викладаються методи обчислення гідрографічних, режимних та стічних характеристик.

Поняття та визначення.

Витрата (Q) - це кількість води, що проходить через живий перетин русла в одиницю часу; вимірюється в м³/сек.

Об'єм стоку (W) - це кількість води, що проходить через живий переріз русла за певний період часу (період повені, паводків, межені, декаду, місяць, рік); вимірюється в км³.

Повінь - це така фаза водного режиму, яка характеризується найвищим і тривалим стоянням рівня води в річці, що повторюється для даних кліматичних умов в один і той же час року і пов'язана з основними джерелами живлення.

Паводок - короткочасний і не регулярний підйом рівня води в річці.

Межень - це така фаза водного режиму, яка характеризується найменшим стоянням рівня води в річці і для даних кліматичних умов, що повторюється в один і той же час року.

Для характеристики режиму стоку річок будується *гідрограф* - графік зміни витрат води (Q , м³/с) у часі $Q = f(t)$. Це графічне зображення коливань середньодобових або середньодекадного витрат води протягом року або в різні сезони року. При цьому водоносність річки визначається її живленням. Виділяють снігове, дощове, ґрунтове і льодове живлення. На підставі різних співвідношень різних видів живлення будується класифікація річок М.І. Львовича. Якщо один з видів живлення дає понад 80% річного стоку, кажуть про виняткове значення даного виду живлення. Якщо на його частку припадає від 50 до 80% - цьому виду надається переважне значення. Якщо ж жоден вид живлення не дає понад 50% стоку, таке живлення називають змішаним. Для льодовикового живлення діапазони градацій (50 і 80%) знижені до 50 і 25%.

Для кількісної оцінки річкового стоку застосовуються такі характеристики:

Об'єм стоку (W , м³) - кількість води, що протікає в руслі річки через даний замикаючий створ, за певний проміжок часу (за рік):

$$W = TQ, \quad (4.1)$$

де T – час, число секунд у році ($31,54 \cdot 10^6$ с),

Q – середні витрати, м³/с.

Норма стоку (Y , м³/с) - середня арифметична величина стоку (витрат), обчислена за тривалий (більше 50 років) період. Також вона розраховується за формулою:

$$Y = AF/T, \quad (4.2)$$

де A – шар стоку, мм;

F – площа водозбору, км².

Модуль стоку (M , л/с·км²) - кількість води, що стікає з одиниці площі (1 км²) за одиницю часу (с):

$$M = Q/F, \quad (4.3)$$

Шар стоку (A , мм) - шар води в мм, рівномірно розподілений по площі F і що стікає з водозбору за певний проміжок часу:

$$A = W/F, \quad (4.4)$$

Коефіцієнт стоку (α , η , безрозмірні) - відношення величини (об'єму або шару) стоку до кількості атмосферних опадів що випали на площу водозбору:

$$\alpha (\eta) = A/X, \quad (4.5)$$

де X – кількість опадів, мм. Коефіцієнт стоку змінюється від 0 до 1. Іноді його визначають за допомогою емпіричних формул, наприклад:

$$\alpha (\eta) = 1 - \sqrt{d/4,8}, \quad (4.6)$$

де d – середній багаторічний дефіцит вологості повітря, мм.

Порядок виконання роботи

Вихідні дані: Витрати води.

Потрібно:

1. Побудувати гідрограф, розчленувати його за видами живлення, визначити величину снігового, дощового та ґрунтового живлення і переважний тип живлення (зразок побудови гідрографа – рис 4.1).

За даними таблиці „Витрати води” та у відповідності з масштабами побудувати на міліметровці графік зміни витрат протягом року. На осі ординат відкласти значення витрати, на осі абсцис - місяці.

2. Розчленувати отриманий гідрограф на снігове, дощове і ґрунтове живлення. Для цього знайти на графіку найвищий пік витрат, що припадає на снігове живлення (визначається зі зміни негативних температур позитивними). Вважається, що в цей період ґрунтове живлення дорівнює 0. Ближче до літа його частка збільшується, а кількість снігових вод зменшується, і до кінця травня вони вичерпуються. Тому справа і зліва від точки з нульовим живленням ґрунтових вод провести відрізки до найближчих западин (ділянки кривої, де падіння витрати змінюється його збільшенням) на гідрографі. Всі піки витрат (крім самого великого) зрізати відрізками, що з'єднують сусідні западини кривої. Область графіка, розташована нижче цих

відрізків, відноситься до ґрунтового живлення. Зрізані піки, що знаходяться в діапазоні позитивних температур мають дощове живлення. Інша частина графіка - снігові води. Ділянки графіка з різним живленням заштрихувати різними умовним знакам легенди.

3. Підрахувати кількість см^2 , що припадають на кожен вид живлення. Отримані результати занести в таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 - Розрахунок об'ємів різного виду живлення річки

Живлення	Площа, см ²	«Ціна» 1 см ²	Об'єм живлення	
			м ³	%
Снігове				
Дощове				
Ґрунтове				
Річний об'єм стоку			Σ=	100

Визначити «ціну» 1 см^2 в одиницях об'єму (м^3). Для цього 1 см вертикального масштабу (наприклад, 10 $\text{м}^3/\text{с}$) треба помножити на 1 см горизонтального (наприклад, 2 декади, тобто 20 діб): $1 \text{ см}^2 = 10 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 20 \text{ діб} \cdot 86400 \text{ с} = 17,28 \cdot 10^6 \text{ м}^3$.

4. Розрахувати об'єми стоку снігового, дощового та ґрунтового живлення. Використовуючи класифікацію М.І. Львовича (табл. 4.2), проаналізувати відсоткове співвідношення різних видів живлення і визначити переважний тип живлення.

5. Розрахувати кількісні характеристики річного стоку (табл. 4.3). Розглянути рішення на прикладі, наведеному в таблиці.

