

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до чергувань з гідрологічних прогнозів
Розділ
**"Довгострокові прогнози
шарів стоку та максимальних витрат (рівнів) води
весняного водопілля невеликих річок"**

Затверджено
методичною комісією
гідрометеорологічного інституту
протокол № 9 від 23.05.2011 р.

Одеса-2011

Збірник методичних вказівок до чергувань з гідрологічних прогнозів, розділ "Довгострокові прогнози елементів весняного водопілля невеликих річок в басейні р. Дніпро" для студентів IV курсу денної форми навчання за спеціальністю "Гідрологія та гідрохімія". / Шакірзанова Ж.Р., Погорелова М.П., Будкіна І.Є. – Одеса, ОДЕКУ, 2011. – 39 с.

ЗМІСТ

	Передмова.....	4
1	Фізико-географічна характеристика невеликих річок в басейні р. Дніпро.....	5
2	Теоретичні основи прогнозу шарів стоку за період весняного водопілля.....	6
	2.1 Визначення запасів вологи на водозборі.....	7
	2.2 Визначення запасів вологи у ґрунтах.....	9
	2.3 Визначення глибини промерзання ґрунтів.....	10
	2.4 Розрахунок можливих втрат тало-дощових вод весняного водопілля.....	10
	2.5 Оцінка прогнозу. Форми випуску довгострокових гідрологічних прогнозів.....	11
3	Схема випуску прогнозу шарів стоку і максимальних рівнів води весняного водопілля. Оцінка прогнозу. Форма випуску прогнозу.....	13
	3.1 Обробка вихідної інформації.....	14
	3.2 Розрахунок основних факторів втрат тало-дощової води на дату випуску прогнозу.....	14
	3.2.1 Визначення запасів продуктивної вологи в 100 см шарі ґрунту на дату випуску прогнозу.....	14
	3.2.2 Розрахунок глибини промерзання ґрунтів.....	19
	3.2.3 Розрахунок можливих втрат води.....	19
	3.3 Випуск прогнозу шарів стоку за період весняного водопілля.....	19
	3.4 Випуск прогнозу максимального рівнів води весняного водопілля.....	30
	3.5 Перевірка прогнозу.....	30
4	Аналіз умов формування весняного водопілля та оцінка якості прогнозу.....	36
	Перелік посилань.....	36

Передмова

Гідрологічний прогноз - це науково обґрунтоване передбачення майбутнього стану досліджуваного водного об'єкта.

Мета методичних вказівок полягає в закріпленні студентами теоретичних та практичних навичок при вивченні розділу «Довгострокові прогнози елементів весняного водопілля річок».

Мета чергувань – вироблення у студентів практичного навичку роботи по випуску довгострокових прогнозів, їх оцінки й коректування та аналізу.

Внаслідок проходження чергувань студенти повинні:

- знати основні методи гідрологічних та гідролого-синоптичних прогнозів характеристик водних об'єктів; підходи й критерії оцінки якості та точності методики довгострокових прогнозів елементів весняного водопілля річок;

- вміти ставити задачу довгострокових прогнозів (згідно меті прогнозу та необхідній завчасності), обирати метод прогнозу; випускати довгострокові гідрологічні прогнози з обліком їх оцінки, точності та якості.

Загальна сума балів, отриманих при чергуванні студентів в навчальному бюро гідрологічних прогнозів, складає 32 бали, що входять складовою частиною до змістовного модулю чергування у навчальному бюро гідрологічних прогнозів з дисципліни «Гідрологічні прогнози».

В результаті виконання чергувань з даного розділу студенти здають звіт у письмовому вигляді з усіма розрахунками та аналізом умов формування весняного водопілля.

1 ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА НЕВЕЛИКИХ РІЧОК В БАСЕЙНІ Р. ДНІПРО

Методика прогнозу шарів стоку й максимальних рівнів води весняного водопілля невеликих річок басейну р. Дніпро розроблена В.А.Романенко та рекомендується для випуску оперативних довгострокових прогнозів на невеликих річках басейну Дніпра:

- р. Горинь – с. Оженін, $F=5860 \text{ км}^2$;
- р. Случ – с. Данців, $F=2480 \text{ км}^2$;
- р. Сула – м. Лубни, $F=14200 \text{ км}^2$;
- р. Псел – с. Запсілля, $F=22400 \text{ км}^2$.

Місцевість даного району рівнинна, у верхній течії Горині – заболочена. Клімат району характеризується помірно-теплим влітку і помірно холодним зимою.

Осінній перехід середньодобової температури повітря через $0 \text{ }^\circ\text{C}$ відбувається в середньому в другій декаді листопаду. Ранній перехід може спостерігатися в кінці жовтня – початку листопаду, найпізніший – в середині січня.

Весною стійкий перехід середньодобової температури повітря через 0°C відбувається в березні.

Весною, як і восени, майже в усі роки спостерігаються череди теплих і холодних періодів, що утруднює визначення дати переходу температури повітря через $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Протягом холодного періоду випадає 20-30% річної кількості опадів: мінливість опадів цього періоду велика – від 20-60 мм до 130-200 мм.

Строки встановлення снігового покриву визначаються датами встановлення мінусових температур повітря, запізнюючись в порівнянні з ними на декілька днів. В середньому це відбувається в другій-третьій декаді листопаду. Перший сніговий покрив, що утворився, не завжди утримується всю зиму, звичайно він встановлюється і зникає кілька разів. Середня за багаторічний період висота снігового покриву складає 20-35 см. В багатосніжні зими висота снігового покриву може досягати 60-70 см. На більшій частині території максимальна висота снігу спостерігається, звичайно, в кінці лютого. Сходить сніговий покрив на більшій території району, в середньому, в третій декаді березня.

Максимальна глибина промерзання ґрунту на більшій частині території спостерігається в кінці лютого і складає в середньому 50-75 см.

Повне відтавання ґрунту відбувається в середньому в третій декаді березня – першій декаді квітня. Швидкість відтавання в 2-2,5 рази більше швидкості промерзання. Тривалість періоду відтавання коливається в межах 30-40 днів.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПРОГНОЗУ ШАРІВ СТОКУ ЗА ПЕРІОД ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ

В основу методу прогнозу об'єму весняного водопілля покладене рівняння водного балансу

$$Y = S_m + X - P_i - P_z - Z \quad (2.1)$$

де Y – шар стоку за водопілля, мм;

S_m – максимальний запас води в сніговому покриві і крижаній кірці, мм;

X – опади, що випали від дати максимальних снігозапасів до кінця сніготанення, мм;

P_i – втрати талих вод на інфільтрацію в ґрунт, мм;

P_z – втрати води на поверхневе затримання в безстічних поглибленнях, мм;

Z – втрати води на випаровування, зменшені на величину конденсації (є відносно невеликою величиною, тому їх можна не враховувати).

Основні втрати тало-дощових вод – це інфільтрація води в ґрунт, а поверхневе затримання виступає як супутній чинник, збільшуючи період просочування.

Рішення рівняння (2.1) виконується графічно і представляється залежністю шарів стоку за водопілля (Y) від запасів вологи на басейні ($S_m + X$) і очікуваних втрат води (P) у вигляді

$$Y = f[(S_m + X), P]. \quad (2.2)$$

Залежність втрат талого стоку від стокоутворюючих чинників – зволоження басейну і глибини промерзання ґрунтів на 10 лютого (L) така

$$P = f(W, L). \quad (2.3)$$

На водозборах розглядуваних річок втрати тало-дощових вод залежать в основному від вологості ґрунтів на початок весняного сніготанення та утримання води у безстічних пониззях і в приповерхневій лісовій підстилці. Вплив промерзання ґрунтів проявляється лише при незначних його значеннях, тобто в роки з м'якою зимою. Особливості формування водопілля тут пов'язані з зимовими відлигами, які приводять

до додаткового зволоження ґрунтів, перерозподілу снігу у полі і лісі, утворенню льодяної кірки.

Таким чином, для прогнозу шарів стоку за водопілля необхідно заздалегідь оцінити запаси вологи на басейні, ступінь його зволоження до початку водопілля і глибину промерзання ґрунтів.

2.1 Визначення запасів вологи на водозборі

Запаси вологи на басейні складаються з максимальних за зиму запасів води в сніговому покриві (S_m) і опадів (X_1).

Перші снігомірні зйомки на обмеженому числі станцій почали проводити з 1924 р. Перші рейкові спостереження за висотою снігу на майданчиках метеостанцій були організовані ще в дореволюційній Росії і збереглися до теперішнього часу, проте для гідрологічних цілей ці спостереження представляють мало інтересу. Вимірювання висоти і щільності снігу, розпочаті в 1924 р., вели по замкнутому трикутнику з периметром, рівним 3 км. Регулярні масові зйомки на мережі станцій ведуться з 1935 р. до 1963 р., їх проводили в полі по замкнутому трикутному маршруту з периметром, рівним 1 км. В період 1963-65 рр. замість них були введені лінійні маршрути протяжністю 2 км, а на декількох станціях і протяжністю 1 км.

