

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

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК  
“ДОВГОСТРОКОВИЙ ПРОГНОЗ ЕЛЕМЕНТІВ ВЕСНЯНОГО  
ВОДОПІЛЛЯ НА РІВНИННИХ РІЧКАХ”  
до практичних занять з дисципліни гідрологічні прогнози  
для студентів IV курсу гідрологічного факультету  
Напрямок підготовки гідрометеорологія  
Спеціальність “Гідрологія та гідрохімія”**

**Одеса – 2003**

Збірник методичних вказівок “Довгостроковий прогноз елементів весняного водопілля на рівнинних річках” до практичних занять з дисципліни “Гідрологічні прогнози” для студентів IV курсу гідрологічного факультету очної форми навчання за спеціальністю “Гідрологія та гідрохімія” /Укладачі: Лобода Н.С., Шакірманова Ж.Р. – Одеса, ОДЕКУ, 2003, 39 с., укр.мова.

## ЗМІСТ

	Стор.
Практичне завдання 1.....	4
1 Довгострокові прогнози шарів стоку за період весняного водопілля на рівнинних річках.....	4
1.1 Теоретичне обґрунтування методу прогнозу об'єму (шару стоку) весняного водопілля .....	5
1.2 Визначення факторів весняного водопілля.....	7
1.2.1. Запаси води в сніговому покриві і льодовій кірці.....	7
1.2.2. Оподи періоду весняного водопілля.....	9
1.2.3. Зволоження і глибина промерзання ґрунту.....	10
1.3. Практичні прийоми розробки методик довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля .....	15
1.3.1 На підставі побудови водно-балансових залежностей.....	15
1.3.2 При визначенні параметру загальних втрат $P_0$ .....	15
1.3.3. При визначенні втрат води на інфільтрацію поталих вод.....	20
1.4 Оцінка методики довгострокового прогнозу.....	20
1.5 Приклад розробки методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля.....	23
Практичне завдання 2.....	34
2 Довгострокові прогнози максимальних витрат води весняного водопілля.....	34
2.1 Теоретичні основи прогнозу максимальних витрат води водопілля	34
2.2 Порядок складання довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля.....	37
Перелік посилань.....	38

## Практичне завдання 1

### 1. Довгострокові прогнози шарів стоку за період весняного водопілля на рівнинних річках

Мета роботи: розробка методики довгострокового прогнозу шару стоку весняного водопілля, оцінка методики.

При виконанні практичного завдання необхідно розглянути такі питання:

- 1) теоретичні основи методу прогнозу шару стоку весняного водопілля;
- 2) основні чинники весняного водопілля;
- 3) практичні прийоми розробки методики довгострокового прогнозу шару стоку весняного водопілля;
- 4) приклади розробки методики прогнозу шару весняного стоку.

#### Загальні положення

Весняне водопілля - одна з найбільш багатоводних фаз гідрологічного режиму більшості рівнинних річок України, обумовлена таненням накопиченого за зиму снігу і весняними опадами. Водопілля звичайно супроводжуються розливами річок, які у багатоводні роки набувають іноді характер стихійного лиха, чим наносять великі збитки господарським об'єктам, населеним пунктам. Формування весняного водопілля на території нашої країни відзначається великою різноманітністю і неоднорідністю, пов'язаними як з метеорологічними умовами (зволоженістю поверхні і температурним режимом), так і з чинниками підстильної поверхні (рельєфом, залісеністю, заболоченістю, типами ґрунтів на водозборах, їхнім сільськогосподарським використанням).

Втрати весняного стоку визначаються ступенем водопроникності ґрунтів, велика частка яких розорана (до 70-75%).

Основними елементами весняного водопілля є: шар стоку за водопілля, максимальна витрата і найвищий рівень води, а також час їх спостереження (строки початку і закінчення водопілля).

Для аналізу умов формування весняного водопілля і розробки методики прогнозу його елементів необхідні багаторічні матеріали гідрологічних і метеорологічних спостережень, дані за вологістю і промерзанням ґрунту, а також цілий комплекс фізико-географічних матеріалів (морфометричні і гідрог-

рафічні характеристики, карти ґрунтів і рослинності, матеріали сільськогосподарського використання), які характеризують особливості річкових водозборів. Прийнятий для розробки методики період повинен включати не менш, ніж 25 років..

### 1.1 Теоретичне обґрунтування методу прогнозу об'єму весняного водопілля

Прогнози шару стоку весняного водопілля на річках ґрунтуються на рівнянні водного балансу [1, стор.177]

$$Y_m - Y_{zp} = Y_T + Y_D = S_m + X_1 + X_2 - E_c - E_n \pm \Delta W_n \pm \Delta W_{zp}, \quad (1.1)$$

де  $Y_m$  – загальний стік водопілля;

$Y_{zp}$  – ґрунтовий (або базисний) стік;

$Y_T$  – стік від талих вод;

$Y_D$  – стік від дощів з ділянок басейну, які вільні від снігу;

$S_m$  – максимальні запаси води в сніговому покриві перед початком весняного сніготанення;

$X_1$  – опади на поверхню снігу за час його танення;

$X_2$  – опади на поверхню без снігу;

$E_c$  і  $E_n$  – випаровування з ґрунту і снігу;

$\Delta W_n$  – зміна запасів вологи в ґрунті;

$\Delta W_{zp}$  – зміна запасів ґрунтових вод.

Вклад складових рівняння водного балансу до загального весняного стоку різний у різних фізико-географічних умовах і в різні роки. Так, у лісостеповій зоні (недостатнього зволоження), де основну частку утрат талих і дощових вод складає інфільтрація, рівняння (1.1) можна переписати у вигляді:

$$Y_T + Y_D = S_m + X_1 + X_2 - E_c - I, \quad (1.2)$$

де  $I$  – інфільтрація талих і дощових вод, яка дорівнює  $E_n \pm \Delta W_n \pm \Delta W_{zp}$ .

Варіація втрат весняного стоку у цьому регіоні визначається ступенем водопроникності промерзлих ґрунтів.

У зв'язку з особливостями формування весняного стоку в зонах з плоским рівнинним рельєфом (степова, полупустельна, південна частина лісостепової географічних зон) необхідно ураховувати втрати води на заповнення безстічних ємностей на поверхні водозборів. Тоді

$$Y_T = S_m + X_1 - E_c - I - U, \quad (1.3)$$

де  $U$  – поверхнєве утримання талої і дощової води.

Основні фактори весняного стоку в цих районах є максимальні запаси води у сніговому покриві, опади періоду танення снігу, інтенсивність сніготанення, інфільтрація води у ґрунт, яка визначається його вологістю і промерзанням. Опади після сходу снігу у цих регіонах суттєво не впливають на загальний стік весняного водопілля.

У лісовій зоні втрати талих вод залежать в основному від дефіциту вологи у ґрунті на початок весняного сніготанення та утримання води у безстічних пониззях і в приповерхневій лісовій підстилці. Вплив промерзання ґрунту проявляється лише при незначних його значеннях, тобто в роки з м'якою зимою. На річках західних районів лісової зони особливості формування водопілля пов'язані з зимовими відлигами, які приводять до додаткового зволоження ґрунтів, перерозподілу снігу у полі і лісі, утворенню льодяної кірки.

У зв'язку з труднощами визначення складових втрат  $\Delta W$ ,  $I$ ,  $U$  у рівняннях водного балансу (1.1) - (1.3) на практиці встановлюються залежності стоку від головних чинників. Визначивши втрати і стік води через запаси води у сніговому покриві та опади, Є.Г.Попов запропонував рівняння:

$$Y_m = X - P_0[1 - \exp(-X/P_0)]; \quad (1.4)$$

$$Y_m = X - P_0 \operatorname{th}(X/P_0); \quad (1.5)$$

$$Y_m = X \exp(-P_0/X), \quad (1.6)$$

де  $X$  – сумарна величина запасів вологи на басейні (максимальні снігозапаси плюс опади, тобто  $X = S_m + X_1 + X_2$ );

$P_0$  – параметр втрат води (максимально можливий шар втрат на інфільтрацію, поверхнєве утримання та випаровування).

Розрахунки весняного стоку можна вести на підставі передобчислення втрат води для двох типів водопоглинання: ємнісного і інфільтраційно-ємнісного.

Під ємнісною моделлю або типом водопоглинання розуміють таку, коли при будь-якій інтенсивності надходження талої води її стік починається тільки після заповнення поверхневих ємностей при повністю водонепроник-

неному ґрунті (басейни річок зони надлишкового зволоження). В цьому випадку інтегральне рівняння стоку має вигляд:

$$Y_m = X - U_3 [1 - \exp(-X / U_3)], \quad (1.7)$$

де  $U_3$  – максимальна вільна ємність басейну як функція показника попереднього зволоження ґрунту ( $W$ ).

Під інфільтраційно-ємнісною моделлю розуміють таку, коли поверхневий сток формується за рахунок перевищування інтенсивності надходження води над інтенсивністю її поглинання ґрунтом. При цьому для заповнення поверхневої ємності потрібен тим більший шар сумарного надходження води, чим більша сумарна інфільтрація. В такому випадку рівняння для розрахунку шарів стоку водопілля записується у вигляді:

$$Y_m = X - I - U_0 \left[ 1 - \exp\left(-\frac{X - I}{U_0}\right) \right], \quad (1.8)$$

де  $U_0$  – поверхнева ємність при повному заповненні водою усіх безстічних заглиблень на поверхні водозбору.

Інфільтраційно-ємнісний тип водопоглинання характерний для зон недостатньої і нестійкої вологості. Втрати води на інфільтрацію визначаються на практиці в залежності від вологості ґрунту ( $W$ ) і глибини його промерзання ( $L$ ).

## **1.2 Визначення факторів весняного водопілля**

### ***1.2.1 Запаси води в сніговому покриві і льодовій кірці***

Запаси води в сніговому покриві є основним джерелом живлення річок у період весняного водопілля. У кожному році вони можуть бути одержані за допомогою стаціонарних снігомірних з'йомок, аерофотоз'йомок, космічних вимірювань (свч-методи, іч-аерокосмічні вимірювання). За даними снігоз'йомок у полі будуються карти ізоліній запасів води у сніговому покриві на визначені дати, наприклад, на дати складання прогнозу та перед початком весняного сніготанення (максимальні снігозапаси).

Для розрахунку середніх снігозапасів на водозборі ( $S$ ) до їх значень, які вимірюються на польових ділянках  $S_n$ , вводяться поправки на збільшення снігу у лісі

$$S = S_n(1 - f_l) + S_n k_l f_l \quad (1.9)$$

або у вигляді

$$S = S_n[1 + f_l(k_l - 1)], \quad (1.10)$$

де  $f_l$  – залісеність водозборів (у частках від загальної її площі);

$k_l$  – співвідношення снігозапасів у лісі і полі, яке за даними вимірювань у ба-сейнах південної частини лісної і лісостепової зон складає величину близько 1.10-1.15.

У районах з зимовими відлигами необхідно ураховувати ще й запаси води у льодяній кірці

$$S_{лк} = 10^3 \rho h f_{лк}, \quad (1.11)$$

де  $h$  – середня товщина льодяної корці, мм;

$\rho$  – щільність льодяної кірки, кг/м<sup>3</sup>;

$f_{лк}$  – площа розповсюдження льодяної кірки (у частках від загальної площі).