За формулою (4.1) визначити об'єм стоку (W , м^3):

$$W = QT = 0,20 \text{ м}^3/\text{с} \cdot 31,54 \cdot 10^6 \text{ с} = 6308000 \text{ м}^3 = 6,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3.$$

Знаючи витрата (Q) і площа водозбору (F), визначити з формули (4.3) модуль стоку (M , $\text{л}/\text{с} \cdot \text{км}^2$), для чого значення витрати переводиться з $\text{м}^3/\text{с}$ в $\text{л}/\text{с}$:

$$M = Q/F = 200 \text{ л}/\text{с} : 35 \text{ км}^2 = 5,7 \text{ л}/\text{с} \cdot \text{км}^2.$$

Шар стоку (A , мм) розрахувати за допомогою формули (4.4), для цього обсяг стоку ($W = 6,3 \cdot 10^6 \text{ м}^3$) і площа водозбору ($Q = 35 \text{ км}^2$) перевести, відповідно, в мм^3 і мм^2 :

$$A = W/F = 6,3 \cdot 10^6 \cdot 10^9 \text{ мм}^3 : 35 \cdot 10^{12} \text{ мм}^2 = 180 \text{ мм}.$$

Коефіцієнт стоку (α (η)) обчислити за формулою (4.5):

$$\alpha (\eta) = A/X = 180 \text{ мм} : 250 \text{ мм} = 0,72.$$

Таким чином, всі величини знайдені. Аналогічно з застосуванням формул вирішуються всі тестові завдання.

Таблиця 4.2 - Основні типи річок за джерелами живлення (за М. І. Львовича)

Характеристика типу живлення	Кількісний показник переважного виду живлення	Райони переважного поширення
------------------------------	---	------------------------------

Майже повністю снігове	Снігове >80%	Північний Казахстан, Заволжя
Переважно снігове	Снігове >50%	Європейська частина Росії, Західний Сибір, північний схід азійської частини Росії
Майже повністю дощове	Дощове > 80%	Чорноморське побережжя Кавказу (південна частина)
Переважно дощове	Дощове >50%	Далекий Схід, деякі райони Закавказзя, басейни річок Олені та Індигірки
Переважно льодове	Льодове >50%	Високігірні райони Кавказу і Середньої Азії
Змішане з переважанням снігового	Снігове > 50%	Прибалтика, передгірні райони Північного Кавказу, Алтаю, басейн р. Олені
Змішане з переважанням дощового	Дощове > 50%	Закавказзі, Чорноморське узбережжя Кавказу (північна частина)
Змішане з переважанням льодового	Льодове > 25%	Гірські райони Алтаю
Змішане з переважанням підземного	Підземне > 25%	Передгірні райони Середньої Азії, велика частина річок Вірменії

Таблиця 4.3 - Тестові задачі для розрахунку характеристик річного стоку

Варіант	Y, м³/с	Q, м³/с	F, км²	X, мм	W, м³	M, л/с·км²	A, мм	α (η)	d, мм
1	0,20	0,46	50	400	?	?	?	?	2,1
2	0,15	0,32	?	?	?	10,5	190	?	2,2
3	0,35	?	40	500	13·10 ⁶	?	?	?	2,2
4	0,24	?	50	600	?	?	300	?	2,1
5	0,42	?	40	1600	?	?	?	0,31	2,4
6	0,36	?	70	500	?	10,4	?	?	2,2
7	0,29	?	90	600	26·10 ⁶	?	?	?	2,3
8	0,32	0,40	70	500	?	?	?	?	2,1
9	0,23	?	5	200	?	?	180	?	2,1
10	?	0,38	50	450	?	10,6	?	?	2,5
приклад	?	0,20	35	250	?	?	?	?	2,2

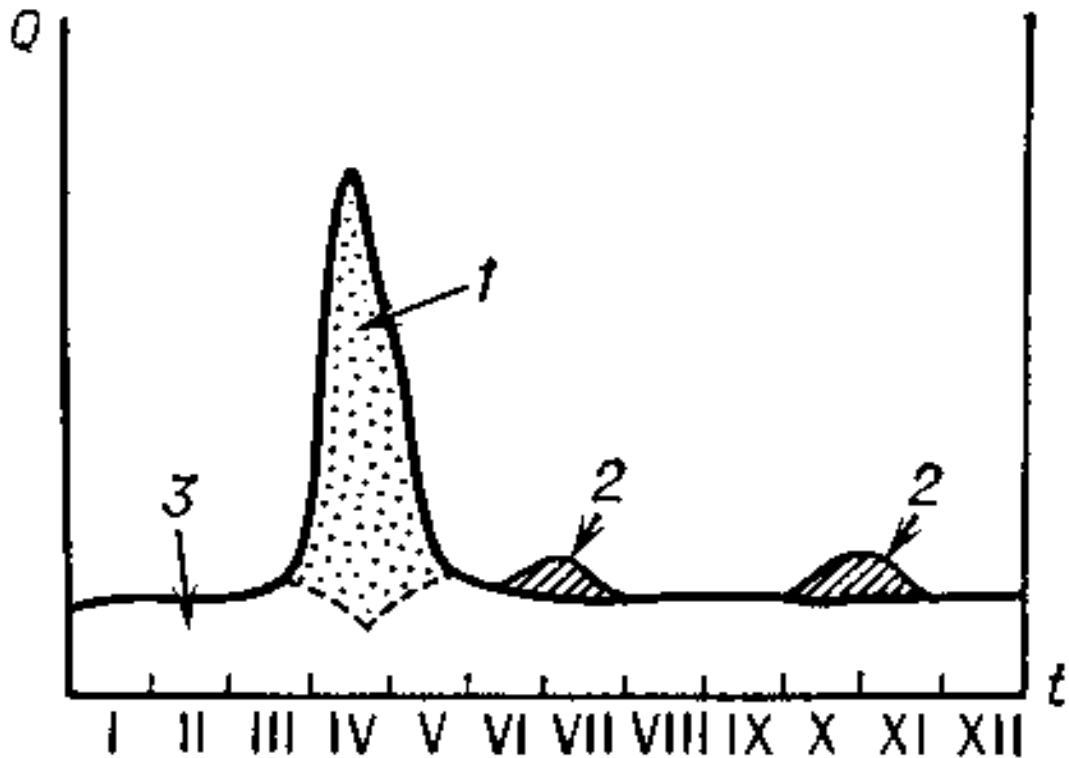


Рис. 4.1 - Гідрограф рівнинних річок (на прикладі р. Сіверський Донець - м. Біла Калитва): 1-снігове, 2-дожове, 3-підземне живлення.