Снігомірні зйомки в лісі здобули розвиток з 1940 р. Їх методика і число станцій також мінялися протягом часу. На початку 50-х років минулого століття були введені додаткові снігомірні зйомки в балках і ярах, а також зйомки запасів води в крижаній кірці на поверхні ґрунту. В 60-х роках минулого століття проводилася розробка і випробування принципово нового методу літакової «гамма-зйомки» запасів води в снігу, заснованої на вимірюванні природного «гамма-випромінювання» ґрунту.

Зміни в методиці спостережень, введені в 1963-65 рр., привели до певного порушення однорідності рядів даних про висоту снігового покриву, його густину і запаси води в сніговому покриві. Тому проблема ув'язки рядів спостережень, накопичених до 1963-65 рр., і даних за подальші роки займає важливе місце в обробці і аналізі матеріалів снігомірних спостережень по окремих станціях. Зміна числа снігомірних станцій і перенесення маршрутів істотно позначаються на точності і неоднорідності рядів даних про запаси води в сніговому покриві, усереднені по рейкових басейнах. Все це вимагає сумісного аналізу даних за різні періоди в цілях перевірки рядів на однорідність і оцінки точності визначення середніх для басейну запасів води в сніговому покриві.

Максимальні запаси води в сніговому покриві (S_m , мм) визначаються за даними пентадних снігозйомок в пунктах їх виміру (як середньоарифметичні значення в межах водозбору)

$$S_m = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m S_j, \quad (2.4)$$

де S_j - максимальні снігозапаси по окремих пунктах їх виміру у межах водозбору, мм;

m - кількість вимірювальних пунктів снігозапасів.

При визначенні снігозапасів S_m необхідно враховувати вплив зимових відлиг (як вказувалось, даний район характеризується нестійким заляганням снігового покриву).

Під час зимової відлиги накопичений сніг може частково або повністю розтанути: при цьому тало-дошові води витрачаються в трьох напрямках – утворюють зимовий паводок, втрачаються на інфільтрацію в ґрунт, збільшуючи при цьому запаси вологи в ньому, і, нарешті, деяка частина води не встигає потрапити в русло до настання похолодань, і замерзає в пониженнях мікрорельєфу на поверхні басейну. Ця частина води називається **залишковими запасами води** ($\Delta S_{зал}$). Величина $\Delta S_{зал}$, як правило, не вимірюється подальшими снігозйомками, тому її треба враховувати при підрахунку запасів води в сніговому покриві, спостереженими після відлиги.

Залишкові запаси вологи ($\Delta S_{зал}$) можна визначити як

$$\Delta S_{зал} = (S_3 + X_{відл}) - (Y_3 - \Delta W_3), \quad (2.5)$$

де S_3 – запаси води в сніговому покриві до початку зимового паводку, мм;

$X_{відл}$ - опади періоду зимової відлиги, мм;

Y_3 – шар стоку за період зимового паводку, мм;

ΔW_3 – інфільтрація талої води в ґрунт за період зимової відлиги, мм.

Шар води ΔW_3 , який йде на поповнення вологозапасів ґрунтів визначається як

$$\Delta W_3 = (S + X)_{відл} - Y_3, \quad (2.6)$$

де S – шар талої води, що утворилася за відлигу, мм;

$(S + X)_{відл}$ – визначається по шарах стоку за період паводку Y , утвореного відлигою і втратами води P .

Опади періоду весняного танення снігу X , як правило, не відомі на дату складання гідрологічного прогнозу, тому їх, зазвичай, враховують у вигляді середньобагаторічного значення або орієнтуючись на метеорологічний прогноз опадів.

2.2 Визначення запасів вологи у ґрунтах

Як характеристика зволоження ґрунтів в методиці довгострокового прогнозу шарів весняного стоку прийняті запаси продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту в передзимовий період з поправкою на їх поповнення в період зимової відлиги.

Запаси продуктивної вологи в шарі 100 см ґрунту розраховуються по опадах, температурі і відносній вологості повітря. Останні два елементи виражено через випаровування E_0 .

Випаровування E_0 (мм/міс) приймається рівною випаровуванню з водної поверхні, яке розраховується за формулою Н.Н.Іванова:

$$E_0 = 0.0018(25 + \bar{\Theta})^2(100 - \bar{e}) \quad (2.7)$$

де \bar{e} - середня місячна відносна вологість повітря, мм;

$\bar{\Theta}$ - середня місячна температура повітря, $^{\circ}\text{C}$.

Випаровування E_0 обчислюється за допомогою номограми формули (2.7) по значеннях температури і вологості повітря для літно-осінніх місяців – по декадних їх значеннях. Декадні значення випаровування отримуються діленням на «3» величини випаровування, знятої з номограми формули (2.7) по декадних значеннях температур ($\bar{\Theta}$ $^{\circ}\text{C}$) і відносної вологості повітря \bar{e} , мм.

Розрахунок вологості ґрунтів ведеться з травня попереднього року до декади стійкого переходу температури повітря через 0°C восени. При цьому початковий запас вологи приймається рівним 150 мм ($W_{поч} = 150\text{мм}$). Ця величина є нормою запасу вологи в ґрунтах, що складають розглядувані водозбори на кінець квітня.

Для років із зимовими відлигами, що супроводжуються утворенням паводків з шаром 5 мм і більше, в запаси продуктивної вологи вводиться поправка на поповнення запасів вологи в ґрунтах в період відлиги (ΔW_3)

$$\Delta W_3 = (S + X)'_{відл} - Y_3, \quad (2.8)$$

де $(S + X)'_{відл}$ - запаси вологи, витраченої при проходженні паводку, визначені зворотнім розрахунком із залежності $Y = f[(S_m + X), P]$, мм;

Y_3 - спостережений шар стоку за зимовий паводок, мм.

Можливі втрати тало-дощових вод за період зимового паводку (P , мм) оцінюються при визначенні поправок на поповнення запасів вологи на басейні ($\Delta S_{зал}$) і поповнення продуктивної вологи в ґрунті (ΔW_3), як функція глибини промерзання ґрунту (L , см) і передзимового зволоження ґрунтів (W , мм).

2.3 Визначення глибини промерзання ґрунтів

Глибина промерзання ґрунтів (L , см) визначається сумою мінусових температур, проникаючих в ґрунт ($\sum \Theta_{-n}^{\circ C}$):

$$L = f(\sum \Theta_{-n}). \quad (2.9)$$

Для розрахунку ($\sum \Theta_{-n}$) рекомендується номограма залежності суми мінусових температур, проникаючих в ґрунт за декаду (Θ_{-}) від середніх декадних температур повітря ($\Theta_{-сер.дек.}^{\circ C}$) і висоти снігового покриву (h , см).

Середня висота снігу розраховується як середнє значення трьох чисел - висоти снігу на кінець попередньої, середину і кінець поточної декад.

Сума мінусових температур, проникаючих в ґрунт ($\sum \Theta_{-n}$), визначається як сума декадних величин, починаючи від декади переходу середньодекадної температури повітря через $0^{\circ C}$ у бік мінусових значень до 10 лютого.

У випадках наявності відлиги з плюсовою середньодекадною температурою повітря остання, незалежно від висоти снігу, віднімається із ($\sum \Theta_{-n}$). Розрахунок рекомендується проводити у формі таблиці.

2.4 Розрахунок можливих втрат тало-дощових вод весною

Задача прогнозування весняного стоку річок потребує визначення водопоглинаючої спроможності річкового басейну перед початком сніготанення і передобчислення втрат води в період розвитку весняного

водопілля. Відомо, що сумарні втрати води складаються з втрат на інфільтрацію в ґрунт, поверхневої затримки і випаровування.

Втрати талої води на **випаровування** у період формування весняного водопілля оцінюються по розміру інтенсивності випаровування з підстильної поверхні.

Розмір **поверхневої затримки** складається з ємності різноманітних знижень рельєфу і мікрорельєфу, у лісовій підстилці, перехоплення опадів рослинністю.

Втрати води на **інфільтрацію** визначаються головним чином передвесняною вологістю ґрунтів (W) і глибиною їх промерзання (L). При незначному промерзанні ґрунтів її вплив на водопоглинаючу спроможність ґрунтів проявляється при невеликих значеннях, тому що виникають додаткові втрати води на інфільтрацію на ділянках з слабким промерзанням ґрунтів.