Запаси, що залишились після відлиги, які утворюють додаткову вологу ґрунту до початку весняного танення снігу, дорівнюють

$$\Delta S_{зал} = (S + X)_{від} - Y_{zn} - \Delta W_3, \quad (1.12)$$

де  $S_{від}$  і  $X_{від}$  – снігозапаси на початок відлиги і опади за відлигу;

$Y_{zn}$  – шар стоку за зимовий паводок;

$\Delta W_3$  – накопичення запасів ґрунтової вологи за відлигу.

Загальний запас води у сніговому покриві буде визначатися за формулою:

$$S_m = S_n[1 + f_l(k_l - 1)] + S_{лк} + \Delta S_{зал}. \quad (1.13)$$

Ступінь нерівномірності залягання снігового покриву на місцевості може бути охарактеризована за допомогою типових кривих забезпеченості величин снігозапасів, які описуються функцією гама-розподілу



$$P(S) = \alpha^\alpha S^{\alpha-1} e^{-\alpha S} / \Gamma(\alpha), \quad (1.14)$$

де  $\alpha = 1/C_v^2$ ;

$C_v$  – коефіцієнт варіації запасів води у снігу по площі (для степової і лісостепової зон можна прийняти  $C_v=0.45$  і  $C_s=2C_v$ );

$S$  – середній по площі запас води у снігу.

Такі криві були побудовані В.Д.Комаровим для лісової, лісостепової і степової зон та можуть бути використані для знаходження площі одночасного сніготанення і дат сходу снігового покриву у басейнах річок.

Використання даних про кількість і розподілу снігового покриву за допомогою методів аерокосмічних спостережень дають змогу одержати інформацію на великих територіях, у тому числі й на тих, де відсутні стаціонарні спостереження.

Формою представлення радіометричних спостережень є цифрові багатозональні фотоз'йомки, які підлягають комп'ютерній обробці, архівації і порівнянні з ландшафтними, геологічними, екологічними даними, картами ґрунтів, рослинності та іншими тематичними картами.

За наявності обмеженої мережі спостережень і недостатній вихідній інформації можуть бути використані методи об'єктивного аналізу характеристик снігового покриву. Останній полягає в побудові полів значень аналізованого елемента (за даними спостережень репрезентативних станцій) з подальшим визначенням (шляхом інтерполяції) значень цього елемента до вузлів деякої, заздалегідь заданої на площині регулярної сітки, а потім і побудовою карт ізолій.

### ***1.2.2 Оподи періоду весняного водопілля***

Прибуткова частина балансу весняного водопілля включає до себе і річки опади на поверхню снігу, який тає ( $X_1$ ) та на ґрунт, який звільнився від снігу ( $X_2$ ).

Умови стікання дощових вод залежать від стану підстильної поверхні. Так, найбільші коефіцієнти стоку від опадів спостерігаються наприкінці сніготанення, коли ґрунт досить вологий, а безстічні ємності на басейні в основному заповнені водою.

Після сходу снігу на басейні і розмерзання ґрунту коефіцієнти стоку поступово убувають з ростом кількості днів від дати сходу снігу до дати випадіння дощів.

При розробці методів довгострокових прогнозів елементів весняного водопілля вважають, що опади у період від дати накопичення максимальних снігозапасів до дати сходу снігу ( $X_1$ ) і поталі води стікають з приблизно однаковими втратами та звично підсумовуються з максимальними запасами води в снізі і льодяній кірці ( $S+X_1$ ). Коефіцієнти стоку від опадів у період після сходу снігу і до кінця водопілля ( $X_2$ ) не залишаються постійними за рахунок збільшення водопроникності ґрунтів внаслідок їх розмерзання. У балансових розрахунках величина опадів  $X_2$  ураховується з деяким коефіцієнтом  $k$ , який дорівнює

$$k = \bar{\eta}_\partial / \bar{\eta}_T, \quad (1.15)$$

де  $\bar{\eta}_\partial$  і  $\bar{\eta}_T$  - середні багаторічні значення коефіцієнтів дощового і поталого стоку для даного басейну.

За багаторічних спостережень на різних водозборах значення коефіцієнту  $k$  змінюється у межах 0.3-0.5.

### ***1.2.3 Зволоження і глибина промерзання ґрунту***

Особливості поглинання поталої дощової води у період весняного водопілля пов'язані з водопрпускними властивостями ґрунтів, які визначаються їх вологістю і глибиною промерзання.

Найчастіше показником зволоження ґрунтів перед початком весняного сніготанення є величина запасу продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, яка вимірюється наприкінці зими ( $W$ ).

У випадках недостатку або відсутності даних прямих вимірювань вологості ґрунтів її розрахунок можна вести за рівнянням водного балансу для шару ґрунту за деякий попередній час (найчастіше це дата стійкого переходу температури повітря через 0 °С восени або початку сніготанення - весною)

$$W_k = W_n + X - E + \Delta W_3, \quad (1.16)$$

де  $W_k$  і  $W_n$  – запаси вологи у шарі ґрунту 0-100 см на початок і кінець розрахункового періоду;

$X$  і  $E$ - опади і випаровування за  $i$ -й інтервал часу;

$\Delta W_3$  – змінювання запасів вологи в ґрунті у зимовий період за рахунок відлиг:

$$\Delta W_3 = a \sum \theta_+ - z_o S_{vid} + X_{vid} - Y_{zn}, \quad (1.17)$$

де  $a \sum \theta_+$  - шар снігу за відлигу, який розтаяв;

$a$  – коефіцієнт танення (для періоду відлиг він дорівнює 2.5 мм/доб., °С);

$\sum \theta_+$  - сума позитивних додатних середніх добових температур повітря за відлигу;

$z_o S_{vid}$  – шар води, який утримується в товщі снігу перед відлигою ( $S_{vid}$ );

$z_o$  – коефіцієнт водоутримної спроможності снігу (для середньозернистого снігу він приймається 0.13 [2, стор235]);

$X_{vid}$  – сума дощових опадів за відлигу;

$Y_{zn}$  – шар стоку за паводок під час відлиги.

Розрахунок  $W_k$ ,  $X$ ,  $E$  здійснюється за декадами або за місяцями. Початок розрахункового періоду визначається датою, на яку є значення  $W_n$ , а при їх відсутності – приймають дату низьких або незначно змінних від року до року значень  $W$ .

Для розрахунку випаровування з поверхні басейну  $E$  у формулі (1.15) використовують методи С.А.Веріго, В.П.Паршина, В.А. Романенка, А.Р.Константинова, В.Г. Андріянова, А.М.Постникова та інш.

Для степової і лісостепової зон задовільні результати дають методи В.Г.Андріянова і В.А.Романенка.

Стосовно розрахунку випаровування з поверхні водозбору, В.А.Романенко запропонував формулу

$$E = (W_n + X) - (W_n + X) \exp(-0.007 E_0), \quad (1.18)$$

де  $X$  – опади за місяць, мм;

$E_0$  – випаровуємість (мм/місяць), яка визначається за формулою М.І.Іванова

$$E_0 = 0.18(\theta + 25)^2(1 - r), \quad (1.19)$$

$\theta$  - температура повітря, °С;

$r$  – відносна вологість повітря у частках від одиниці.

За індекс зволоження басейну приймають середній осінній або осінньо-зимовий річковий стік, який визначається вологонасиченістю басейну, що в основному залежить від сумарних запасів вологи в зоні аерації, ґрунтових і

болотних водах. За даними О.І.Крестовського задовільні залежності установлені між запасами вологи у метровому шарі ґрунту на кінець листопаду та стоком за осінньо-зимовий період.

Важливим фактором інфільтраційних властивостей ґрунтів є глибина їх промерзання, яка визначає наявність льоду у порах ґрунту при даному їх зволоженні. Глибина промерзання ґрунту оцінюється за вимірюванням її у польових умовах або розраховується за даними негативних температур повітря і висоти снігу.

Для прогнозів втрат весняного стоку необхідно знати розподіл глибини промерзання ґрунту по площі водозбору.

У відповідності до середньої глибини промерзання ґрунту у річковому басейні В.Д.Комаровим для річок степової зони побудовані типові криві забезпеченості глибин промерзання по площі (рис.1.1). При розрахунках втрат талих вод на інфільтрацію часто потрібна оцінка її на ділянках, де ґрунт незначно промерзлий ( $L \leq 20$  см) і на ділянках, де  $L > 20$  см. При цьому розмір площі, де ґрунт слабо промерзлий і виникають додаткові втрати води на поглинання та запаси води у снігу на цій площі визначаються за залежністю, наведеній на рис.1.2. Згідно рис.1.2, ділянки, де ґрунт слабо промерзлий, виявляються при середній глибині промерзання 60 см і менше.

Для розробки методики прогнозу весняного стоку використовують дані за максимальною глибиною промерзання ґрунту наприкінці зими.

Визначення середньої глибини промерзання та індексів зволоження ґрунту на водозборі, у тому числі й для басейнів, де даних спостережень стаціонарної мережі недостатньо, можливе на основі щорічно складаних карт ізолій цих характеристик у даному регіоні. Відомий досвід складання карт вологості ґрунтів територій з різноманітним складом ґрунтів на основі використання і співставлення орбітальних сканерних відображень, радіометричних трасових літакових вимірювань, контактних наземних вимірювань вологості, а також даних лабораторних досліджень діелектричних властивостей ґрунтів в залежності від їх вологості.

$L, \text{ см}$

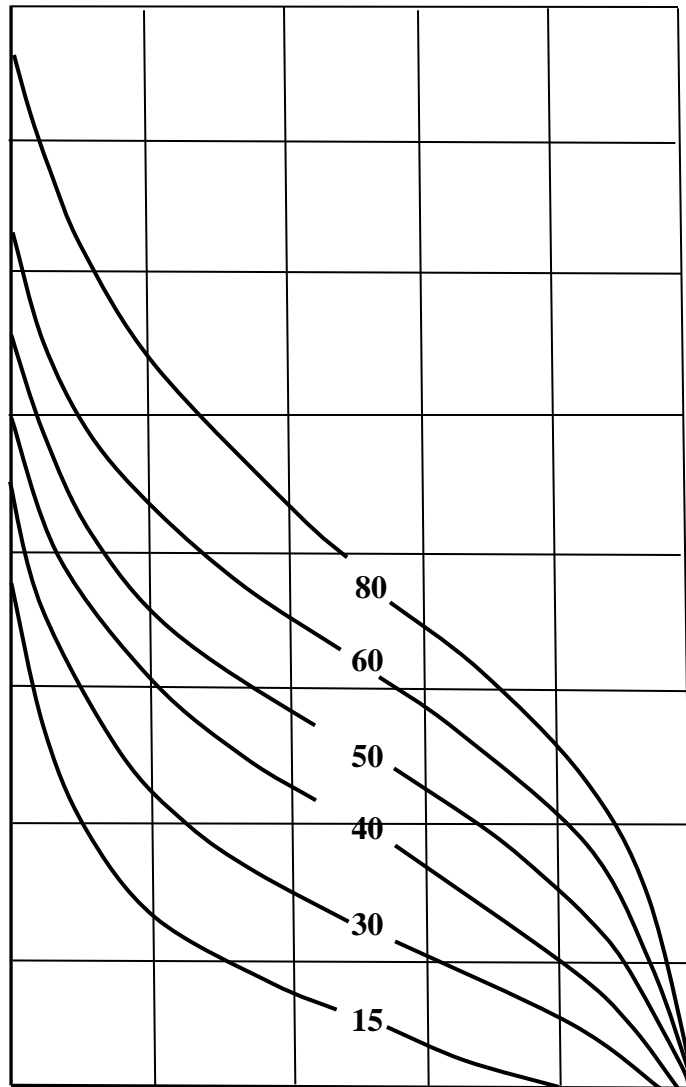


Рисунок 1.1 – Криві забезпеченості глибини промерзання ґрунту від середнього її значення по площі