5. РОЗРАХУНОК СКЛАДОВИХ ВОДНОГО БАЛАНСУ ЗА БАГАТОРІЧНИЙ ПЕРІОД

Складання водного балансу виконується гідрометеорологічними обсерваторіями на водосховищах або озерними станціями за матеріалами спостережень усіх гідрологічних та метеорологічних постів на даній водоймі та матеріалами ГЕС, виконуючих облік стоку на спорудах гідровузлів.

Основна мета методичних вказівок: ознайомитись з методами розрахунку водного балансу, виробити навички його складання, вміти оцінювати нев'язку балансу та аналізувати її.

У загальному випадку рівняння водного балансу має вид

$$\sum P - \sum B = \sum A \pm H \quad (5.1)$$

де $\sum P$ - сума припливу;

$\sum B$ - сума витрат;

$\sum A$ - сума акумуляційних компонентів;

H - нев'язка балансу.

Припливна частина водного балансу у загальному випадку містить такі складові:

$$\sum P = P_o + P_{\delta} + P_n + P_{on} + P_{з.с.} + P_l \quad (5.2)$$

де P_o - приплив у водосховище по основних річках;
 P_{δ} - боковий приплив та схиловий стік у водосховище;
 P_n - приплив підземних вод, які надходять крізь ложе водосховища;
 P_{on} - опади на дзеркало водосховища у рідкому та твердому стані;
 $P_{з.с.}$ - приплив води у водосховище крізь гідротехнічні споруди;
 P_l - об'єм води у льоду та покриваючому його снігу, який осів на берегах під час зимового зниження рівня і сплив при весняному підвищенні рівня.

Витратні складові у загальному вигляді рівняння водного балансу

$$\sum B = B_{ГВ} + B_з + B_{ВИП} + B_{\Phi} + B_{ЛС} \quad (5.3)$$

де $B_{ГВ}$ - стік води крізь споруди замикаючого гідровузла;
 $B_з$ - забір води на зрошення, водопостачання та ін.;
 $B_{ВИП}$ - витрати води на випаровування з поверхні водосховища;
 B_{Φ} - фільтрація крізь ложе та береги з відводом води за межі водозбору водосховища;
 $B_{ЛС}$ - об'єм води у льоду та покриваючому його снігу, який осів на берегах при зимовому спорожненні водосховища.

Акумуляційні компоненти водного балансу

$$\sum A = A_{Ч} + A_P + A_{П}, \quad (5.4)$$

де $A_{Ч}$ - акумуляція води в чаші водосховища;
 A_P - акумуляція води у руслах та заплавах річок, які впадають нижче гідрометричних створів;
 $A_{П}$ - підземна акумуляція у ґрунтах прибережної зони.

Якщо значення окремих компонентів водного балансу незначні або коливаються в невеликих межах, це дозволяє їх або не враховувати або обчислити приблизно разом з іншими компонентами. При цьому підземний приплив розглядається разом з поверхневим припливом, а фільтрація - з поверхневим стоком. Складові P_l та $B_{ЛС}$ підлягають обліку тільки при значному падінні рівня води взимку у водосховищі. Компоненти A_P і $A_{П}$, як правило, незначні і в розрахунках не беруть участі. Деякі елементи балансу

можуть взагалі бути відсутніми, як наприклад $B_{ГВ}$ в безстічних водоймах або $\Pi_{г.с.}$ - коли нема припливу у водосховище крізь гідротехнічні споруди.

Залежно від задач баланс може бути складений за різні інтервали часу (декада, місяць, сезон, рік, багаторічний період). Як правило, його елементи виражаються в об'ємних одиницях, м^3 , км^3 або міліметрах шару.

Таким чином, за якийсь період основні складові балансу рівняння (5.1) можна записати так

$$V_{\Pi} + V_o + V_E - V_{Г.С.} - V_3 = \pm V_A \pm H \quad (5.5)$$

де V_{Π} – об'єм припливу по основних річках та боковий приплив, $V_o, V_E, V_{Г.С.}, V_3, V_A$ – відповідно об'єми опадів на водну поверхню, випаровування з водойми, стік крізь споруди ГЕС, забір води на зрошування, акумуляція в чаші озера (водосховища). Розрахунок вказаних величин виконується за формулами

$$V_{\Pi} = Q_{\Pi} t; \quad V_o = \frac{x \cdot f}{10^3}; \quad V_E = \frac{E \cdot f}{10^3}, \quad (5.6)$$

де Q_{Π} - середні витрати за час t , $\text{м}^3/\text{с}$
 x, E - відповідно середні по акваторії величини опадів та випаровування, мм;

f - середня площа дзеркала озера (водосховища) за визначений період, м^2 .

Аналогічно за виразом (5.6) розраховуються $V_{Г.С.}$ та V_3 .

5.1. Визначення припливних компонентів водного балансу

5.1.1. Поверхневий приплив

Поверхневий приплив до периметра водосховища складається з припливу по основних річках та бокового

$$V_{\Pi} = V_{\Pi.О} + V_{\Pi.Б} \quad (5.7)$$

Приплив по основних річках - $V_{\Pi.О}$, які впадають у водосховище, визначається за даними про стік річок на вхідних гідростворах як сума об'ємів стоку окремих водотоків. Боковий приплив - $V_{\Pi.Б}$ формується в тій частині басейну водосховища, яка обмежена зверху вхідним створом, а знизу - створом греблі і містить таке: а) стік у гідрометричних створах на річках що впадають до водойми; б) стік з невивчених малих річок та просторів, які не мають гідрографічної мережі.