В методиці довгострокового прогнозу шарів стоку весняного водопілля можливі втрати води визначаються як функція запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунтів на розрахункову дату (W) і максимальної глибини їх промерзання на 10 лютого (L) за залежністю вигляду

$$P = f(W, L). \quad (2.10)$$

2.5 Оцінка прогнозу. Форми випуску довгострокових гідрологічних прогнозів

Оцінка гідрологічного прогнозу виконується шляхом співставлення похибки прогнозу з допустимою похибкою. Прогноз вважається *справджуваним*, якщо абсолютна величина його похибки менша або дорівнює допустимій

$$\delta \leq \delta_{\text{дон}}. \quad (2.11)$$

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

$$\delta = Y_i - Y'_i. \quad (2.12)$$

Допустима похибка прогнозу $\delta_{\text{дон}}$ - це ймовірне відхилення прогнозованої величини від середнього значення (норми) гідрологічної величини

$$\delta_{\text{дон}} = \pm 0.674 \cdot \sigma \quad (2.13)$$

де σ - середнє квадратичне відхилення значення прогнозної величини від її середньобогаторічного значення

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad (2.14)$$

Y_i – значення прогнозної величини;

\bar{Y} – середньобогаторічне значення прогнозної величини;

n – кількість членів ряду.

Визначення $\delta_{\text{доп}}$ за формулою (2.13) відбувається звичайно при довгострокових прогнозах водного режиму (наприклад, прогноз шарів стоку чи максимальних витрат води весняного водопілля).

Представлення прогнозів для споживачів має бути вірним, чітким для розуміння, наглядним, відповідати сучасному рівню, давати представлення про можливі похибки прогнозу, а також про ймовірність настання гідрологічного явища у багаторічному періоді.

Перша форма випуску прогнозу (основна форма): указуються значення прогнозованої величини і діапазон, рівний допустимій похибці прогнозу: $Y' \pm \delta_{\text{доп}}$. Наприклад, шар стоку весняного водопілля очікується рівним 60 мм при ймовірній похибці ± 10 мм.

Друга форма випуску прогнозу. Прогноз випускається у вигляді діапазону очікуваної величини з вказівкою ймовірності того, що ця величина буде в зазначеному діапазоні. Наприклад, з ймовірністю, що дорівнює 50%, стік очікується в межах 50-70 мм.

Розрахунки виконуються, виходячи з посилки, що похибки прогнозу мають розподіл близький до нормального. Тоді їх ймовірність визначається як

$$\delta_p = k_p S_{Y-Y'}, \quad (2.15)$$

де k_p - нормоване відхилення величини при заданій забезпеченості P (визначається за спеціальною таблицею) [2,3];

$S_{Y-Y'}$ - похибка окремого прогнозу, що залежить від точності методики S та нормованого відхилення основної незалежної змінної x . Для визначення $S_{Y-Y'}$ використовується формула

$$S_{Y-Y'} = S \cdot f\left(\frac{\Delta}{\sigma_x}, n\right), \quad (2.16)$$

де S – визначається за (2.10);

$f\left(\frac{\Delta}{\sigma_x}\right)$ – функція, яка визначається за спеціальними таблицями [2,3];

$\Delta = X_i - \bar{X}$ – розраховується для основної змінної X , за якою випускається прогноз;

σ_x – середнє квадратичне відхилення для величини X ;

n – кількість членів ряду.

При ймовірності влучення прогнозованої величини в заданий діапазон, рівний 50%, крайні величини діапазону знаходяться за таким виразом:

$$Y' + 0.674 \cdot S_{Y-Y'}. \quad (2.17)$$

Ймовірність того, що дійсна величина, що прогнозується за даною методикою не вийде за ці межі, дорівнює 50 %, а забезпеченість крайніх значень діапазону складає 75 і 25 %.

Третя форма випуску прогнозу гідрологічного явища полягає у вказівці ряду величин різної забезпеченості (*ймовірнісна форма прогнозу*). Наприклад, весняний стік очікується 50 мм з забезпеченістю 75 %, 60 мм – з 50 % і 70 мм – з забезпеченістю 25 % і т.д.

Визначення крайніх значень прогнозної величини у прийнятому діапазоні виконується за формулою:

$$Y_p = Y' \pm \delta_p = Y' \pm k_p \cdot S_{Y-Y'}, \quad (2.18)$$

де Y' - значення величини Y , яке знімається з прогнозної залежності;
 δ_p - похибка заданої забезпеченості P %.

Величина P дорівнює різниці $P_2 - P_1$, тобто різниці забезпеченості нижнього та верхнього значень прогнозної величини. Похибка $P=50$ % називається ймовірною.

Прогноз в ймовірній формі можна також виразити у вигляді кривої забезпеченості прогнозних величин.

3 СХЕМА ВИПУСКУ ПРОГНОЗУ ШАРІВ СТОКУ І МАКСИМАЛЬНИХ РІВНІВ ВОДИ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ. ОЦІНКА ПРОГНОЗУ. ФОРМА ВИПУСКУ ПРОГНОЗУ

Дати випуску прогнозів шарів стоку і максимальних рівнів води весняного водопілля, що встановлені гідрометцентром України такі:

10 лютого – попередній прогноз;

20 лютого – основний прогноз;

28 лютого – уточнюючий прогноз;
дата настання максимальних запасів води в сніговому покриві.

Вихідні дані:

1. Дані снігомірних зйомок.
2. Середньодекадні значення температур і відносної вологості повітря з травня попереднього по лютий поточного року, включно.
3. Декадні суми опадів з травня попереднього року по дату випуску прогнозу поточного.
4. Хід стоку за зимовий період поточного року.
5. Нормальні добавки опадів за період від дати випуску прогнозу до кінця сніготанення.
6. Начальне значення запасу продуктивної вологи в ґрунті.

3.1 Обробка вихідної інформації

1. Визначення запасів вологи в сніговому покриві і опадів, як середніх по басейну, шарів стоку за зимові паводки, температури і відносної вологості повітря (форма таблиці для розрахунку метеорологічних факторів наведена в табл.1).

2. Побудова комплексного графіка ходу гідрометеорологічних характеристик.

3. Аналіз умов формування водопілля. При аналізі особлива увага надається впливу зимових відлиг на зміну запасів води на басейні і запасів продуктивної вологи в ґрунтах.

3.2 Розрахунок основних факторів втрат тало-дощових вод на дату випуску прогнозу

3.2.1 Визначення запасів продуктивної вологи в 100 см шарі ґрунту на дату випуску прогнозу

- Розраховується випаровування за формулою (2.6), починаючи з травня по декаду переходу температури повітря через 0°C у бік мінусових температур повітря (розрахункова дата), по номограмі (рис.1). Вихідні дані (температура і відносна вологість повітря) та порядок розрахунку наводяться в табл.2.

- Визначається вологість ґрунтів на розрахункову дату (W_k) шляхом послідовного розрахунку, починаючи з травня попереднього року (рис.2).

Таблиця 1– Середні по басейну опади, температура і відносна вологість повітря

Назва метеорологічного елемента	Місяць/декада															
	05	06	...	10			11			12			01			...
				1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
Температура повітря, $\bar{\theta}$ °C																
Відносна вологість повітря, \bar{e} , мм																
Опади, X , мм																
Запаси води в сніговому покриві, S , мм																
Висота снігового покриву, h , см																