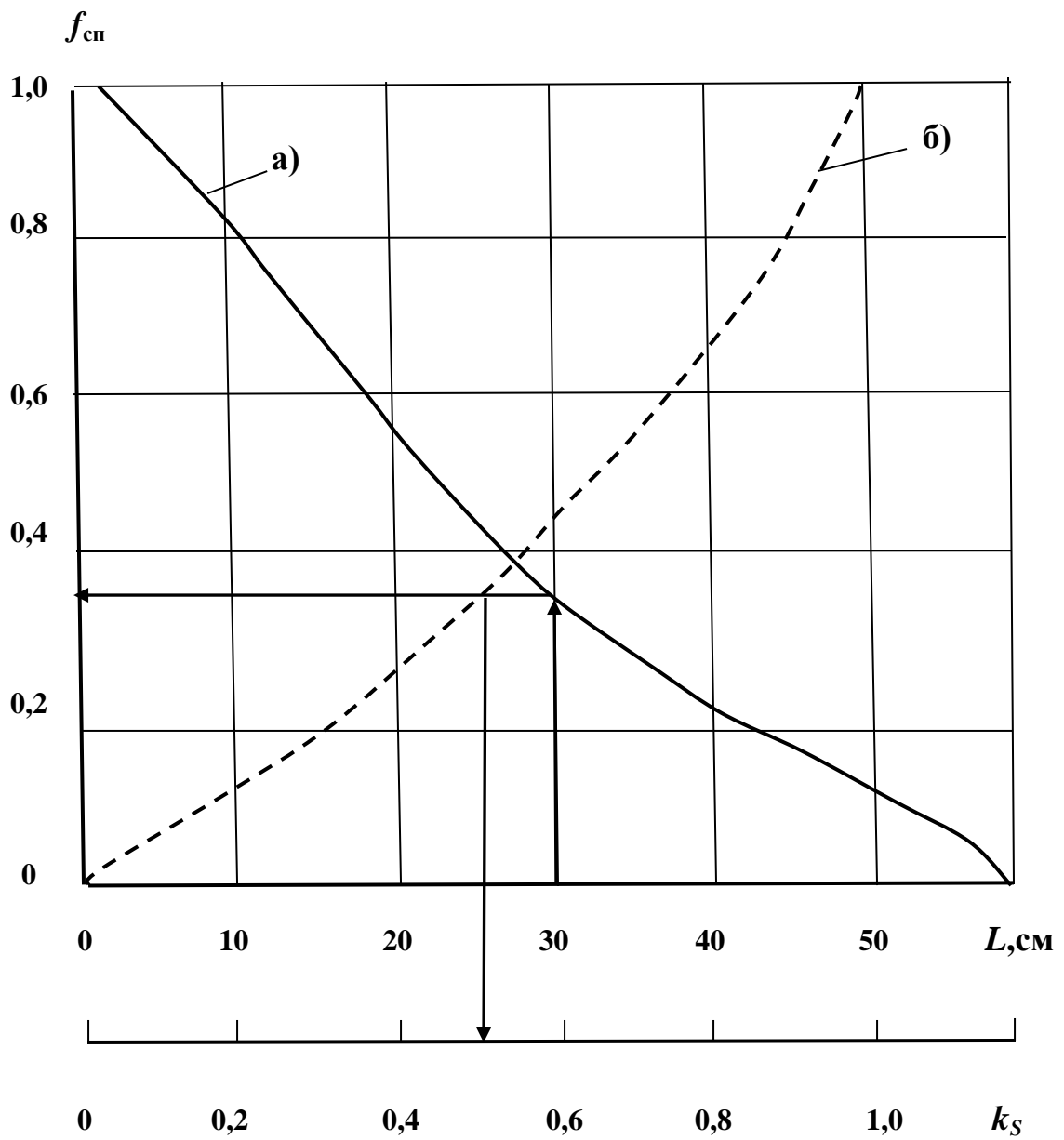


Рисунок 1.2 – Сумісні графіки розподілу долі площі зі слабким (<20 см) промерзанням ґрунту ( $f_{сн}$ ) та відносного (у долях середнього для басейну) запасу води у сніговому покриві на цій площі ( $k_s$ ) як функції середньої глибини промерзання ґрунту

## 1.3 Практичні прийоми розробки методик довгострокових прогнозів шарів стоку весняного водопілля

### 1.3.1 На підставі побудови водно-балансових залежностей

Розробка методики прогнозу елементів водопілля повинна будуватись на підставі всебічного вивчення умов весняного стоку та закономірностей його формування у даному районі.

Основним методом прогнозу стоку за водопілля на сьогодні є використання рівняння водного балансу. У практиці рішення рівняння балансу відносно стоку відбувається за графічним методом, шляхом побудови водно-балансових залежностей. Цей спосіб дає змогу окремі компоненти рівняння, зокрема, втрати, оцінювати за допомогою їх опосереднених характеристик. Серед опосереднених характеристик втрат задані: вологість ґрунту з восени та глибина промерзання ґрунту.

Визначення втрат в період водопілля включає розрахунок втрат в період сніготанення та в ґрунт, який вивільнився від снігу. Але роздільне обчислення цих втрат утруднено. Приблизно втрати в ґрунт, який вивільнився від снігу, можуть бути опосереднено визначені при розрахунках загального запасу води на басейні шляхом введення коефіцієнта опадів ( $k$ ), які випали від кінця сніготанення до кінця водопілля. Об'єм стоку за водопілля ( $Y_m$ ) можна виразити як функцію:

а) при  $L < 60$  см

$$Y_m = f[(S + X_1 + kX_2), W, L]; \quad (1.20)$$

б) при  $L \geq 60$  см

$$Y_m = \varphi[(S + X_1 + kX_2), W], \quad (1.21)$$

де  $S$  – максимальний запас води в сніговому покриві перед початком сніготанення;

$X_1$  – опади на поверхню снігу за час танення;

$X_2$  – опади на поверхню басейну, який вільний від снігу;

$k$  – коефіцієнт ваги, який показує долю опадів  $X_2$ , що приймає участь у загальному об'ємі  $Y_m$ ,  $k$  приймається рівним 0.3-0.4 [1];

$S + X_1 + kX_2$  – загальні запаси води на басейні;

$L$  – середня глибина промерзання ґрунту;

$W$  – характеристика вологості ґрунту.

На рис.1.3 наведений графічний вигляд водно-балансової залежності весняного стоку.

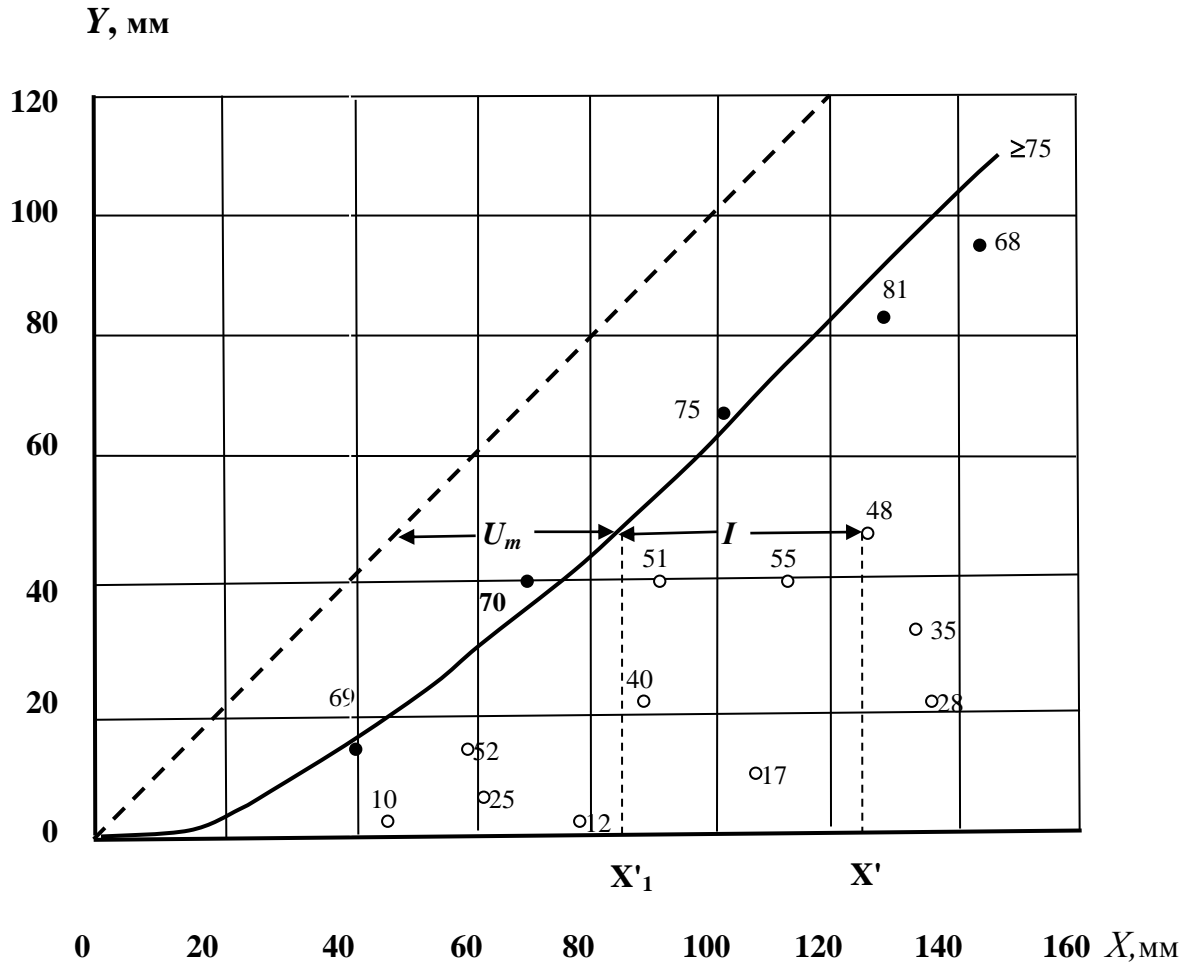


Рисунок 1.3 – Приклад воднобалансової залежності, який ілюструє визначення сумарної інфільтрації води в ґрунт



### 1.3.2 При визначенні параметру загальних втрат $P_0$

Розробка методики довгострокового прогнозу шару стоку весняного водопілля ведеться за рівняннями:

$$Y_m = X - P_0 t h \frac{X}{P_0}, \quad (1.22)$$

$$Y_m = X - P_0 \left(1 - e^{\frac{-X}{P_0}}\right), \quad (1.23)$$

де  $P_0$  – параметр втрат стоку в басейні є функцією вологості басейну ( $W$ ) і глибини промерзання ґрунту ( $L$ ) при  $L < 60$  см або тільки  $W$ .