Водність припливів, на яких ведуться гідрометричні вимірювання, визначається за даними обліку на гідростворах за (5.6). Для невивчених ділянок водозбору приплив Q_{Π} визначається за питомими величинами стоку, що встановлюються за аналогією з водозборами, на яких є спостереження над стоком, шляхом розрахунку середньозваженого модуля

$$Q_{\Pi} = \frac{M_1 f_1 + M_2 f_2 + \dots + M_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n} F_H, \quad (5.8)$$

де $M_1, M_2 \dots M_n$ - модулі стоку у пунктах, де здійснюються спостереження, м³/с·км²;

$f_1, f_2 \dots f_n$ - площі водозборів у цих пунктах, км²;

F_H - частина водозбору водосховища, неохоплена гідрометричними спостереженнями.

Таким чином, боковий приплив визначається як сума об'ємів стоку по вивчених притоках і з невивченої частини території. Облік бокового припливу дуже складний через неоднорідність території, яка дає стік, нерівномірне розподілення опадів до площі тощо. Тому, розраховуючи боковий приплив, необхідно розділити басейн на частини з однаковими фізико-географічними умовами.

5.1.2. Опади

Опади V_o на водну поверхню водойми визначають за спостереженнями на берегових та острівних дощомірних пунктах. До місячних сум опадів повинні бути введені поправки згідно з діючими методичними вказівками.

Шар опадів - X для дзеркала водойми при достатньому і рівномірному розподіленні дощомірних пунктів, а також при незначній амплітуді місячних сум, розраховують як середньоарифметичне. Якщо ці умови не виконуються, слід вживати метод ізогіет або середньозважений.

Об'єм опадів розраховується за (5.6) для середньої площі водосховища за певний інтервал часу, який визначається по кривій площ.

5.2. Визначення витратних складових водного балансу

5.2.1. Стік з водойми

Стік води $V_{ГС}$ крізь замикаючий гідровузол визначають за даними обліку стоку на ГЕС або на гідростворі, розташованому нижче ГЕС, на основі спостережених рівнів та кривої витрат.

5.2.2. Забір води

Забір води на зрошення, водопостачання і інші потреби V_z знаходять за даними організацій, експлуатуючих відповідні водозабірні споруди.

5.2.3. Випаровування з поверхні водосховища

Випаровування з поверхні водосховища V_E за період вільний від льоду для рівнинних або напівгірських районів, розраховують за формулою ДГІ

$$E = 0,14 n (e_0 - e_{200}) (1 + 0,72 u_{200}), \quad (5.9)$$

де n - число днів в розрахунковому інтервалі часу;

e_0 - максимальна пружність водяної пари, розрахована за температурою поверхні води водойми;

e_{200} , u_{200} - відповідно пружність водяної пари, гПа (гектапаскаль), та швидкість повітря, м/с, на висоті 200 см над водною поверхнею. Розрахунок здійснюється за порядком наведеним в.

Передбачається також вживання регіональних методик, які використовуються для розрахунку випаровування на водосховищах даного району, а також методу теплового балансу. Усі метеоеlementи приймаються осередненими для місяця та по акваторії водойми. При їхній відсутності використовують дані берегових метеостанцій, які приводять до умов над водоймою.

Об'єм випареної води визначають з урахуванням середньої за обчислювальний інтервал площі дзеркала водойми як і при розрахунку об'ємів опадів.

5.3. Визначення акумуляційної складової

Акумуляція води в чаші водойми визначається як різниця об'ємів озера або водосховища на початок і кінець обчислювального інтервалу. Об'єм води вираховується за кривою об'ємів залежно від середнього рівня, який повинен бути вільним від викривленого впливу перемінних ухилів і відображати горизонтальність водної поверхні. Середній рівень на озерах та водосховищах, для яких характерні неоднорідність вітрового поля або сейшеві коливання, розраховується як середньозважений. Вагу постів визначають графічним способом, при цьому для річкових водосховищ рекомендується метод трикутників. Для цього пости з'єднують на карті прямими лініями, встановлюють перпендикуляри до середини кожної сторони, перетинання котрих визначає межу площ, які відносяться до даного поста. Середній рівень розраховується за формулою зваженого

$$H_{CP} = \frac{H_1 f_1 + H_2 f_2 + \dots + H_n f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (5.10)$$

де $H_1, H_2 \dots H_n$ - рівень по водомірному посту;

$f_1, f_2 \dots f_n$ - площа водойми, що відноситься до показників даного поста.

У разі округлої форми водойми та рівномірного розташування постів по периметру, середній рівень припустимо визначати як середньоарифметичне. При значному ухилі водної поверхні об'єми визначаються по окремих ділянках з використанням кривих об'ємів для цих ділянок.

За середнім рівнем з кривої об'ємів знімають V_{Π} та V_K .

Розрахунок акумуляції в чаші водосховища здійснюється за формулою

$$V_A = V_K - V_{\Pi} \quad (5.11)$$

Акумуляція може бути зі знаком плюс або мінус залежно від того, здійснюється накопичення води в чаші водосховища чи її витрачання.

5.4. Визначення нев'язки водного балансу

При розрахунках водного балансу використовують дані вимірювання або розрахунку окремих компонентів. При цьому у величину кожного компонента вноситься деяка помилка, а величина таких компонентів, як підземний приплив, акумуляція у ґрунтах, фільтрація, лишаються невідомими.