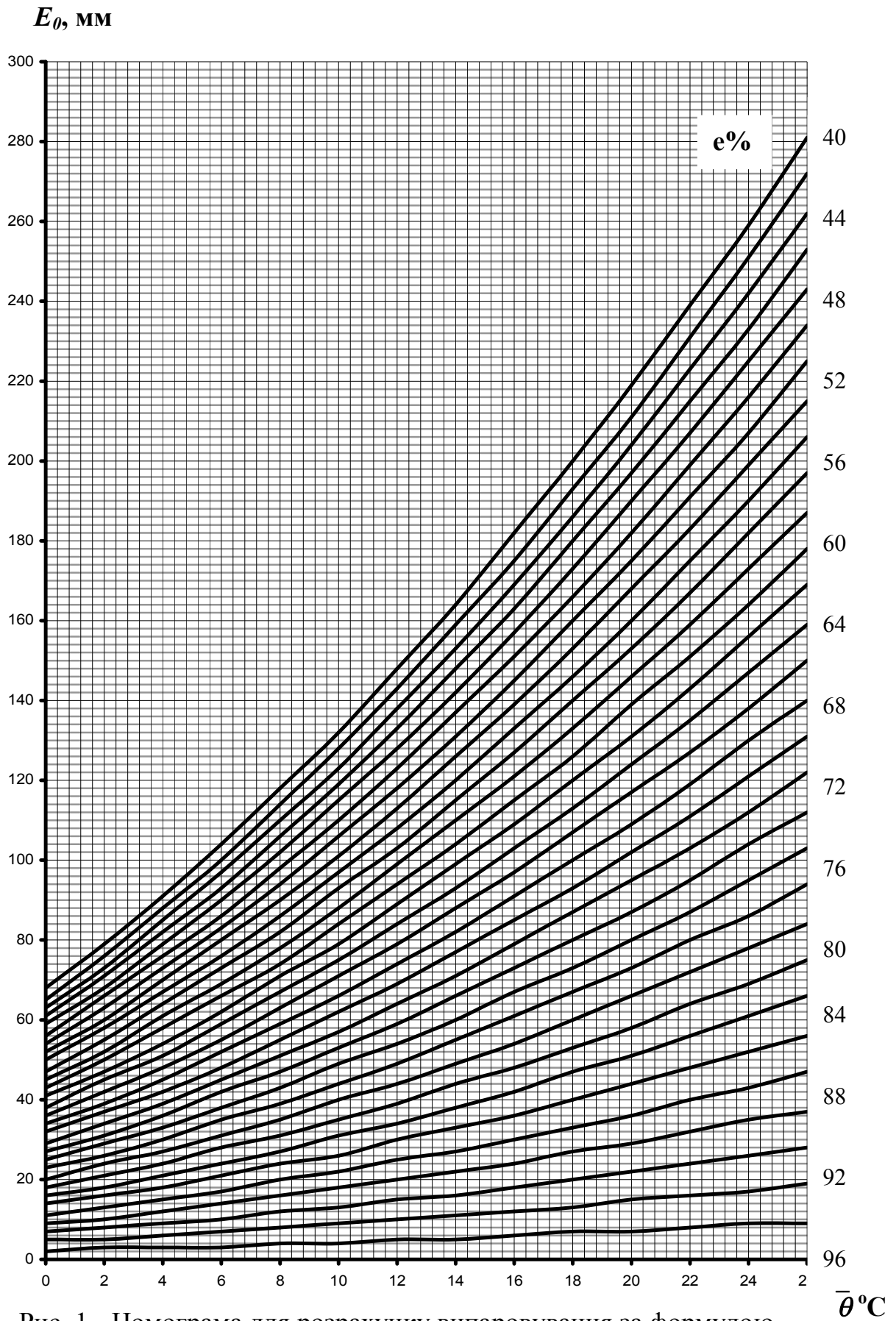


Рис. 1 - Номограма для розрахунку випаровування за формулою

$$H.H. \text{Іванова: } E_0 = 0.0018(25 + \bar{\theta})^2(100 - \bar{e})$$

Таблиця 2 – Розрахунок запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту

Місяць	Декада	Температура повітря, $\bar{\Theta}$ °С	Відносна вологість повітря, \bar{e} , мм	Випаровування, E_0 , мм/міс	Опади, X , мм	Запаси продуктивної вологи на початкову дату, $W_{поч}$, мм	$W_{поч} + X$, мм	Запаси продуктивної вологи на дату випуску прогнозу, W_k , мм
05						150		
06								
07								
08								
09								
10	1							
10	2							
10	3							
11	1							
11	2							
11	3							
...	...							

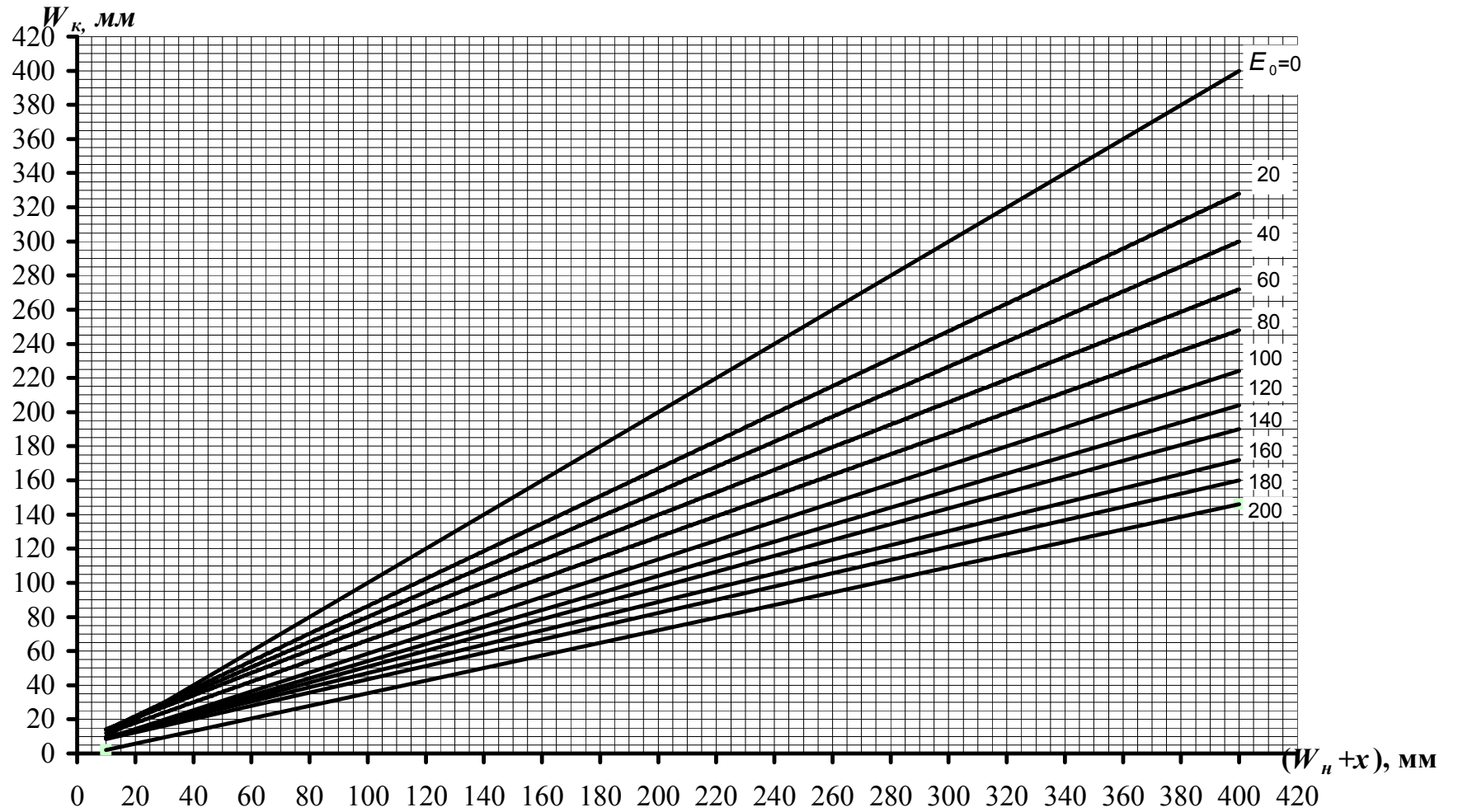


Рис. 2- Залежність вологості ґрунту в кінці розрахункового періоду (W_k) від початкової вологості ($W_{нач}$), опадів (X) і випаровування (E_0)

Вихідний матеріал: початковий запас вологи в ґрунті ($W_{поч}=150$ мм), опади X і випаровування E_0 (див.табл2).

3.2.2 Розрахунок глибини промерзання ґрунтів

- Розраховується сума мінусових температур повітря, проникаючих в ґрунт ($\sum \Theta_{-n}$) за номограмою (рис.3)

$$\Theta_{-n} = f(\Theta_{-сер.дек.}, h) \quad (3.3)$$

де $\Theta_{-сер.дек.}$ - середня декадна температура повітря, $^{\circ}\text{C}$;

h – висота снігу, см.

- Визначається максимальна глибина промерзання ґрунтів (рис.4)

$$L = f(\sum \Theta_{-n}). \quad (3.4)$$

Розрахунок глибини промерзання ґрунтів (L , см) наводиться в табл.3.

3.2.3 Розрахунок можливих втрат води

Можливі втрати тало-дощових вод (P) визначаються за даними про запаси продуктивної вологи в ґрунті (W_k) і глибину промерзання ґрунтів (L) (рис.5).

3.3 Випуск прогнозу шарів стоку за період весняного водопілля

Випуск прогнозів шарів стоку весняного водопілля ведеться в табл.4.

1) Визначаються запаси вологи на басейні за даними про снігозапаси і опади $(S_m + X)_{відл}$, накопичених на басейні на початок зимової відлиги.

Запаси вологи, що залишилися після зимових паводків, розраховуються за формулою:

$$\Delta S_{зал} = (S_3 + X)_{відл} - (Y_3 + \Delta W_3), \quad (3.5)$$

де $(Y_3 + \Delta W_3)$ - розраховані запаси вологи (рис.6) за даними про стік за зимовий паводок (Y_3) і запаси продуктивної вологи на розрахункову дату (W_k).