Залежності  $P_0 = f(W, L)$  або  $P_0 = f(W)$  будуються за даними багаторічних спостережень за вологістю і промерзанням ґрунту. Вихідні дані про параметр  $P_0$  можна одержати шляхом оберненого розрахунку з (1.22) або (1.23), коли відомий шар стоку  $Y_m$  та запаси води у снігу  $X$ , або за допомогою номограм для цих формул, як видно з рис.1.4. Вибір формули, яка найбільш точно описує емпіричну залежність  $Y_m = f(X, W)$  здійснюється на підставі графічного її співставлення з наведеним на рис.1.4 графіком.

Для річок степової і лісостепової зон В.Д. Комаров [2, стор.175] одержав залежність вигляду

$$P_0 = A \exp[-\omega(a + bL)], \quad (1.24)$$

де  $L$  – середня для басейну глибина промерзання ґрунту;

$\omega$  - відносна (безрозмірна) характеристика запасу продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту, яка має вигляд

$$\omega = W/0.75 HB, \quad (1.25)$$

$W$  – кількість продуктивної вологи;

$HB$  – найменша вологоємність ґрунту;

$A, a, b$  – параметри.

Графічний вигляд залежності  $P_0 = f(W, L)$  показаний на рис.1.5.

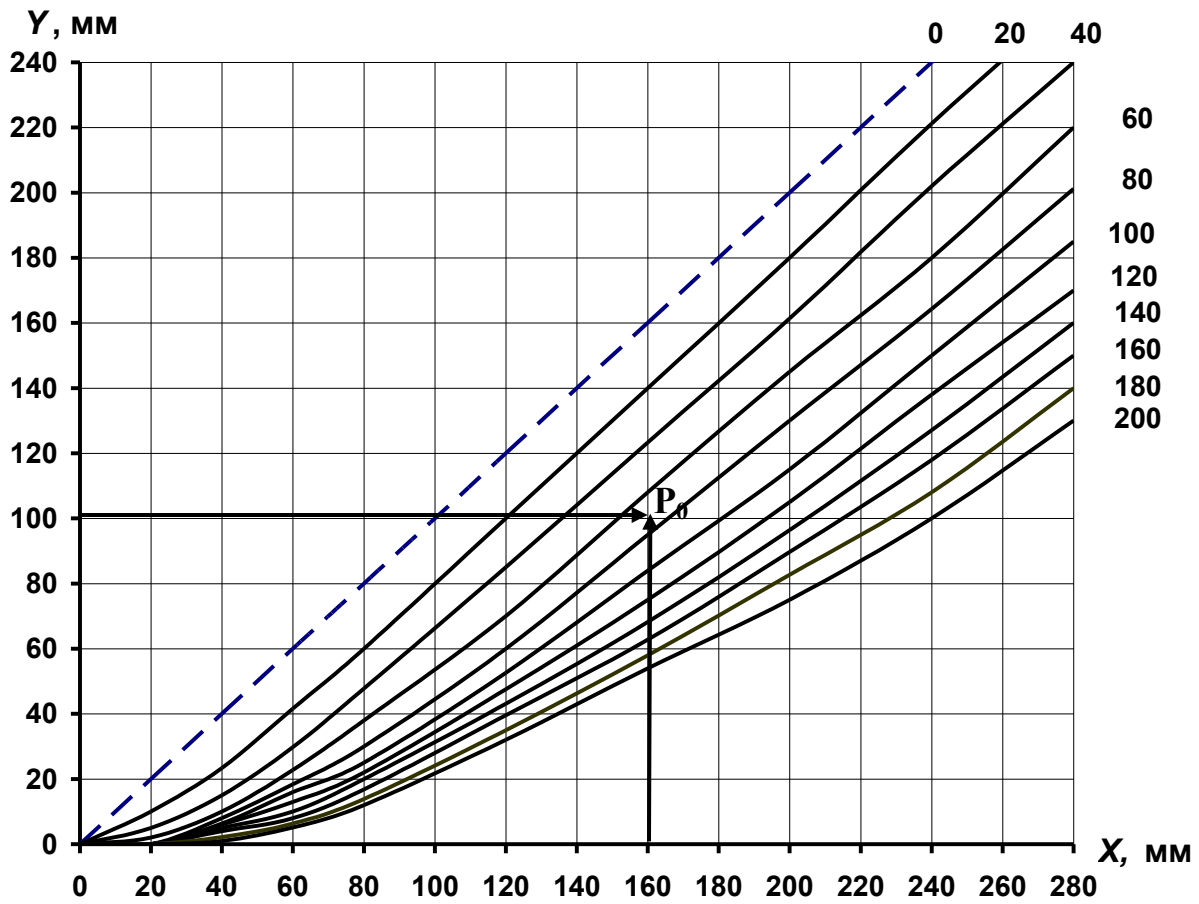


Рисунок 1.4 – Графічний вигляд рівняння стоку (1.23)

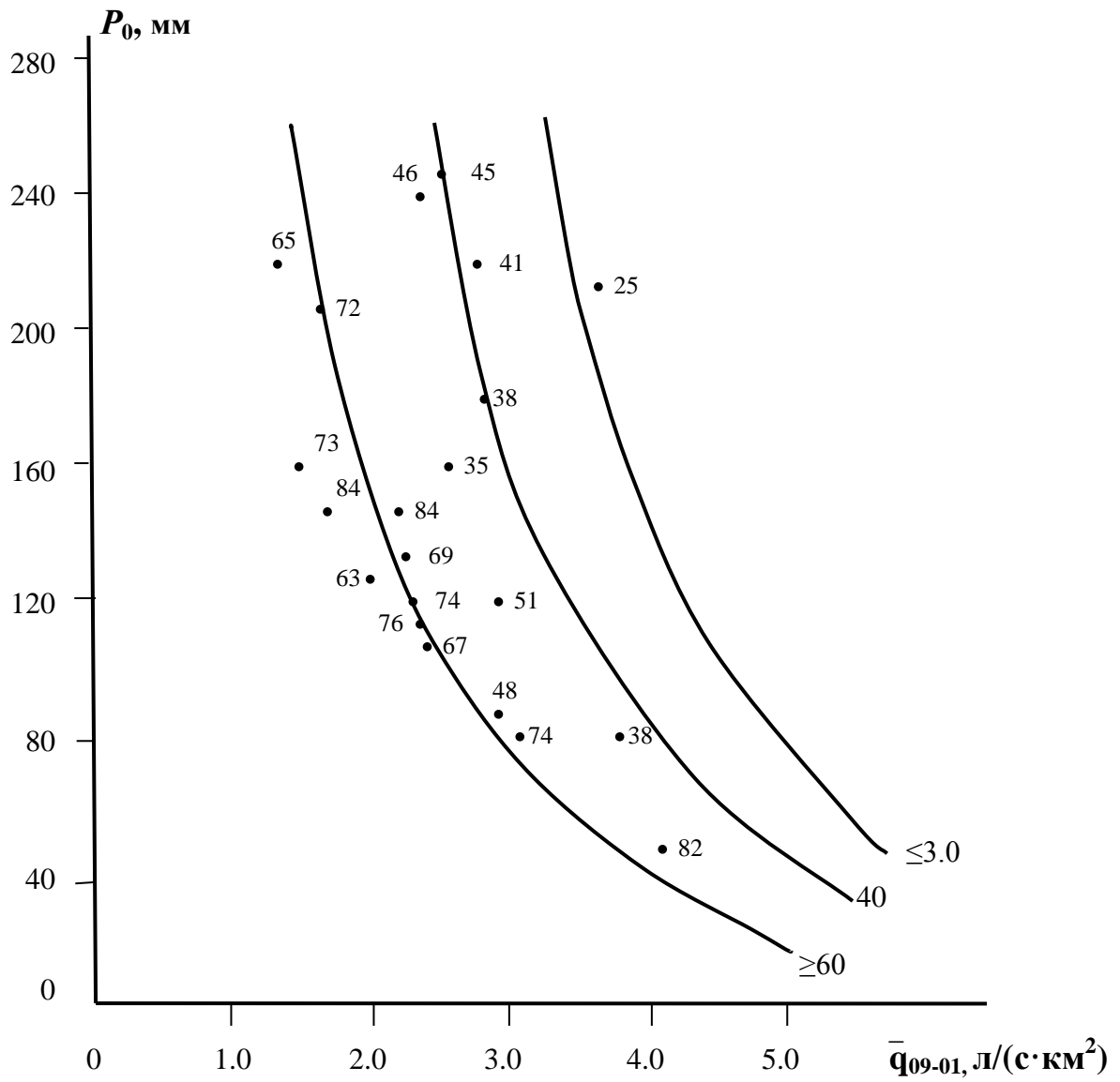


Рисунок 1.5 – Залежність параметра  $P_0$  від середньої глибини промерзання ґрунту і показника запасу продуктивної вологи у метровому шарі ґрунту (числа у ліній)

### **1.3.3. При визначенні втрат води на інфільтрацію поталих вод**

Спосіб визначення воднобалансових залежностей для басейнів, в яких частіше спостерігається інфільтраційно-ємнісний тип водопоглинання заснован на теоретичному рівнянні (1.8) і потребує відшукування емпіричних залежностей  $I / X = f(W)$  [1, стор.227, 3, стор.131].

Для знаходження таких залежностей, необхідно мати щорічні значення сумарної інфільтрації води у ґрунт. Але прямих вимірювань інфільтрації немає, тому визначити величини  $I$  в кожному році можна приблизно з умов водного балансу, тобто шляхом виключення з загальних втрат шару ту їх частину, яка обумовлена поверхневим утриманням і випаровуванням з снігу.

Приклад графічного визначення цих складових втрат ілюструється рис.1.3, де величина сумарної інфільтрації води визначається як

$$I = X_2 - X_1. \quad (1.26)$$

Тут:  $X_2$  – сумарна подача води в даному році, мм;

$X_1$  – сумарна подача води, яка дає такий же шар стоку при граничному зволоженні і глибокому промерзанні ґрунту, тобто при відсутності втрат на усмоктування (ємнісний тип водопоглинання).

Залежність  $I / X = f(W)$  показана на рис.1.6.

Таким чином, задача розробки методики прогнозу шару стоку за водопілля ( $Y_m$ ) зводиться або до графічного побудування функцій (1.20) і (1.21), або встановленню залежності втрат стоку від факторів, які їх визначають.

## **1.4 Оцінка методики довгострокового прогнозу**

Відповідно до «Наставлення по службі прогнозів» [4, стор.37] практична здатність методики прогнозу вирішується при встановленні ступеня її точності й ефективності.

Методика прогнозу може вважатися практично ефективною, якщо похибки прогнозу не перевищують припустиму похибку ( $\delta_{\text{прип}}$ ).