Накопичення помилок у вимірюваннях і розрахунках у сумі з невідомими компонентами дає нев'язку водного балансу H , яку знаходять за рівнянням

$$H = \sum \Pi - \sum B \pm \sum A \quad (5.12)$$

Операцію по вимірюванню балансу здійснюють з абсолютними значеннями величин, без урахування знака складових балансу. Нев'язку (тільки з додатним знаком) додають до тієї частини рівняння (5.1), яка виявилась меншою на величину нев'язки. Після вирівнювання балансу розраховують відносну нев'язку у відсотках за відношенням до припливної (або витратної) частини вирівняного балансу

$$\varepsilon = \frac{\pm H}{\sum \Pi} \cdot 100 \% \quad \text{або} \quad \varepsilon = \frac{\pm H}{\sum B} \cdot 100 \% \quad (5.13)$$

Для того, щоб оцінити, в якій мірі здобута нев'язка балансу відповідає припустимій помилці розрахунку, необхідно урахувати випадкові помилки усіх компонентів та визначити сумарну помилку розрахунку

$$\delta = \pm \sqrt{\delta_1^2 + \delta_2^2 + \delta_3^2 + \dots + \delta_n^2} \quad (5.14)$$

Відповідно до сучасних досліджень випадкові помилки δ_i гідрометричного обліку стоку для рівнинних річок дорівнюють у середньому $\pm 5\%$, для гірських — $\pm 15-20\%$. Облік стоку на великих гідровузлах здійснюється з точністю 2-5%, на малих та середніх ГЕС — 5-8%. Випадкова помилка визначення середнього рівня водойми приймається рівною $\Delta h = \pm 1$ см чи $\Delta h = \pm 0,01$ м. Абсолютна помилка акумуляції

$$\Delta = 2 \Delta h f, \text{ а відносна } \delta_A = \frac{\Delta}{\sum \Pi} \cdot 100\%. \quad (5.15)$$

Якщо приймати вказані значення δ_i у (6.14), можна отримати імовірну сумарну помилку δ . Коли відносна нев'язка у відсотках $\varepsilon \leq \delta$, вважається, що розрахунок балансу виконано з точністю, яка гарантує сучасну вивченість основних компонентів балансу. При $\varepsilon > \delta$ на результат впливають не тільки випадкові, але і систематичні помилки. У цьому випадку детально аналізуються вихідні дані, розрахунки і в першу чергу розглядаються складові з найбільш питомою вагою. Потім усі дані заносяться в підсумкову таблицю і складається пояснювальна записка. До того ж додається аналіз точності розрахунку.

Порядок виконання роботи

Вихідні данні:

1. Основний та боковий приплив у водосховище.

2. Площа поверхні водойми.
3. Середня по акваторії величина опадів.
4. Стік води крізь споруду замикаючого гідровузла.
5. Забір води на зрошення та водопостачання.
6. Середня температура поверхні водойми і повітря (за період вільний від льоду) і швидкість повітря на висоті 200 см.
7. Зміна рівня води у чаші водосховища.

Таблиця залежності пружності водяної пари над поверхнею водойми від температури води

t, °C	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
e ₀ , гПа	7	7,6	8,1	8,7	9,4	10	10,7	11,5	12,3	13,1	14	15	16

Таблиця (умовна) залежності пружності водяної пари від температури повітря

t	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
e ₂₀₀	7,3	7,5	7,8	8,1	8,5	8,9	9,5	10,5	11,2	12,1	13	15

Потрібно:

- а) згідно з розділом 5.2 розрахувати припливну частину водного балансу;
- б) згідно з розділом 5.3 розрахувати витратні складові водного балансу;
- г) згідно з розділом 6.5 визначити абсолютну (5.12) і відносну (5.13) нев'язку водного балансу;
- д) обчислити сумарну помилку розрахунку за (5.14);
- е) порівнюючи відносну нев'язку (ε) і сумарну помилку (δ) зробити висновки.

6. РОЗРАХУНОК СТАТИСТИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ РІЧНОГО СТОКУ ПРИ НАЯВНОСТІ ТРИВАЛИХ РЯДІВ СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Однією з основних характеристик водних ресурсів річок є норма стоку.

Нормою стоку називається його середня величина за багаторічний період з незмінними ландшафтно-географічними умовами, які відносяться до сучасної геологічної епохи та з однаковим рівнем господарського освоєння басейну річки. Багаторічний ряд спостережень, за яким визначається норма стоку, повинен включати не менше двох повних циклів коливань водності. Цикли водності складаються з двох фаз - багатоводної та маловодної.

Норма річного стоку при тривалому періоді спостережень (N років) визначається як середньоарифметичне значення річних величин стоку

$$\bar{Q}_N = \frac{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_{n-1} + Q_n}{N} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}, \quad (6.1)$$

де $Q_1, Q_2, \dots, Q_n$ - середньорічні величини стоку;
 N - кількість років спостережень.

6.1 Вибір розрахункового періоду для визначення норми річного стоку. Методи згладжування хронологічних рядів

Циклічність коливань річного стоку тієї чи іншої річки можна досліджувати за хронологічними графіками (рис 6.1).

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

Наявність достатньо суттєвих випадкових коливань річного стоку заважає виявленню закономірностей їх часового ходу, які виражені у формі довготривалих циклів зміни річного стоку.

Для виявлення таких циклів застосовуються засоби згладжування або фільтрації.