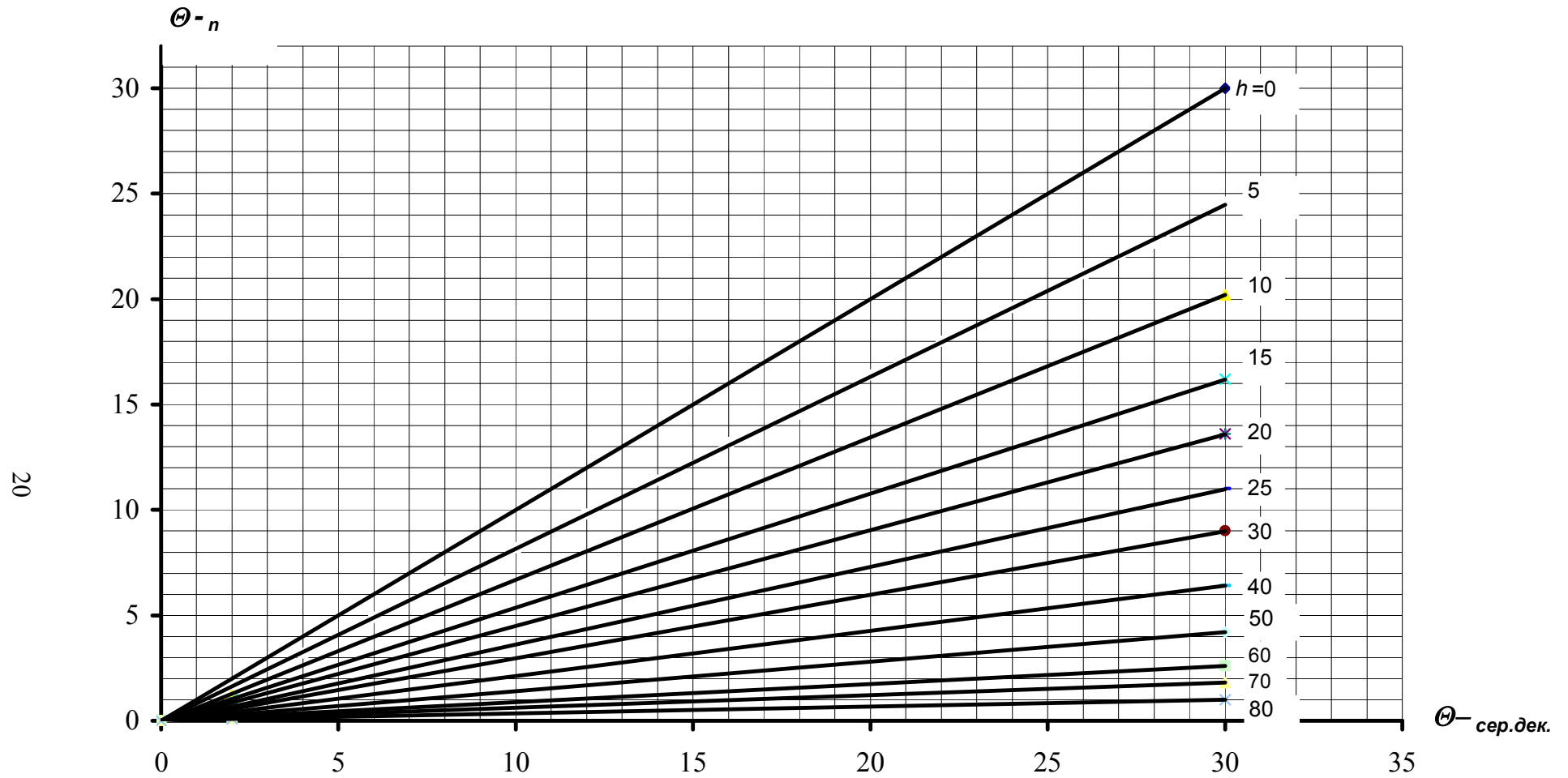


Рис.3 - Номограма для визначення проникаючих в ґрунт сум мінусових температур повітря залежно від середніх декадних величин мінусових температур повітря ($\bar{\Theta}_{\text{сер.дек.}}$, °C) і висоти снігового покриву (h , см)

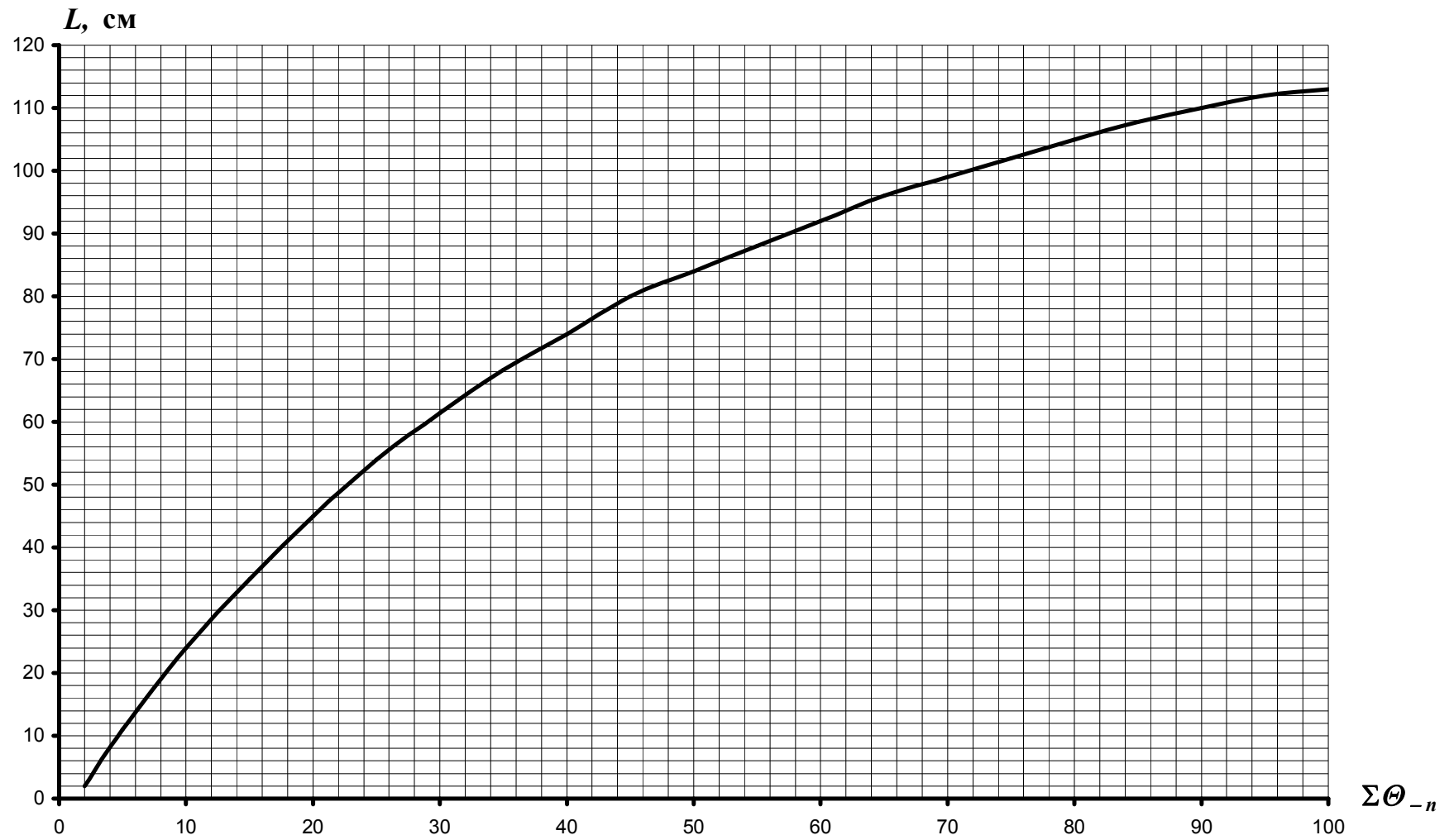


Рис.4 - Залежність глибини промерзання ґрунту (L) від суми мінусових температур повітря $\Sigma\Theta_{-n}$

Таблиця 3 – Розрахунок глибини промерзання ґрунтів

Найменування елемента	Місяць/декада											
	11			12			01			02		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Висота снігу, h , см												
Середня за декаду мінусова температура повітря, $\bar{\Theta}_{-сер.дек.}$, °С												
Θ_{-n} , °С												
$\sum \Theta_{-n}$, °С												
L , см												