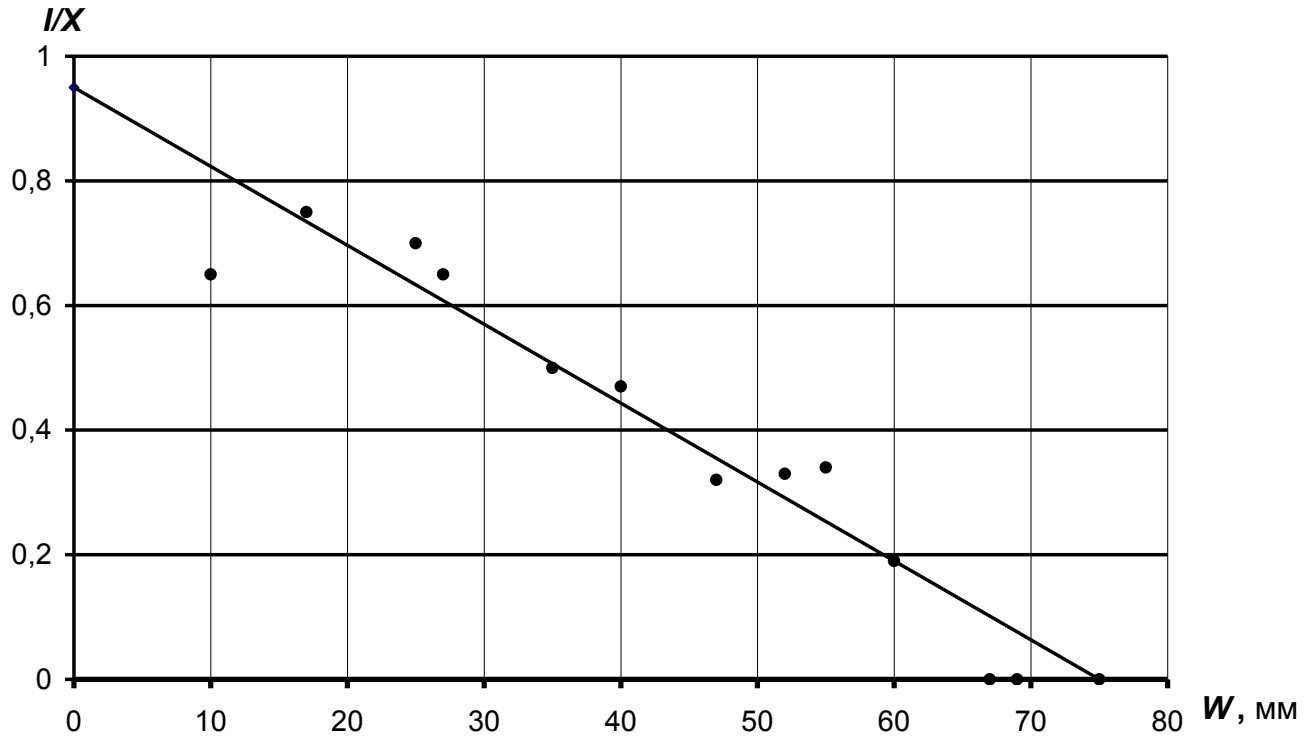


Рисунок 1.6 – Залежність відносної інфільтрації води у ґрунт від показника зволоження ґрунту

Виходячи з припущення про те, що похибка будь-якого прогнозу випадкова, а розподіли похибок підпорядковуються нормальному закону, за припустимої похибки приймається ймовірне відхилення значень прогнозованого елементу (наприклад, шару стоку) від середнього у вигляді

$$\delta_{\text{прип}} = \pm 0,674\sigma. \quad (1.27)$$

Середнє квадратичне відхилення  $\sigma$  прогнозованого елементу від норми обчислюється по формулі

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_0)^2}{n - 1}}, \quad (1.28)$$

де  $Y_i$  - значення прогнозованого елементу;

$Y_0$  - його норма;

$n$  - число членів ряду.

Мірою точності методики прогнозу є середня квадратична похибка перевірних прогнозів ( $S$ ), яка при числі членів ряду не менше 25 обчислюється як

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i')^2}{n}}. \quad (1.29)$$

Тут  $Y_i$  і  $Y_i'$  спостережене і передбачене значення елемента весняного водопілля, відповідно.

За критерій якості методики прогнозів приймається відношення середньої квадратичної похибки  $S$  до середнього квадратичного відхилення  $\sigma$  ( $S/\sigma$ ).

Методика прогнозу є прийнятною для практики, якщо забезпеченість припустимої похибки перевірних прогнозів не менше, ніж на 10 % перевищує забезпеченість ймовірного відхилення прогнозованої величини від його норми [4, стор.53].

Якщо число членів ряду, використаного при побудові прогнозної залежності не менше 25, то методика приймається при  $S/\sigma \leq 0,80$ . Забезпеченість припустимої похибки ( $P$ ) при цьому повинна складати величину порядку 60 - 80 %.

### Питання для самоконтролю:

1.Що служить теоретичною основою методу прогнозу стоку річки за період весняного водопілля?

2.Чому при визначенні подавання води на басейн опади за період від дати сходу снігу до кінця водопілля ураховуються ваговим коефіцієнтом, який менше одиниці?

3.Описати сучасні підходи до розробки методики прогнозу об'єму весняного водопілля.

3.1.За допомогою методу водного балансу.

3.2.За рівнянням Є.Г. Попова (через параметр загальних втрат  $P_0$ ).

3.3. На підставі ємнісної і інфільтраційно-ємнісної моделі втрат.

4. Які показники вологості ґрунту використовуються як фактор втрат талого стоку?

## 1.5 Приклад розробки методики довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля

### *Приклад 1*

**Завдання:** Розробити методику довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля на р.Південний Буг – с.Підгір'я і здійснити оцінку методики прогнозу.

#### **Вихідні дані:**

1. Морфометричні та басейнові характеристики:
  - площа водозбору  $F=24600 \text{ км}^2$ ;
  - залісеність водозбору  $f_l=14\%$ .
2. Базова інформація (характеристики і фактори весняного водопілля за період з 1966 по 1986 рр.):
  - шари стоку ( $Y_m$ ) і максимальні витрати води ( $Q_m$ ) за період весняного водопілля р.Південний Буг – с.Підгір'я;
  - середні для водозбору запаси води у сніговому покриві ( $S_m$ ) перед початком сніготанення;
  - середні по басейну опади за період сніготанення ( $X_1$ ) і під час спаду водопілля ( $X_2$ );
  - характеристика зволоження ґрунтів – середній модуль річкового стоку осінньо-зимового періоду ( $\bar{q}_{IX-I}$ );
  - середня на басейні максимальна глибина промерзання ґрунту наприкінці зими ( $L$ )

Вихідні дані наведені в табл.1.1.

Таблиця 1.1 – Вихідні дані для розробки методики довгострокового прогнозу елементів весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'я

Рік	$Y_m$ , мм	$Q_m$ , м <sup>3</sup> /с	$S_m$ , мм	$X_1$ , мм	$X_2$ , мм	$X = S_m + X_1 + 0.3X_2$ , мм	$\bar{q}_{IX-I}$ , л/с·км <sup>2</sup>	$L$ , см	$P_0$ , мм
1966	39,0	399	88	41,2	116	164	2,76	41	220
67	46,0	898	82	24,6	39,6	118	2,45	67	110
68	25,0	637	72	36,2	17,2	113	1,35	65	220
69	62,0	1140	84	40,7	57,8	142	2,42	74	118
1970	52,0	618	41	66,2	86,8	133	2,00	63	130
71	17,0	432	38	22,6	7,60	62,9	2,86	51	120
72	17,0	160	37	14,9	18,2	57,4	3,08	74	80
73	27,0	788	75	20,7	9,10	98,4	2,24	84	147
74	9,7	194	37	15,6	5,30	54,2	2,55	35	160
75	5,0	64,0	12	8,40	20,3	26,5	3,72	28	80
76	26,0	286	55	40,9	31,7	105	1,55	73	160
77	29,0	471	22	66,7	19,0	94,4	2,25	69	139
78	28,0	699	77	8,50	46,3	99,4	1,70	84	150
79	27,0	366	35	58,1	95,6	122	1,70	72	208
1980	50,0	986	87	30,1	52,4	133	2,44	76	120
81	24,0	336	42	79,1	7,80	123	3,74	25	210
82	17,0	183	23	6,90	52,1	45,5	4,10	82	50
83	12,0	135	16	16,8	116	67,7	2,82	38	180
84	20,0	145	91	39,1	32,2	140	2,34	46	240
85	24,0	342	101	47,5	64,0	168	2,52	45	245
86	19,0	208	51	7,80	13,4	62,8	2,88	48	90



## Порядок розробки методики

1. Басейн р.Південний Буг знаходиться на півдні України в межах лісостепової географічної зони. Територія басейну є дуже складною в кліматичному відношенні місцевістю. У холодний період року температура повітря відрізняється великою нестійкістю, характерною є похмура погода, тумани і відлиги. Максимальні снігозапаси ( $S_m$ ), а також дати їх настання змінюються від року в рік у широких межах. Так, найбільш ранні терміни наступу  $S_m$  відносяться до третьої декади січня (а іноді і раніше) – першої декади лютого, найбільш пізні – до другої-третьої декади березня.

Значення  $S_m$  змінюються від 60 до 65 мм у північній частині басейну Південного Бугу до 35-40 мм – у південній його частині. Дати початку сніготанення припадають у середньому на 1-2 декади лютого, при середній тривалості сніготанення близько 20-30 діб.

Глибина промерзання ґрунту найбільших значень (40-56 см) досягає у січні і лютому, а його відтанення частіше усього починається в березні.

Основна частка втрат тало-дошових вод складає інфільтрація, яка визначається ступенем водопроникненості ґрунтів.

2. Розробка методики довгострокового прогнозу шару стоку весняного водопілля здійснюється на основі рішення рівняння водного балансу (1.2) при побудові графічних залежностей у вигляді (1.20) і (1.21).