6.1.1 Згладжування хронологічних рядів методом ковзного осереднення

Ковзне згладжування коливань річного стоку визначають за формулою:

$$\tilde{Q}_i = \frac{1}{T} \sum_{k=\frac{T-1}{2}}^{\frac{T-1}{2}} Q_{i+k}, \quad (6.9)$$

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

При лінійному згладжуванні хронологічних графіків за трьохрічками:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_1 &= \frac{1}{6}(5Q_1 + 2Q_2 - Q_3), \\ \tilde{Q}_2 &= \frac{1}{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3), \\ \tilde{Q}_3 &= \frac{1}{3}(Q_2 + Q_3 + Q_4), \\ &\dots \\ \tilde{Q}_{n-1} &= \frac{1}{3}(Q_{n-2} + Q_{n-1} + Q_n), \\ \tilde{Q}_n &= \frac{1}{6}(5Q_n + 2Q_{n-1} - Q_{n-2}). \end{aligned} \quad (6.10)$$

Лінійне згладжування хронологічних графіків за п'ятирічками:

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_1 &= \frac{1}{5}(3Q_1 + 2Q_2 + Q_3 - Q_5), \\ \tilde{Q}_2 &= \frac{1}{10}(4Q_1 + 3Q_2 + 2Q_3 + Q_4), \end{aligned}$$

$$\tilde{Q}_3 = \frac{1}{5}(Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5) \quad (6.11)$$

...

$$\tilde{Q}_{n-1} = \frac{1}{5}(Q_{n-4} + Q_{n-3} + Q_{n-2} + Q_{n-1} + Q_n)$$

$$\tilde{Q}_n = \frac{1}{10}(4Q_n + 3Q_{n-1} + 2Q_{n-2} - Q_{n-3})$$

Якщо після першого етапу суттєвого згладжування не відбулося, то можна виконати повторне згладжування тим же багаточленом (рис.6.1).

Недоліком методу лінійного фільтру є те, що згладжений член ряду має той же ваговий коефіцієнт, що й сусідні елементи. В результаті може статися зміщення меж переходу з однієї фази водності до іншої, особливо при великих T . Зараз є велика кількість інших методів математичних фільтрів, за допомогою яких виявляють періодичні складові в коливальних рядах. Серед них є не тільки лінійні, але й нелінійні фільтри. Досить часто в практиці розрахунків використовуються різницеві інтегральні криві.

6.2 Метод різницевих інтегральних кривих

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.

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

$$\sum_{i=1}^t (K_i - 1) = f(t) \quad (6.12)$$

де K_i - модульний коефіцієнт.

При побудуванні різницевої інтегральної кривої (рис. 6.2) розраховують наростаючу суму відхилень з урахуванням знаку.

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

$$\operatorname{tg} \alpha = (K_i - 1)_{\text{cp}} = \frac{l_k - l_n}{m} \quad (6.13)$$

де l_k, l_n - відповідно кінцева та початкова ординати інтегральної кривої для періоду часу, який розглядається;

m - число років у періоді часу (рис 6.2).

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

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

Приклад розрахунку

Вихідні дані:

середньорічні модулі стоку за період з 1914 по 1985 рр для р.Південний Буг – с. Олександрівка (табл.6.1). Площа водозбору $F=46200 \text{ км}^2$.

Таблиця 6.1 – Середньорічні модулі стоку і ковзне осереднення хронологічного ряду середньобагаторічних модулів стоку за трьохрічками р.Південний Буг – с. Олександрівка, $F=46200 \text{ км}^2$

№ п/п	Рік	Модуль стоку Q_i , л/с км^2	Згладжуванні модулі стоку Q_3 , л/с км^2
1	1914	1,29	1,37
2	1915	1,68	1,51
3	1916	1,57	1,65
4	1918	1,2	1,38
5	1919	1,84	1,48
6	1920	1,41	1,22
7	1921	0,41	1,5
8	1922	2,68	1,8
Продовження табл. 6.1			
9	1923	2,32	2,45
10	1924	2,36	1,94
...	...	...	...

1. Для наведеного ряду розраховується середньобагаторічне значення та коефіцієнт варіації за формулами (6.1) та (6.4).

$$\bar{Q}_N = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N} = \frac{134}{68} = 1,97 \text{ л/с } \text{км}^2;$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{9,69}{67}} = 0,38$$

За формулою (6.3) оцінюється похибка середньобагаторічного значення $\tilde{Q}$:

$$\sigma_n = \pm \frac{100 C_v}{\sqrt{n}} \% = \frac{0,38}{\sqrt{68}} 100\% = 4,6\%$$

Стандартна похибка коефіцієнта варіації обчислюється за формулою (6.5):

$$\sigma_{C_v} = \sqrt{\frac{1 + C_v^2}{2n}} 100\% = \sqrt{\frac{1 + 0,14}{2 * 68}} 100\% = 9,2\%$$

Таким чином, похибки при розрахунках $\bar{Q}$ та C_v укладаються в рамки припустимих, а середньобогаторічне значення $\bar{Q}$ може вважатися нормою стоку- $\bar{Q}_N$.

За даними таблиці 6.1 будується хронологічний графік коливань річного стоку (рис. 6.1), на нього наноситься норма стоку $\bar{Q}_N$.

2. За формулою (6.10) на підставі табл.6.1 виконане ковзне осереднення, результати якого занесені в табл.6.2. Якщо ряд перерваний, то осереднення перед розривом виконується як для кінцевих членів ряду, а після розриву - як для перших членів ряду.

3. Значення згладженого ряду наносяться на хронологічний графік коливань річного стоку (рис.6.1). Аналіз рисунку показує, що на хронологічному графіку коливань річного стоку після згладжування по трьохрічкам можна виділити декілька багатоводних та маловодних угруповань: з 1914 р. до 1922 р., з 1925 до 1930 р, з 1934 по 1939 р, з 1949 до 1973 р, з 1973 до 1976 р спостерігались маловодні угруповання, а з 1923 р до 1924, з 1931 по 1933 р, з 1946 по 1948 р, з 1966 до 1972 р і з 1977 до 1983 р.-багатоводні.

4. Для розрахунку ординат різницевої інтегральної кривої середньорічні модулі було внесено із табл.6.1 до табл.6.2 у хронологічному порядку. Для

кожного члена ряду розраховано значення модульних коефіцієнтів $K_i = \frac{Q_i}{Q_n}$.