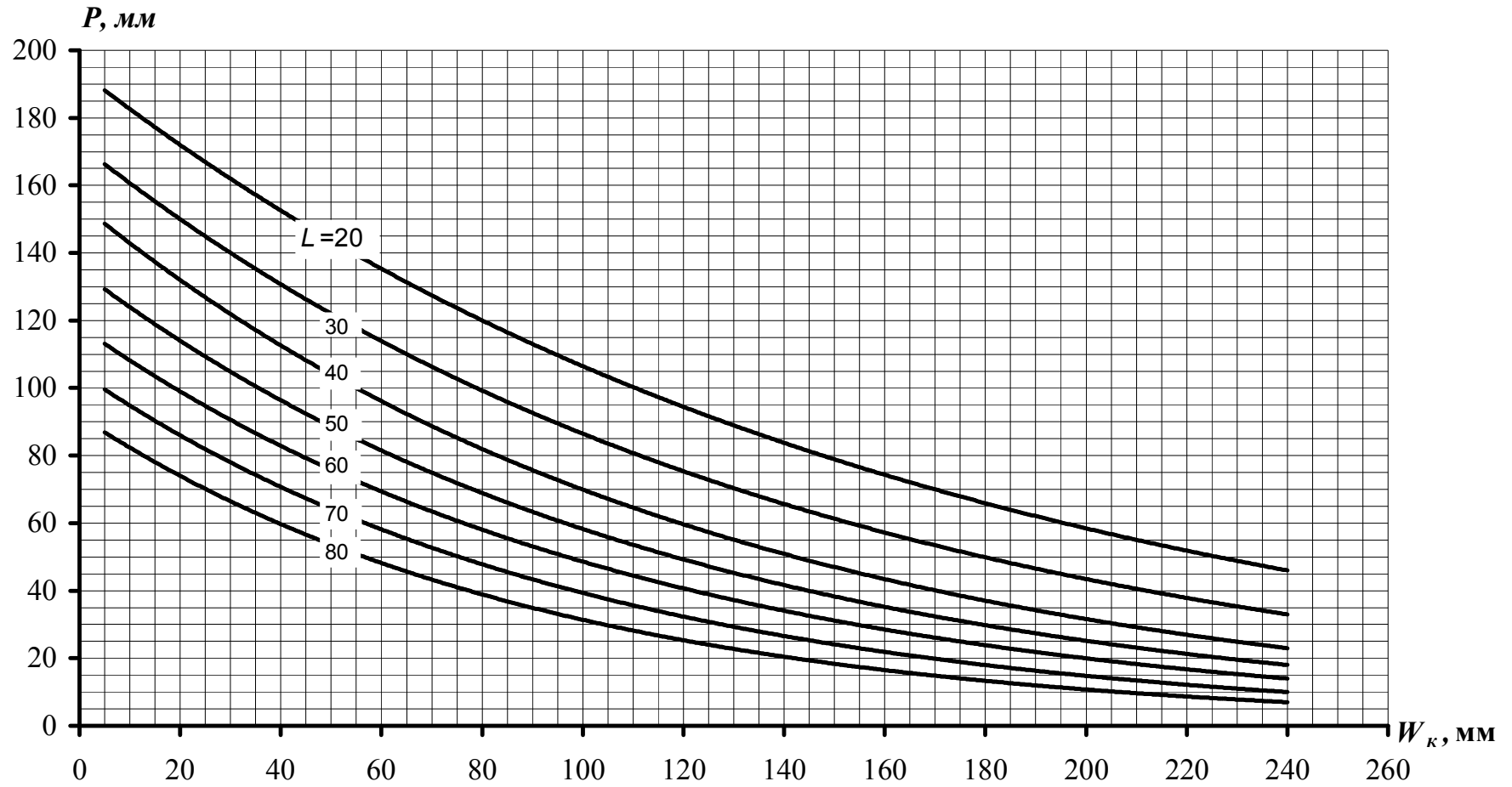


Рис. 5 - Залежність можливих втрат талого стоку (P) від передзимових запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту (W_k) і максимальної глибини промерзання ґрунту на 10 лютого (L , см)

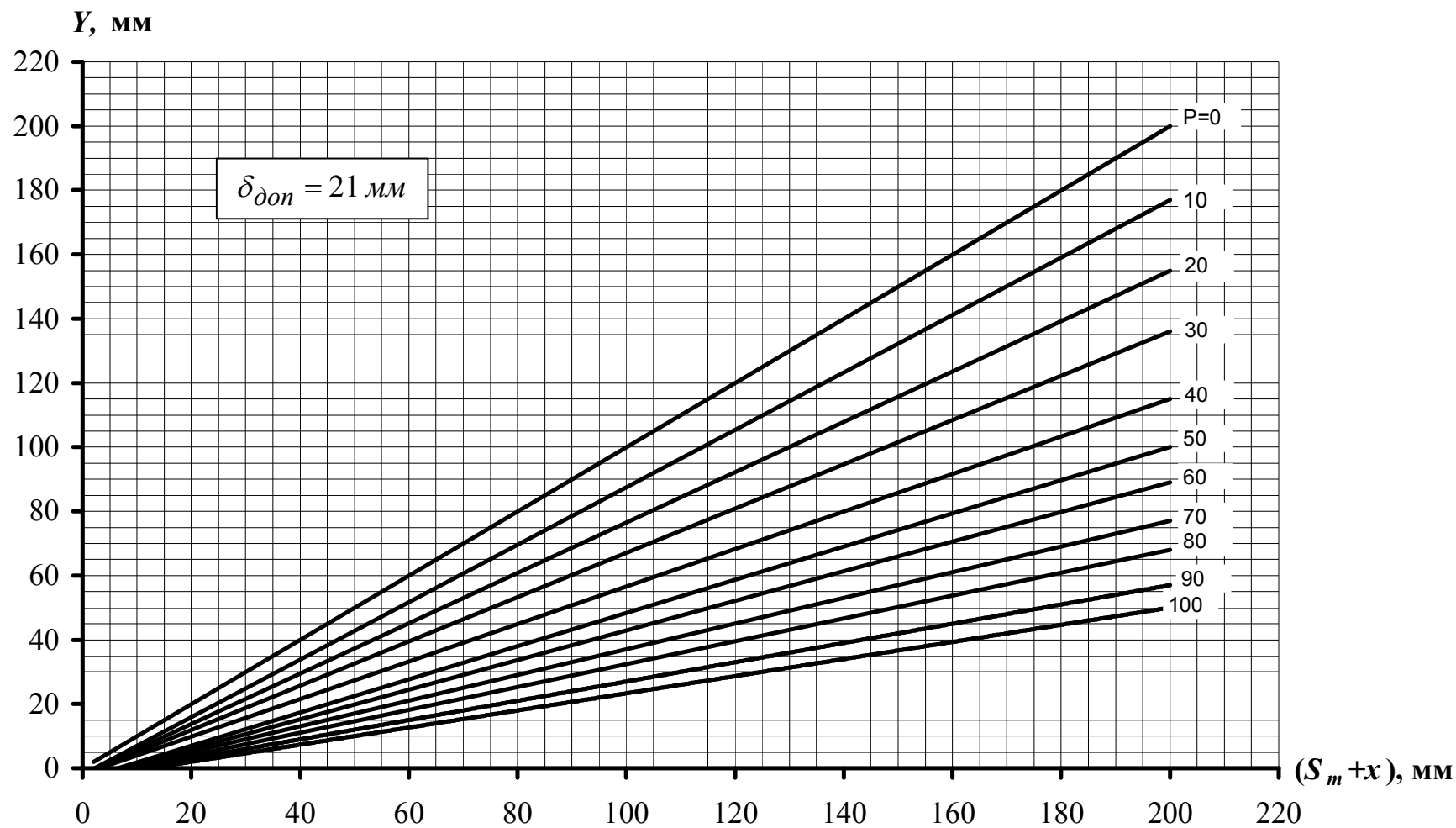


Рис. 6 - Залежність шарів стоку весняного водопілля (Y) від запасів вологи на басейні ($S_m + X$) і можливих втрат води (P , мм)

2) Визначаються запаси вологи на басейні на дату випуску прогнозу. Підраховується сума максимальних запасів води в сніговому покриві після зимової відлиги (S) з урахуванням залишкових запасів ($\Delta S_{зал}$), опадів (X) і нормальної добавки опадів, які ще можуть випадати ($\Delta \bar{X}$). Нормальні добавки опадів ($\Delta \bar{X}$) надані в табл.5.

3) Розраховуються поправки на поповнення запасів вологи в ґрунті в період зимової відлиги (ΔW_3)

$$\Delta W_3 = (S_m + X)'_{відл} - Y_{відл}, \text{ мм} \quad (3.1)$$

де $(S_m + X)'_{відл}$ - фактично витрачена кількість вологи на формування зимового паводку, що визначається за даними можливих втрат і шару стоку за відлигу зворотнім шляхом (див. рис.6). Можливі втрати визначаються за рис.5. Вихідні дані: глибина промерзання ґрунтів перед відлигою (L) і запаси вологи в ґрунті (W_k).

4) Обчислюються запаси продуктивної вологи в 100 см шарі ґрунтів на дату випуску прогнозу за формулою:

$$W_k = W_{noch} + \Delta W_3, \text{ мм}, \quad (3.2)$$

де W_{noch} – запаси вологи в ґрунті на декаду переходу температури повітря через 0°C до мінусових значень восени, мм.