а) Розрахунок сумарної кількості води, яка бере участь у формуванні весняного водопілля ведеться за виразом

$$X = S_m + X_1 + kX_2,$$

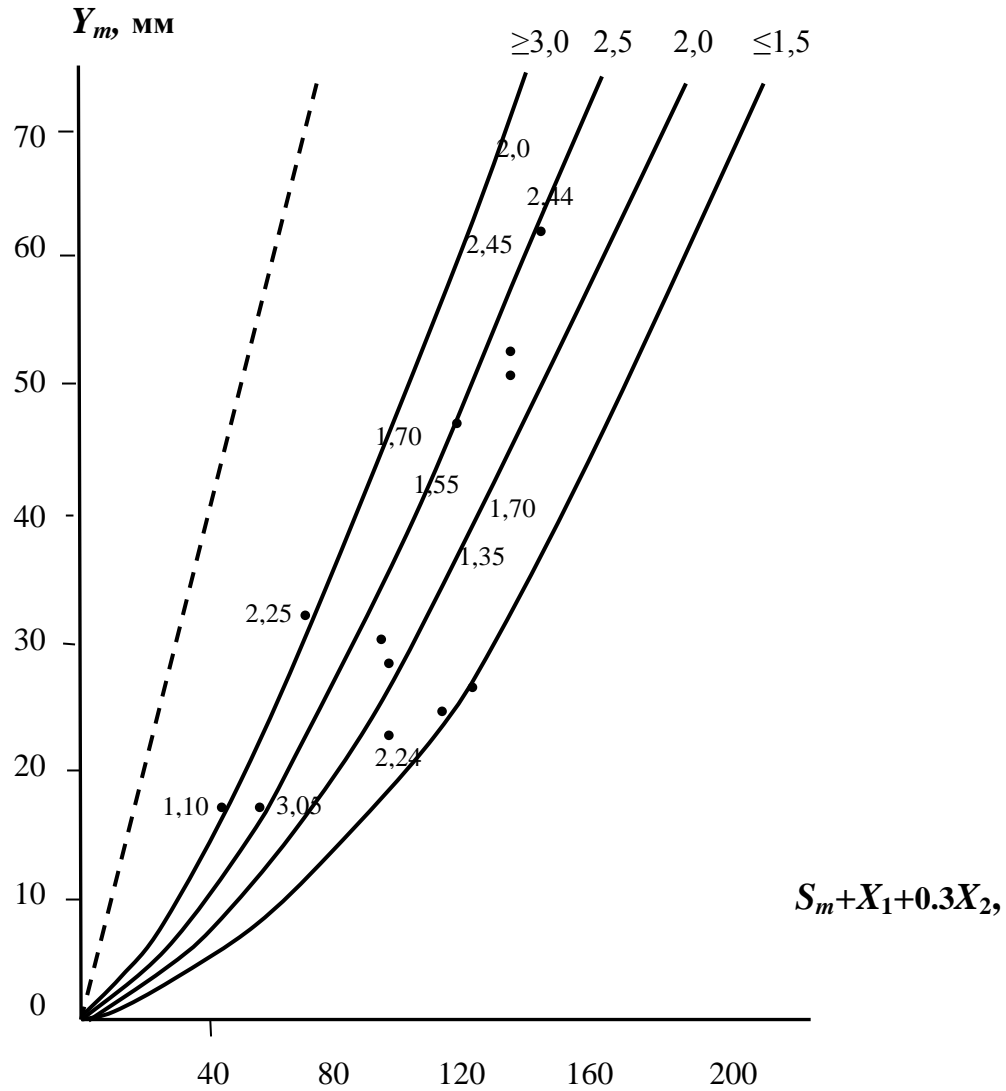
де  $S_m$  визначається за (1.13), а  $k$  дорівнює 0.3 (табл.1.1);

б) за даними табл.1.1 будуємо залежності шару стоку від факторів, які його визначають (рис.1.7 і 1.8);

в) визначаємо величину припустимої похибки прогнозу шару стоку весняного водопілля за (1.27), де  $\sigma=16.5$  мм, а  $\delta_{дон}=11.2$  мм;

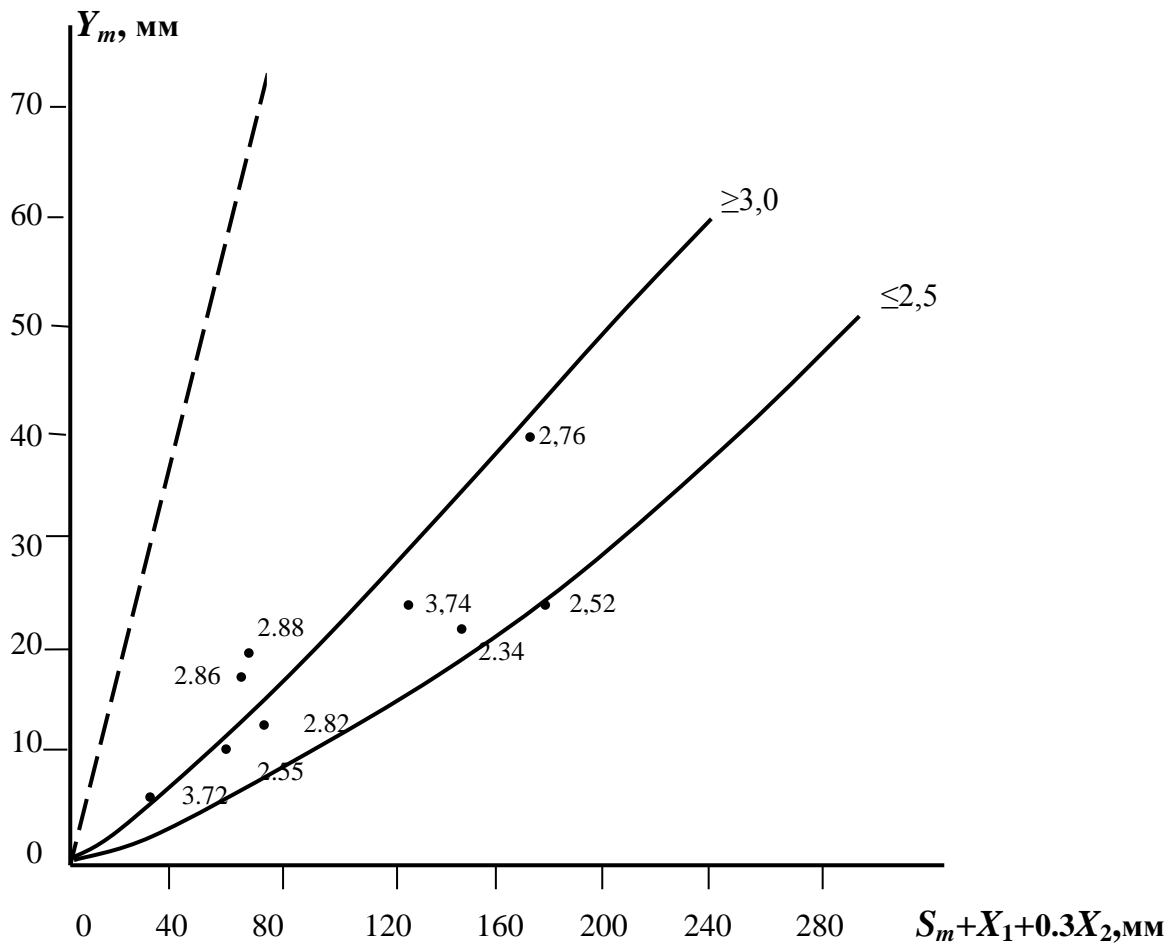
г) складаємо перевірні прогнози шарів весняного стоку на р.Південний Буг-с.Підгір'я (табл.1.2);

д) здійснюємо оцінку зв'язків за критерієм  $S/\sigma$  і забезпеченості припустимої похибки Р%. При  $S=3.86$  мм значення критерія  $S/\sigma=0.23$ . Методика прогнозу оцінюється як добра при Р=100%.



Біля точок -  $\frac{\bar{q}_{IX-I}}{\text{рік}} L$ ; біля кривих -  $\bar{q}_{IX-I}$

Рисунок 1.7 – Залежність шару стоку весняного водопілля ( $Y_m$ ) на р.Південний Буг-с.Підгір'я від сумарних запасів води на басейні ( $S_m + X_1 + 0.3X_2$ ) і показника зволоження ґрунту ( $\bar{q}_{IX-I}$ ) в роки з глибоким промерзанням ґрунту ( $L \geq 60$  см)



Біля точок -  $\frac{\bar{q}_{IX-I}}{\text{рік}} L$ ; біля кривих -  $\bar{q}_{IX-I}$

Рисунок 1.8 – Залежність шару стоку весняного водопілля ( $Y_m$ ) на р.Південний Буг-с.Підгір'я від сумарних запасів вологи на басейні ( $S_m + X_1 + 0.3X_2$ ) і показника зволоження ґрунту ( $\bar{q}_{IX-I}$ ) в роки з неглибоким промерзанням ґрунту ( $L < 60$  см)

Таблиця 1.2 – Перевірні прогнози шарів стоку весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'я

Рік	$Y_m$ , мм	$X$ , мм	$\bar{q}_{IX-I}$ , л/с·км <sup>2</sup>	$Y'_m$ , мм	$Y_m - Y'_m$ , мм	$(Y_m - Y'_m)^2$ , мм	$P'_0$ , мм	$Y'_m$ , мм	$Y_m - Y'_m$ , мм	$(Y_m - Y'_m)^2$ , мм <sup>2</sup>
1966	39,0	164	2,76	33,0	6,00	36,0	160	55	-16	256
67	46,0	118	2,45	46,0	0	0	110	47	-1	1
68	25,0	113	1,35	22,5	2,50	6,25	240	20	5	25
69	62,0	142	2,42	61,0	1,00	1,00	120	60	2	4
1970	52,0	133	2,00	45,0	7,00	49,0	156	45	7	49
71	17,0	62,9	2,86	12,3	4,70	22,1	120	15	2	4
72	17,0	57,4	3,08	22,5	5,50	30,3	75,0	18	-1	1
73	27,0	98,4	2,24	23,0	4,00	16,0	140	28	-1	1
74	9,7	54,2	2,55	6,40	3,30	10,9	260	5	4,7	22,1
75	5,0	26,5	3,72	5,00	0	0	110	3	2	4
76	26,0	105	1,55	23,0	3,00	9,00	240	18	8	64
77	29,0	94,4	2,25	30,0	-1,0	1,00	110	31	-2	4
78	28,0	99,4	1,70	23,5	4,50	20,3	190	22	6	36
79	27,0	122	1,70	31,5	-4,50	20,3	205	30	-3	9
1980	50,0	133	2,44	54,7	-4,70	22,1	122	52	-2	4
81	24,0	123	3,74	28,0	-4,00	16,0	190	32	-8	64
82	17,0	45,5	4,10	16,0	1,0	1,0	40,0	18	-2	4
83	12,0	67,7	2,82	12,0	0	0	180	10	2	4
84	20,0	140	2,34	18,0	2,00	4,00	230	30	-10	100
85	24,0	168	2,52	24,0	0	0	200	50	-26	676
86	19,0	62,8	2,88	12,0	7,00	49,0	123	15	4	16
S=3.86мм							S=8.0мм			
S/σ=0.23; P=100%							S/σ=0.48; P=90%			

3. Прогноз шару стоку водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'я виконуємо також за рівнянням (1.23) при визначенні втрат талої і дощової води через параметр  $P_0$ :

а) параметр  $P_0$  визначаємо шляхом оберненого розрахунку за даними про шар стоку  $Y_m$  та запаси вологи на басейні ( $S_m + X_1 + 0.3X_2$ ) за номограмою формули (1.23), наведеної на рис.1.4 (табл.1.1);

б) будуємо залежність параметру  $P_0$  від індексу зволоженості і промерзання ґрунту  $P_0 = f(\bar{q}_{IX-I}, L)$  (рис.1.10);

в) по прогнозних значеннях  $P'_0$  на підставі рівняння (1.23) випускаємо перевірені прогнози шару стоку весняного водопілля (табл.1.2);

г) оцінку методики прогнозу виконуємо за критерієм  $S/\sigma$ , який дорівнює 0.48, а забезпеченість припустимої похибки  $P=90\%$ . Тобто методика є доброю.

### Приклад 2

**Завдання:** Скласти довгостроковий прогноз шару стоку весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'я у 1987 р.