Для контролю виконаної роботи знаходиться $\sum_{i=1}^n K_i$, яка повинна приблизно

дорівнювати кількості членів ряду N. У наведеному прикладі $\sum_{i=1}^{68} 67,9$, а N=68. Наступний етап полягає у розрахунку відхилення модульних коефіцієнтів K_i

від середнього значення, тобто одиниці. Сума цих відхилень $\sum_{i=1}^l (K - 1)$ повинна дорівнювати або бути близькою до нуля. Як видно із табл. 6.2

$\sum_{i=1}^l (K - 1)$ дорівнює 0,11. Це розходження пов'язане із точністю розрахунків і його можна вважати припустимим, виходячи із умови, що ця похибка не

повинна бути більшою за $(\frac{N}{4} 0,01)$. Далі, маючи значення $\sum_{i=1}^l (K - 1)$, будується різницева інтегральна крива (рис.6.2). По характерних ділянках на ній можна виділити такі цикли водності: з 1921 до 1939 р. ($K_{cp} = 0,93$), з 1946 по 1955 р ($K_{cp} = 0,90$), з 1924 до 1933 р. ($K_{cp} = 1,00$), з 1949 до 1971 ($K_{cp} = 0,94$) та з 1951 по 1971р ($K_{cp} = 1,00$). За розрахунковий можна прийняти період, у якому величина K_{cp} знаходиться у межах від 0,95 до 1,05. Якщо $K_{cp} < 1.0$, то у розрахунковому періоді переважає маловодна фаза, при $K_{cp} > 1.0$ - багатоводна.

Таким чином, за розрахунковий для визначення норми стоку на р.Південний Буг - с. Олександрівка можна прийняти періоди з 1921 до 1933, з 1931 до 1939 р. та з 1956 до 1971 р., а також увесь період з 1918 до 1985 р.

Таблиця 6.2 – Розрахунок ординат різницевої інтегральної кривої для басейну р.Південний Буг – с. Олександрівка, $F=46200 \text{ км}^2$

№ п/п	Роки	Модуль стоку Q_i , л/с км^2	Модульні коефіцієнти, K_i	$K_{\text{ср}}$	$\Sigma(K_i-1)$
1	1914	1,29	0,65	-0,35	-0,35
2	1915	1,68	0,85	-0,15	-0,5
3	1916	1,57	0,8	-0,2	-0,7
4	1918	1,2	0,61	-0,39	-1,09
5	1919	1,84	0,93	-0,07	-1,16
6	1920	1,41	0,72	-0,28	-1,44
7	1921	0,41	0,21	-0,79	-2,23
8	1922	2,68	1,36	0,36	-1,87
9	1923	2,32	1,18	0,18	-1,69
10	1924	2,36	1,2	0,2	-1,5
...	...	...	...	...	...

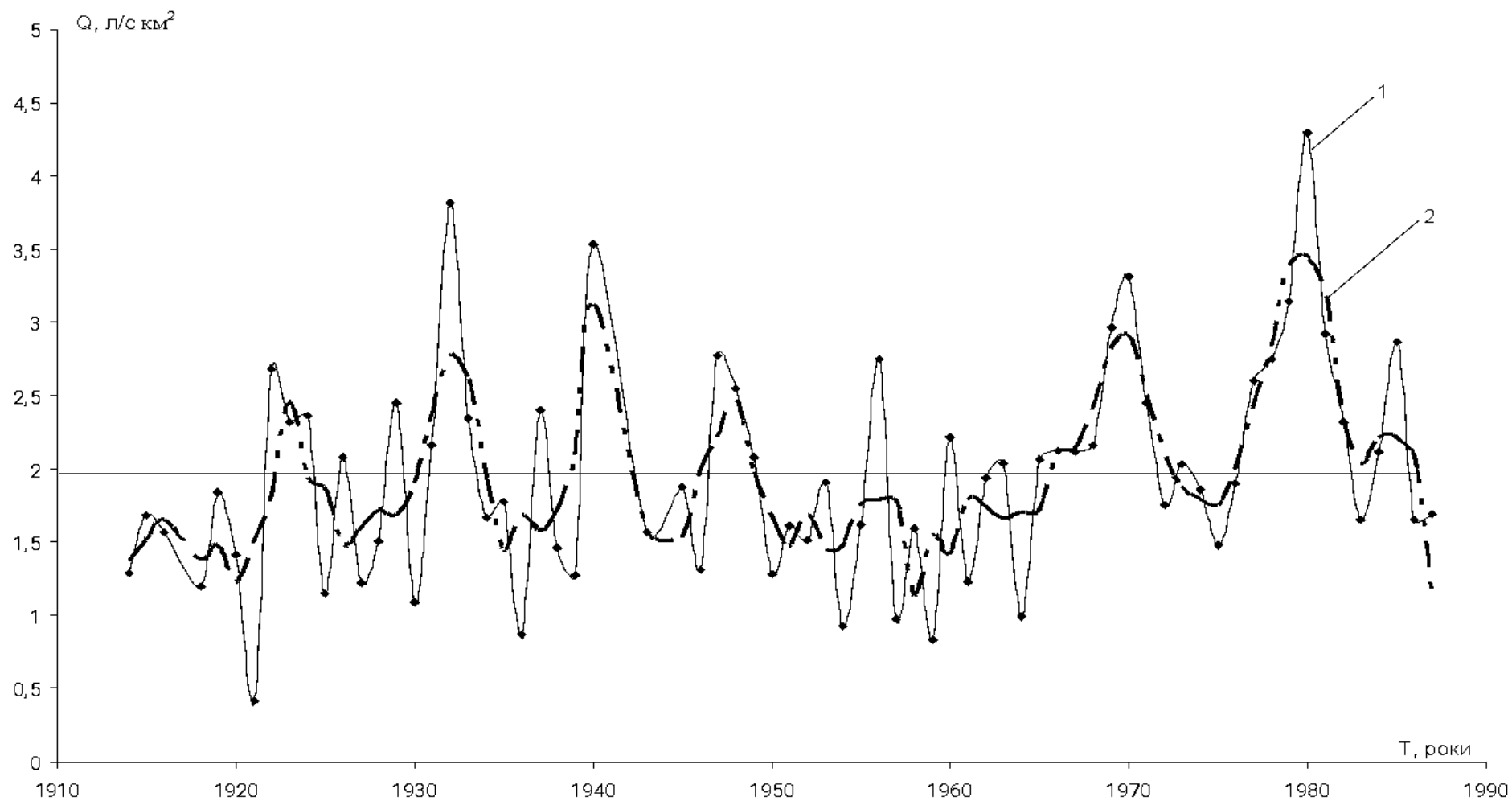


Рис. 6.1 – Хронологічний графік коливань річного стоку (1) та графік бігучих середніх (2) р.Південний Буг – с.Олександрівка