5) Визначаються очікувані величини шару стоку за водопілля (Y'), що здійснюється згідно (2.1) по залежності (див.рис.6). Вихідні дані: запаси вологи на басейні ($S_m + \Delta S_{зал} + X + \Delta \bar{X}$) і можливі втрати (P) [3 §190-197, 205-209].

6) Визначення середньої квадратичної похибки даного прогнозу [3 §193]

$$S'_{Y-Y'} = f\left(\frac{\Delta}{\sigma_x}, n\right) \cdot \bar{S} \quad (3.6)$$

де \bar{S} - середня квадратична похибка зв'язку $Y = f[(S_m + X), P]$ (середня квадратична похибка перевірених прогнозів).

Статистичні параметри графіка зв'язку (див.рис.6) надані в табл.6 і табл.7.

7) Визначення похибки прогнозу:
- ймовірної [3 §192]

$$\delta_{50\%} = 0.674 \cdot S'_{Y-Y'}; \quad (3.7)$$

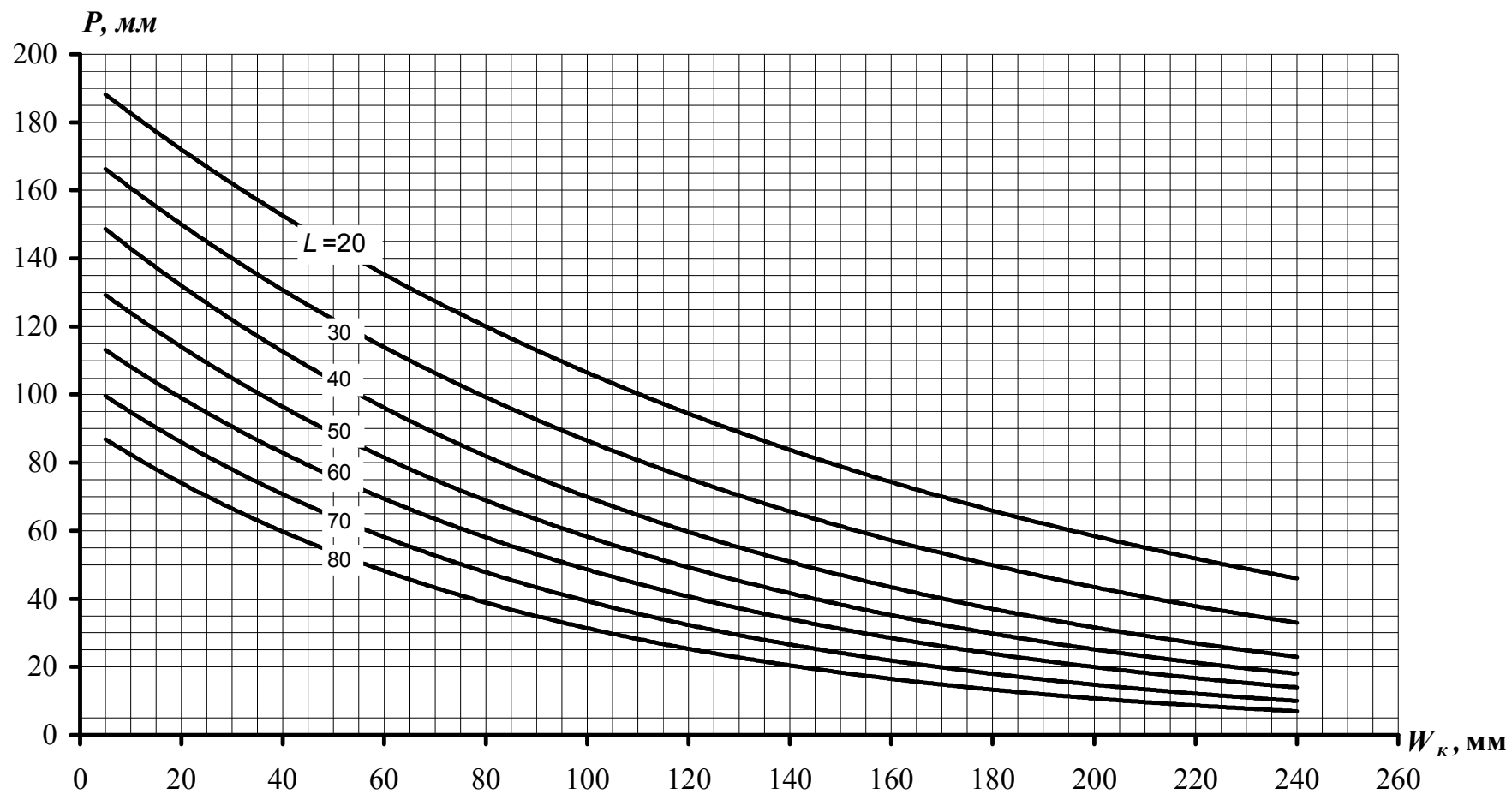


Рис. 5 - Залежність можливих втрат талого стоку (P) від передзимових запасів продуктивної вологи в метровому шарі ґрунту (W_k) і максимальної глибини промерзання ґрунту на 10 лютого (L , см)

Таблиця 5 – Станції, дані яких використовуються для складання прогнозу і значення нормальних добавок опадів

Річка-пункт	Метеорологічна станція	Нормальні добавки опадів ($\Delta\bar{X}$), мм		
		10.02	20.02	28.02
Псел-с.Запсілля	Суми	47	31	27
	Гадяч			
	Великий Поділ			
	Білополля			
Сула- м.Лубни	Конотоп	50	33	26
	Прилуки			
	Лубни			
	Гребінка			
	Ромни			
	Нежин			
Горинь-с.Оженін	Оженін	40	30	19
	Ямпіль			
	Шепетівка			
Случ-с.Данців	Данцев	37	25	17
	Велика Клітня			
	Шепетівка			
	Хмельник			

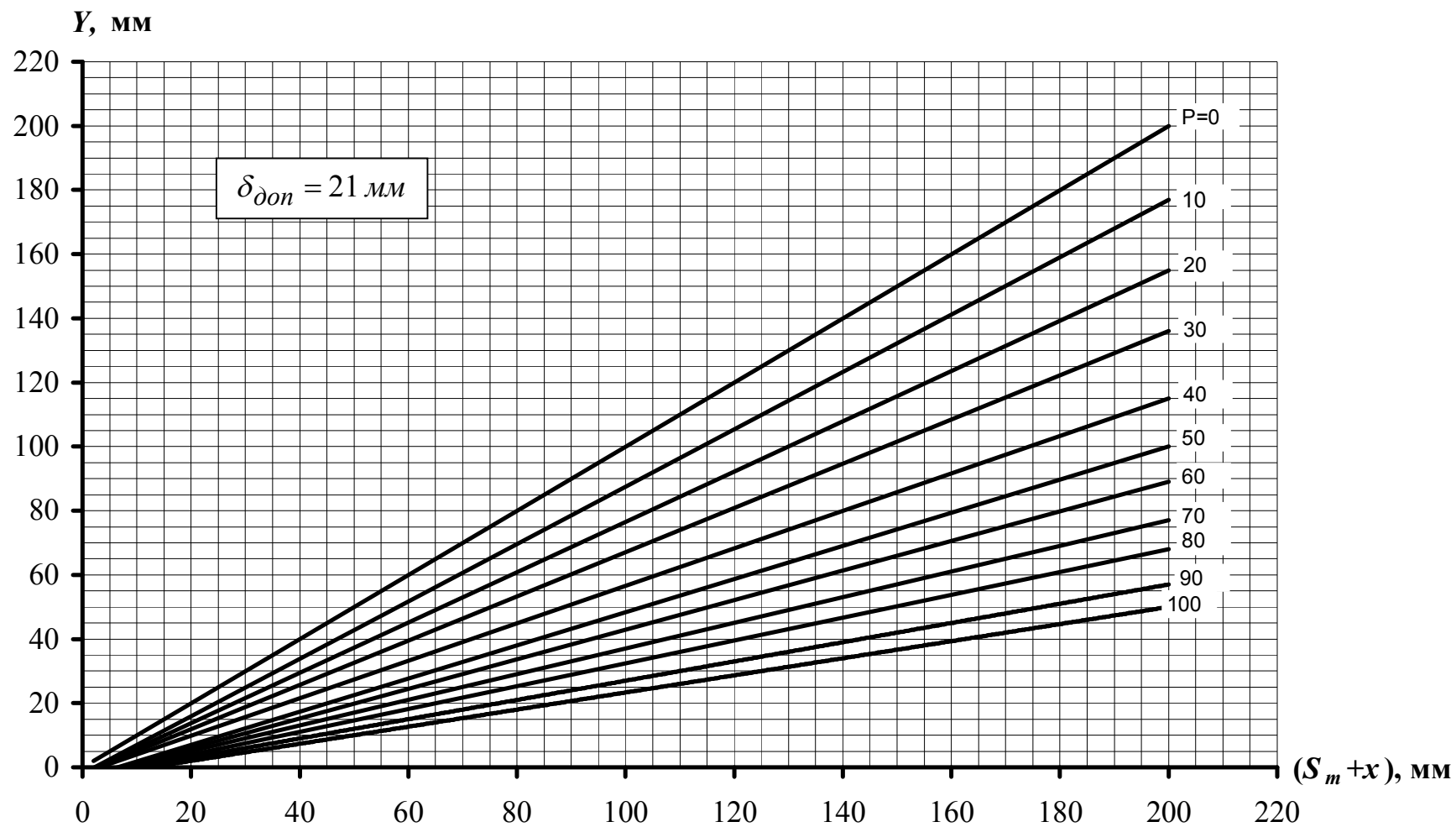


Рис. 6 - Залежність шарів стоку весняного водопілля (Y) від запасів вологи на басейні ($S_m + X$) і можливих втрат води (P , мм)