#### Вихідні дані:

1. Середні багаторічні дані:

- норма весняних опадів  $X_{10}$  і  $X_{20}$ , які приймають участь у формуванні весняного водопілля, визначені як середньо багаторічні значення:  $X_{10} = 32.7$  мм,  $X_{20} = 44.0$  мм;
- норма середньої температури повітря за другу декаду лютого  $\bar{\theta}_{II_2} = -4.5$  °С.

2. Оперативна інформація:

- максимальні запаси води в сніговому покриві до дати складання прогнозу 10 лютого і на дату їх максимального накопичення 20 лютого 1987 р.;
- середня на водозборі максимальна глибина промерзання ґрунту  $L = 66$  см;
- середні модулі осінньо-зимового стоку на р.Південний Буг-с.Підгір'я з вересня попереднього (1986) по січень (включно) поточного (1987) року -  $q_{IX-I} = 1.92$  л/с·км<sup>2</sup>;
- метеорологічний прогноз середньої декадної температури повітря в лютому в другій декаді 1987 р. ( $\bar{\theta}_{II_2} = -2.0$  °С);
- метеорологічний прогноз опадів  $X'_{10} = 28.5$  мм і  $X'_{20} = 9$  мм.

Вихідні дані для довгострокового прогнозу шару стоку весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'я наведені у табл.1.3.

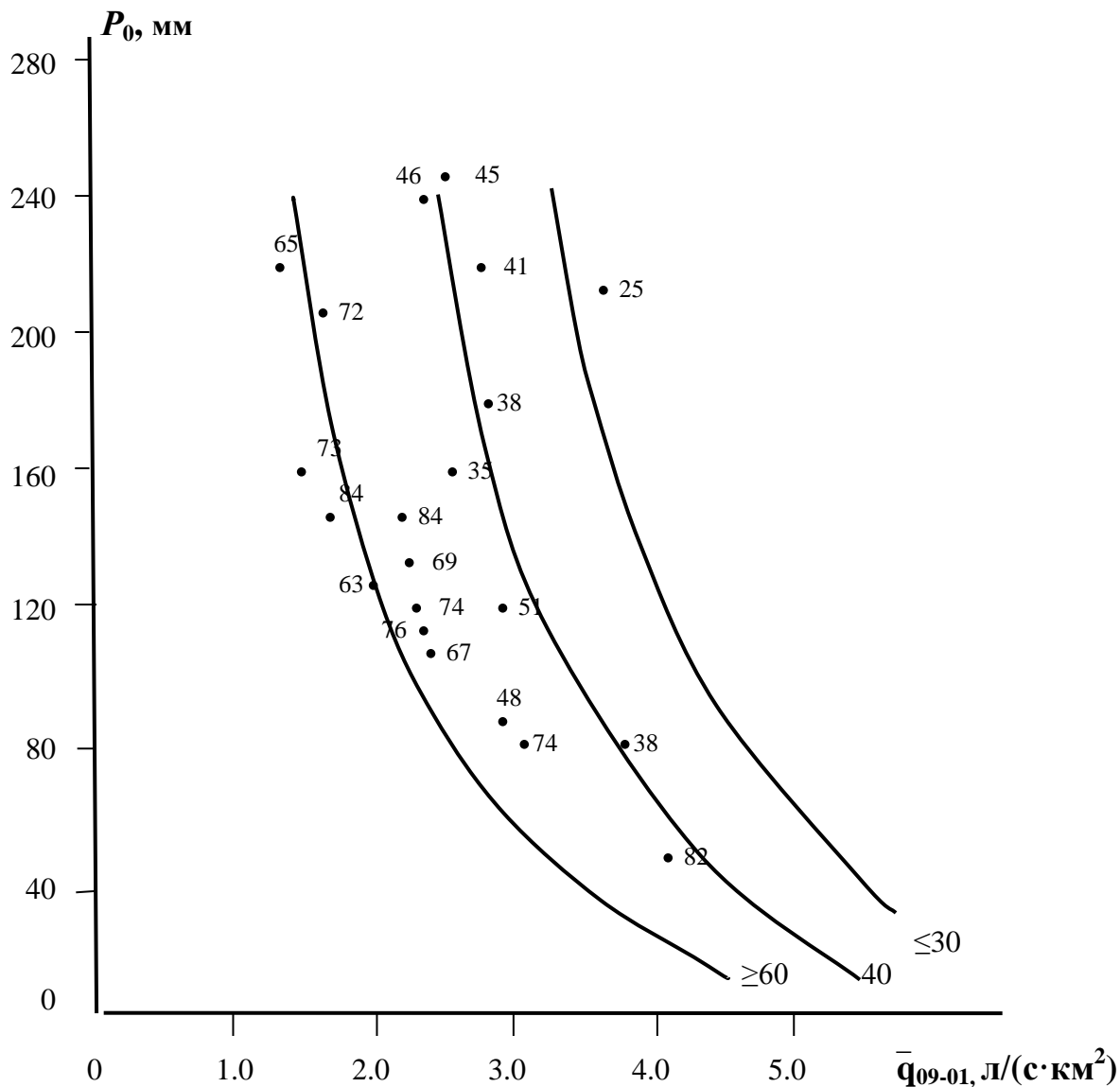


Рисунок 1.10 – Залежність параметру втрат води  $P_0$  від індексу попереднього зволоження ґрунтів  $\bar{q}_{IX-I}$  та глибини промерзання ґрунту  $L$  (числа біля ліній)

Таблиця 1.3 – Прогноз шару стоку і максимальної витрати води весняного водопілля р.Південний Буг-с.Підгір'я, 1987 р.

Дата складання прогнозу (ДСП)	Запаси води на басейні,					Індекс зволоження ґрунту, $\bar{q}_{IX-I}$ , л/с·км <sup>2</sup>	Глибина промерзання ґрунту, L, см
	S <sub>ДСП</sub>	$\Delta\bar{S}$	X <sub>10</sub>	X <sub>20</sub>	сума		
1	2	3	4	5	6	7	8
10 лютого а)	67	0	32.7	44.0	113	1.92	66
б)	67	0	28.5	9	98	1.92	66
20 лютого а)	73	-	32.7	44.0	119	1.92	66
б)	73	-	28.5	9	104	1.92	66

Продовження таблиці 1.3

Дата складання прогнозу (ДСП)	Припустима похибка		Прогнозні		Спостережені		Оцінка прогнозу			
	Y <sub>m</sub> , мм	Q <sub>m</sub> , м <sup>3</sup> /с	Y <sub>m</sub> , мм	Q <sub>m</sub> , м <sup>3</sup> /с	Y <sub>m</sub> , мм	Q <sub>m</sub> , м <sup>3</sup> /с	Y <sub>m</sub>		Q <sub>m</sub>	
							$\delta$	$\delta/\delta_{прим}$	$\delta$	$\delta/\delta_{прим}$
1	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
10 лютого а)	11.1		32	398	27		-5	0.45		
б)		204	25	300		473	2	0.18	-96	0.47
20 лютого а)	11.1		34	400	27		-7	0.64		
б)		204	28	330		473	-1	0.09	-126	0.62

а) прогноз складений при X<sub>10</sub> і X<sub>20</sub>; б) прогноз складений при використанні метеопрогноза опадів X<sub>1</sub> і X<sub>2</sub>.

## Порядок складання прогнозу

1. Обчислюємо числові значення факторів весняного водопілля на дату складання прогнозу 10 лютого і в дату накопичення максимальних снігозапасів 20 лютого у 1987 р. (табл.1.3).

а) Величину сумарних запасів води на басейні на дату прогнозу 10 лютого розраховуємо як

$$X = S_{ДВП} + \Delta\bar{S} + X_{10} + kX_{20},$$

де  $S_{ДВП}$  - максимальні запаси води в сніговому покриві до 10 лютого 1987 р., які дорівнюють 67 мм;

$\Delta\bar{S}$  - нормальна добавка до максимальних запасів води в сніговому покриві, які визначаються за табл.1.4 в залежності від очікуваної температури повітря в декаду після дати складання прогнозу.

Очікувана температура повітря  $\theta_{II_2} = -2$  °С, тобто є вищою за норму ( $\theta_{II_2} \geq \bar{\theta}_{II_2} + 2$ ), тому за табл.1.4 добавка  $\Delta\bar{S}$  дорівнює нулю.

З урахуванням норми опадів  $X_{10}$  і  $X_{20}$  отримаємо величину запасів вологи на водозборі в дату прогнозу 10 лютого:

$$X = 67 + 32.7 + (44.0 \times 0.3) = 113 \text{ мм.}$$

б) В дату настання максимальних снігозапасів 20 лютого сумарні запаси вологи на басейні за період водопілля складають:

$$X = S_m + X_{10} + kX_{20} = 73 + 32.7 + (44.0 \times 0.3) = 119 \text{ мм.}$$

2. Складаємо прогноз шару стоку за період водопілля:

а) по даних про глибину промерзання ґрунту  $L = 66$  см визначаємо, що для прогнозу слід прийняти залежність (рис.1.8);

б) на дату складання прогнозу 10 лютого, по даних про сумарні запаси вологи на басейні ( $X = 113$  мм) і індексу зволоження ґрунтів ( $q_{IX-I} = 1.92$  л/с·км<sup>2</sup>), визначаємо за рис.1.8 очікуваний шар стоку водопілля рівним 32 мм;

в) уточнюючий прогноз на 20 лютого (в дату максимальних снігозапасів) – 34 мм (табл.1.3).



Таблиця 1.4 – Величини нормальних добавок до максимальних запасів води в сніговому покриві

Дата прогнозу	Прогнозна характеристика	Норма характеристики, °C	Умови уведення добавки	Величина добавки $\Delta\bar{S}$ , мм	
				лісостепова зона півдня України	степова зона півдня України
10.02	$\Theta_{II_2}$	-4.5	$\Theta_{II_2} \geq \bar{\Theta}_{II_2} + 2$	0	0
			$\bar{\Theta}_{II_2} - 2 < \Theta_{II_2} < \bar{\Theta}_{II_2} + 2$	20	10
			$\Theta_{II_2} \leq \bar{\Theta}_{II_2} - 2$	30	20
20.02	$\Theta_{II_3}$	-3.0	$\Theta_{II_3} \geq \bar{\Theta}_{II_3} + 1$	0	0
			$\Theta_{II_3} < \bar{\Theta}_{II_3} + 1$	10	5

Умовні позначення:

$\Theta_{II_2}$  і  $\bar{\Theta}_{II_2}$  - середня температура повітря за другу декаду лютого і її норма, °C;

$\Theta_{II_3}$  і  $\bar{\Theta}_{II_3}$  - середня температура повітря за третю декаду лютого і її норма, °C.

3. Спостережений шар стоку водопілля на р.Південний Буг-с.Пдгір'я у 1987 р. склав 27 мм.

4. Оцінюємо складені прогнози шляхом визначення похибки в долях припустимої похибки ( $\delta_{прин}$ ) прогнозу шару стоку за водопілля (табл. 1.3):

на 10 лютого  $\delta = -5$  мм;  $\delta / \delta_{прин} = 0,45$ ;

в дату  $S_m$  (20 лютого)  $\delta = -7$  мм;  $\delta / \delta_{прин} = 0,64$ .