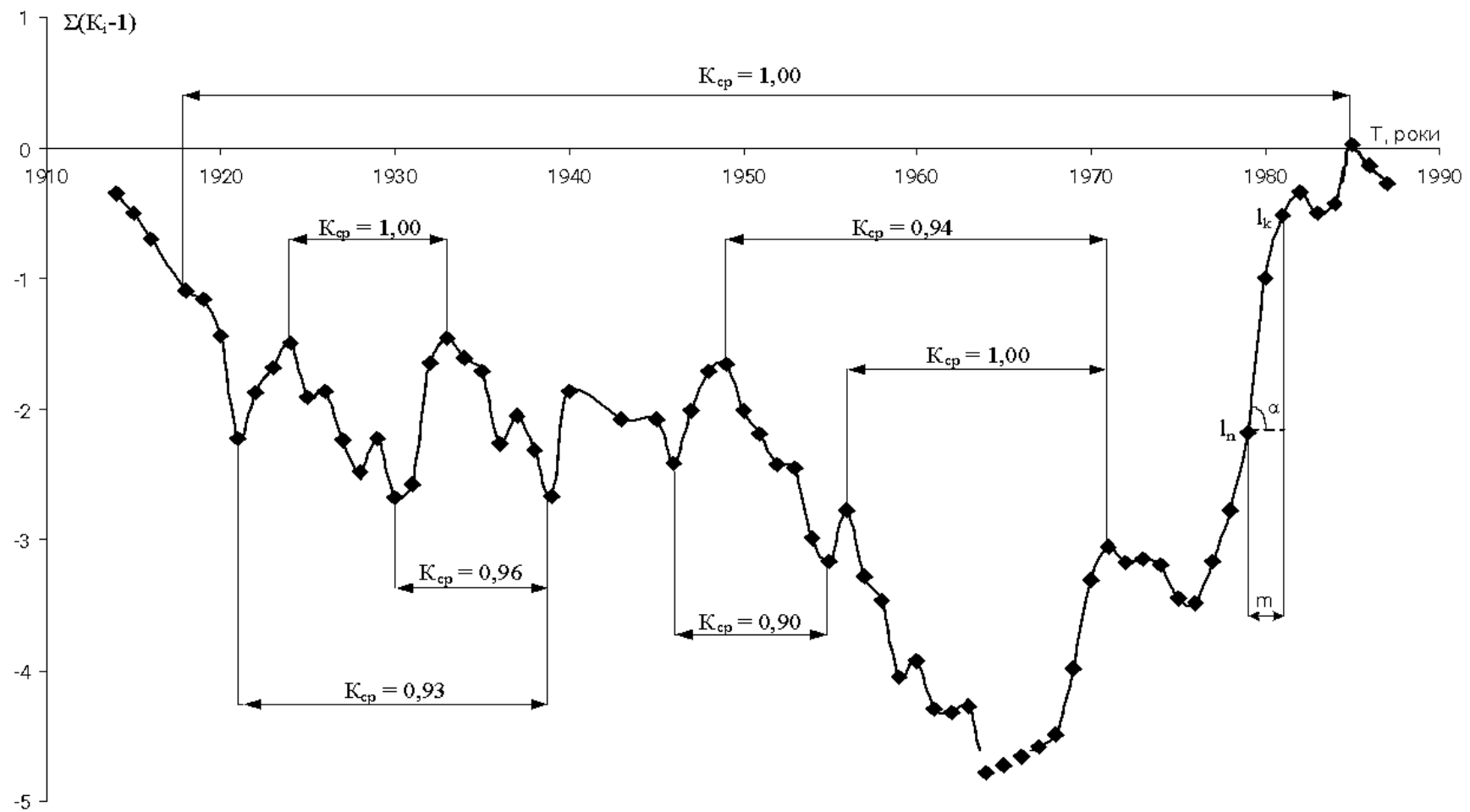


Рис. 6.2 – Графік різницевої інтегральної кривої р.Південний Буг – с.Олександрівка

Список літератури

1. Мельник С.В. Загальна гідрологія. Конспект лекцій. Одес. нац. політех. ун-т. / С.В. Мельник. – Одеса: Наука і техніка, 2009. – 124 с.
2. Загальна гідрологія: Підручник / За ред. В.К. Хільчевського, О.Г.Ободовського.- К.: ВПЦ "Київ. ун-т", 2008. - 399 с.
3. Гопченко Є.Д. Гідрологія (суші). Конспект лекцій. Одес. держ. екологічний ун-т. / Є.Д. Гопченко, Л.Є. Крес, М.Е. Романчук. – Одеса: Екологія, 2008. – 194 с.
4. Лобода Н.С. Методи статистичного аналізу у гідрологічних розрахунках і прогнозах. Навчальний посібник. Одес. держ. екологічний ун-т. / Н.С. Лобода. – Одеса: Екологія, 2010. – 184 с.
5. Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни “Загальна гідрологія” С.В. Мельник. – Одеса: ОДПУ, 2000. – 24 с.
6. Методичні вказівки до виконання курсової роботи з дисципліни “Загальна гідрологія” С.В. Мельник. – Одеса: ОНПУ, 2003. – 25 с.
7. Мельник С.В. Загальна гідрологія. Конспект лекцій. – Одеса: ОНПУ, 2003. – 94 с.