5. Дещо кращі результати прогнозу шару стоку весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Пдгір'я у 1987 р. відмічаються, якщо при розрахунку запасів вологи на водозборі ( $X$ ) використовувати метеорологічний прогноз опадів періоду водопілля (табл. 1.3).

## Практичне завдання 2

### 2. Довгострокові прогнози максимальних витрат води весняного водопілля

Мета роботи: складання довгострокового прогнозу максимальної витрати води весняного водопілля і його оцінка.

При виконанні практичного завдання необхідно розглянути такі питання:

1.теоретичні основи методу прогнозу максимальної витрати води весняного водопілля;

2.приклад складання довгострокового прогнозу максимальної витрати води водопілля.

#### 2.1 Теоретичні основи прогнозу максимальних витрат води водопілля

Відомі методи прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля оснований на встановленні для окремих гідрометричних створів емпіричних зв'язків між максимальними витратами та шарами стоку чи на геометричній схематизації гідрографів весняного водопілля.

У 1940 році М.А.Веліканов запропонував використовувати для прогнозу максимальної витрати водопілля ( $Q_m$ ) модель об'ємного типу:

$$Q_m = kF \frac{\delta}{T_n} Y_m, \quad (2.1)$$

де  $Y_m$  - шар стоку за водопілля;

$F$  - площа басейну;

$T_n$  - тривалість водопілля;

$\delta$  - коефіцієнт, який характеризує в першому наближенні форму гідрографу

повені і дорівнює відношенню  $\frac{Q_m}{\bar{Q}_m}$  ( $\bar{Q}_m$  - середня витрата води за повінь,

завжди більше одиниці);

$k$  - коефіцієнт розмірності.

Тривалість водопілля  $T_n$  і параметр  $\delta$  для конкретних басейнів залежать від дружності весняного сніготанення і величини шару стоку за водопілля  $Y_m$ .

Реалізація рівняння (2.1) для цілей прогнозу максимальних весняних витрат води має визначні труднощі, які пов'язані з невизначеністю вхідних до нього параметрів (таких як:  $\delta$ ,  $T_n$  і  $Y_m$ ). Тому прогноз максимальної витрати води зводиться по-суті до прогнозу стоку водопілля по зв'язках  $Q_m = f(Y_m)$ . При цьому якість прогнозів  $Q_m$  буде залежати, в основному, від точності розрахунку аргументу -  $Y_m$  [1, стор.244].

Достатньо тісні залежності  $Q_m = f(Y_m)$  можуть бути отримані для річок з великою регулюючою спроможністю. Гідрографи весняного стоку на цих річках носять характер одноmodalної хвилі з яскраво вираженим максимумом. Прикладом подібних залежностей є зв'язки  $Q_m = f(Y_m)$  для річок степової і лісостепової зон. Так, за даними В.Д.Комарова на річках Заволжжя і Північного Казахстану коефіцієнт кореляції шарів стоку і максимальних витрат складає 0,80 - 0,95. При цьому зв'язки  $Q_m = f(Y_m)$  можуть бути як лінійними (при постійній величині  $\frac{\delta}{T_n}$ ), так і не лінійними (при закономірній їх зміні).

На річках лісостепової зони, особливо в південній і південно-західній частинах, завдяки специфічності умов формування весняного водопілля, пов'язаних із тривалим періодом сніготанення, який часто переривається похолоданнями, неоднотаненням снігу у полі й у лісі і великій кількості дощових опадів, форма гідрографу є практично неповторною з року в рік. При цьому зв'язки  $Q_m = f(Y_m)$  стають менш тісними.

Приклад такого зв'язку на річках півдня України наведено на рис. 2.1 для р.Південний Буг – с.Підгір'я. Залежність добре виражена, але в окремі роки спостерігається значне відхилення точок від лінії зв'язку. Так, у 1951, 1952, 1956, 1972 роках водопілля було вище, ніж очікувалося при даному шарі стоку весняного водопілля, а в 1948, 1963 роках - дещо нижче.

При значному розкиді точок на зв'язках  $Q_m = f(Y_m)$  часто вводять третю перемінну, яка характеризує головним чином погодні умови, що визначають хід сніготанення в дану весну - дружність водопілля.

Використання того або іншого показника дружності сніготанення при уточненні зв'язків  $Q_m = f(Y_m)$  буває не завжди вдалим, тому що він не відомий на дати випуску прогнозу і сам підлягає наближеній оцінці або прогнозуванню.

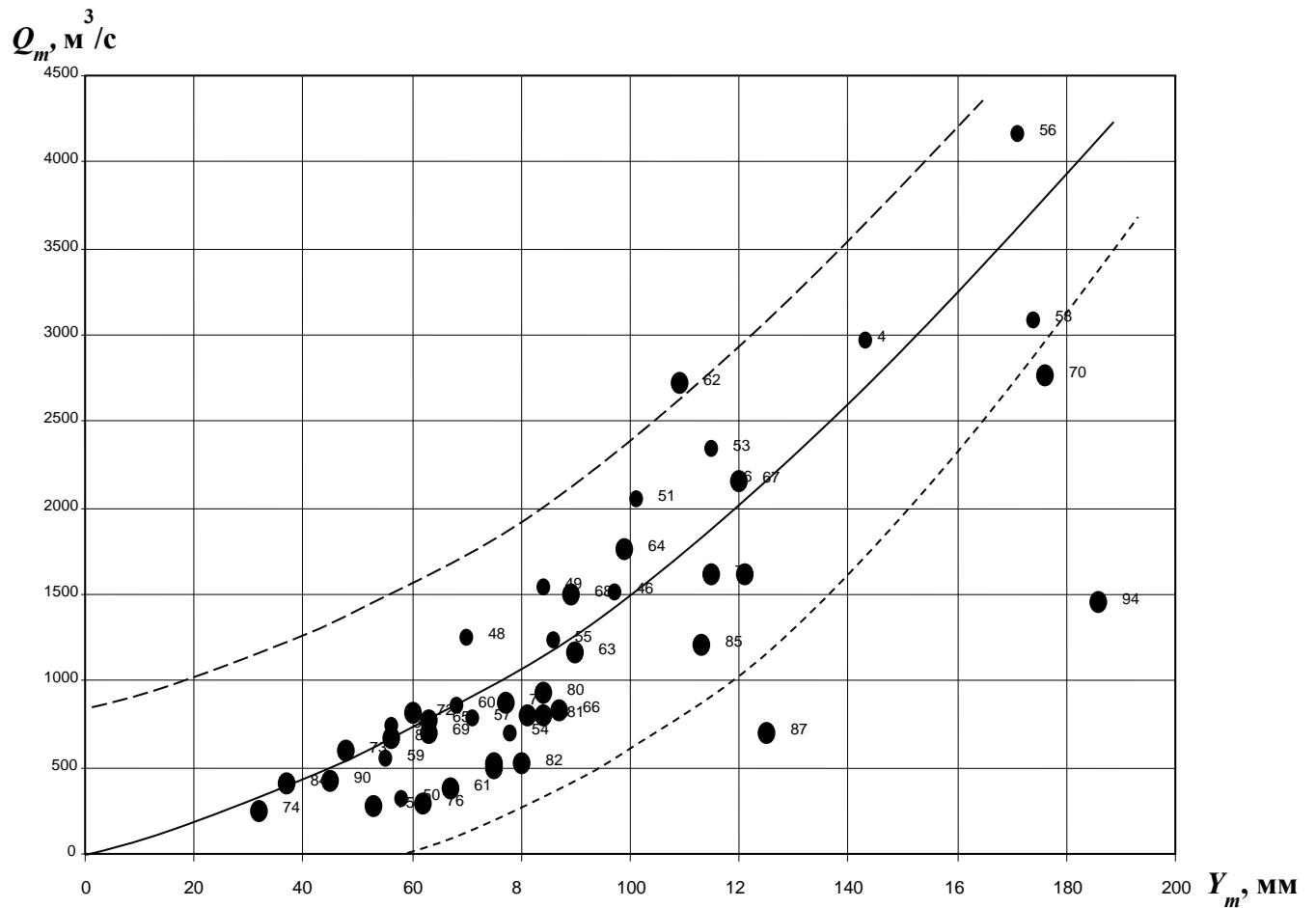


Рисунок 2.1 – Залежність між максимальними витратами води і шарами стоку весняного водопілля р.Південний Буг-с.Підгір'я

Розробка методики прогнозів максимальних витрат води весняного водопілля можлива також на основі встановлення залежностей  $Q_m$  від основних чинників водопілля [3, стор.172-173], маючи на увазі, що величина максимуму у значній мірі залежить від тих же чинників, що й шар майбутнього водопілля, головним чином, від значення запасів води в сніговому покриві до початку весни, інтенсивності надходження води на водозбір у період танення снігу і величини утрат талої води.

## 2.2 Порядок складання довгострокового прогнозу максимальних витрат води весняного водопілля

**Завдання:** скласти довгостроковий прогноз максимальної витрати води весняного водопілля на р.Південний Буг-с.Підгір'є у 1987 р.

**Вихідні дані:** графік залежності максимальної витрати води за період водопілля р.Південний Буг-с.Підгір'я (рис.2.1).

### **Порядок розрахунку:**

1.Складаємо прогноз максимальної витрати води р.Південний Буг, використовуючи прогноз шару стоку водопілля (приклад 2). По графіку зв'язку (див. рис.2.1) за значенням шару стоку, спрогнозованому (з урахуванням метеопрогнозу опадів) на 10 лютого і в дату максимальних снігозапасів (20 лютого), визначаємо очікувані максимальні витрати води (табл. 1.3).

2. Виконуємо оцінку прогнозу. Максимальна витрата води р.Південний Буг-с.Підгір'я за водопілля 1987 р. дорівнює  $473 \text{ м}^3/\text{с}$ . Похибка прогнозів максимальної витрати води склала  $-96$  і  $-126 \text{ м}^3/\text{с}$ , а у долях припустимої похибки ( $\delta_{\text{прип}} = 204 \text{ м}^3/\text{с}$ ) –  $0.47$  і  $0.62$ , відповідно датам складання прогнозу.

### **Питання для самоконтролю**

1. Якого вигляду залежності встановлюються для прогнозування максимальних витрат води весняного водопілля?
2. Від яких факторів залежить точність таких зв'язків і для яких географічних зон їх можна використовувати для прогнозу максимальних витрат води водопілля?
3. Як можна уточнювати залежності для прогнозу максимальних витрат води водопілля?

## Перелік посилань

1. Аполлов Б.А., Калинин Г.П., Комаров В.Д. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 419 с.
2. Бефани Н.Ф., Калинин Г.П. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеиздат, 1983. – 390 с.
3. Руководство по гидрологическим прогнозам. – Вып. 1. Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 358 с.
4. Наставление по службе прогнозов, разд. 3, ч. 1. – Л.: Гидрометеиздат, 1962.-194 с.

**Збірник методичних вказівок**  
до практичних занять з дисципліни  
“Гідрологічні прогнози”

Уклдачі: к.г.н., Лобода Н.С.  
к.г.н., Шакірманова Ж.Р.

Підп. до друку	Формат	Папір друк.
Умовн. друк. арк.	Тираж	Зам №

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, м.Одеса, вул Львівська, 15

Надруковано з готового оригінал - макета