Таблиця 6 - Статистичні дані для розрахунку ймовірної похибки прогнозу шарів стоку і максимального рівня води весняного водопілля

Річка-пункт	\bar{S}		$\bar{\sigma}_x$		Норма аргумента \bar{x}		Кількість років спостережень	Багаторічні дані		
	20.02	28.02	20.02	28.02	20.02	28.02		макс.	середн.	мін.
<i>l</i>	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
для залежності $Y = f[(S_m + X_1); P]$ (рис.6)										
Псел-с.Запсілля	18	17	44	44	92	95	24	103	45	10
Сула-м.Лубни	24	22	46	42	96	95	24	141	49	12
Горинь-с.Оженін	25	25	25	27	80	76	23	83	49	16
Случ-с.Данців	16	13	28	29	72	72	24	87	40	4

30

Продовження табл.1

Річка-пункт	\bar{S}	$\bar{\sigma}_x$	Норма аргументу \bar{x}	Кількість років спостережень	Багаторічні дані			Величини в попередньому році
					макс.	середн.	мін.	
<i>l</i>	12	13	14	15	16	17	18	19
для залежності $H_m = f(Y)$ (рис.7- рис.10)								
Псел-Запсілля	63	24	49	47	739	542	240	
Сула-Лубни	27	28	49	62	475	307	174	
Горинь-Оженін	23	22	40	45	325	233	160	
Случ-Данців	48	24	35	49	516	334	150	

Таблиця 7 – Значення $f\left(\frac{\Delta}{\sigma_x}, n\right)$

Кількість членів ряду, n	Значення основного аргумента, Δ/σ_x						
	0	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
10	1.05	1.05	1.1	1.15	1.22	1.31	1.41
15	1.04	1.05	1.06	1.11	1.15	1.22	1.29
20	1.03	1.03	1.05	1.08	1.12	1.17	1.22
25	1.021	1.025	1.04	1.06	1.10	1.14	1.18
30	1.015	1.020	1.03	1.05	1.08	1.11	1.15
40	1.011	1.015	1.025	1.04	1.06	1.09	1.12
50	1.010	1.012	1.020	1.03	1.05	1.07	1.11
60	1.008	1.010	1.015	1.025	1.04	1.06	1.08

- заданої забезпеченості

$$\delta_{P\%} = k_P \cdot S'_{Y-Y'} \quad (3.8)$$

де P – забезпеченість ($P=25\%$, $P=50\%$, $P=75\%$, $P=90\%$) – табл.8.

8) Випуск прогнозу шарів стоку заданої забезпеченості (ймовірності):

- в основній формі з вказівкою очікуваної величини і ймовірної похибки прогнозу;

- у формі ймовірного прогнозу [3 §205-209] - табл.9.

$$Y_P = Y' + \delta_{P\%}. \quad (3.9)$$

3.4 Випуск прогнозу максимальних рівнів води весняного водопілля

Основним прогностичним зв'язком для випуску прогнозу максимального рівня води весняного водопілля є залежність максимального рівня (H_m , см) від шарів стоку за водопілля (Y , мм) (рис.7-10)

$$H_m = f(Y). \quad (3.10)$$

Схема випуску прогнозу H_m .

Вихідним матеріалом для випуску прогнозу максимального рівня води весняного водопілля є очікувана (прогнозна) величина шару стоку за водопілля (Y' , мм).

Дати випуску прогнозу максимального рівня води співпадають з датами випуску прогнозу шарів стоку (10, 20, 28 лютого), форми прогнозу максимального рівня води аналогічні формам прогнозу шарів стоку (табл.4).

3.5 Перевірка прогнозів

Виконується перевірка прогнозу максимальних рівнів води та шарів стоку весняного водопілля на річках, аналіз причин похибок прогнозів, (табл.10).

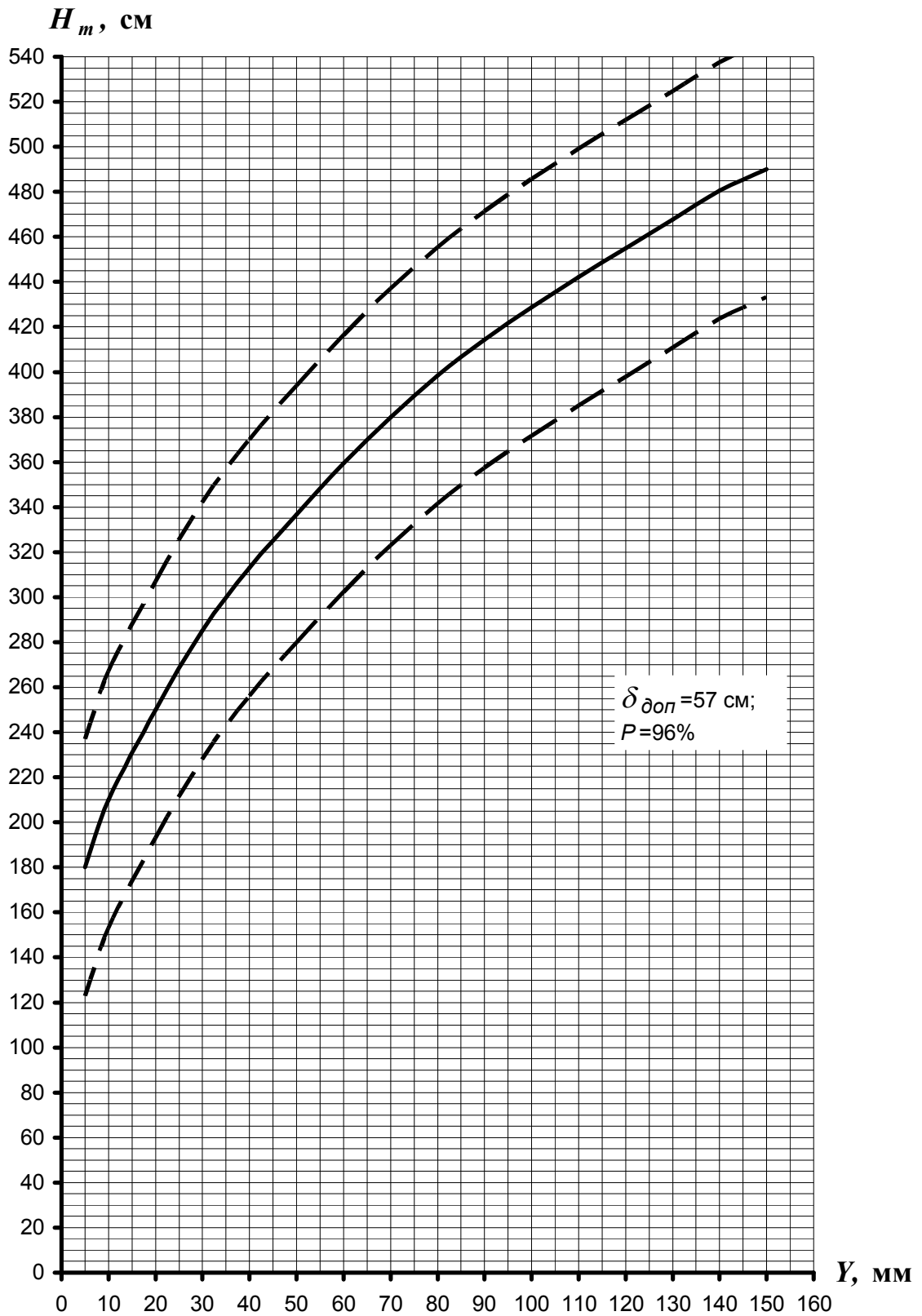


Рис.7 - Залежність максимальних рівнів води весняного водопілля (H_m) від шарів стоку весняного водопілля (Y), р.Сула-м.Лубни

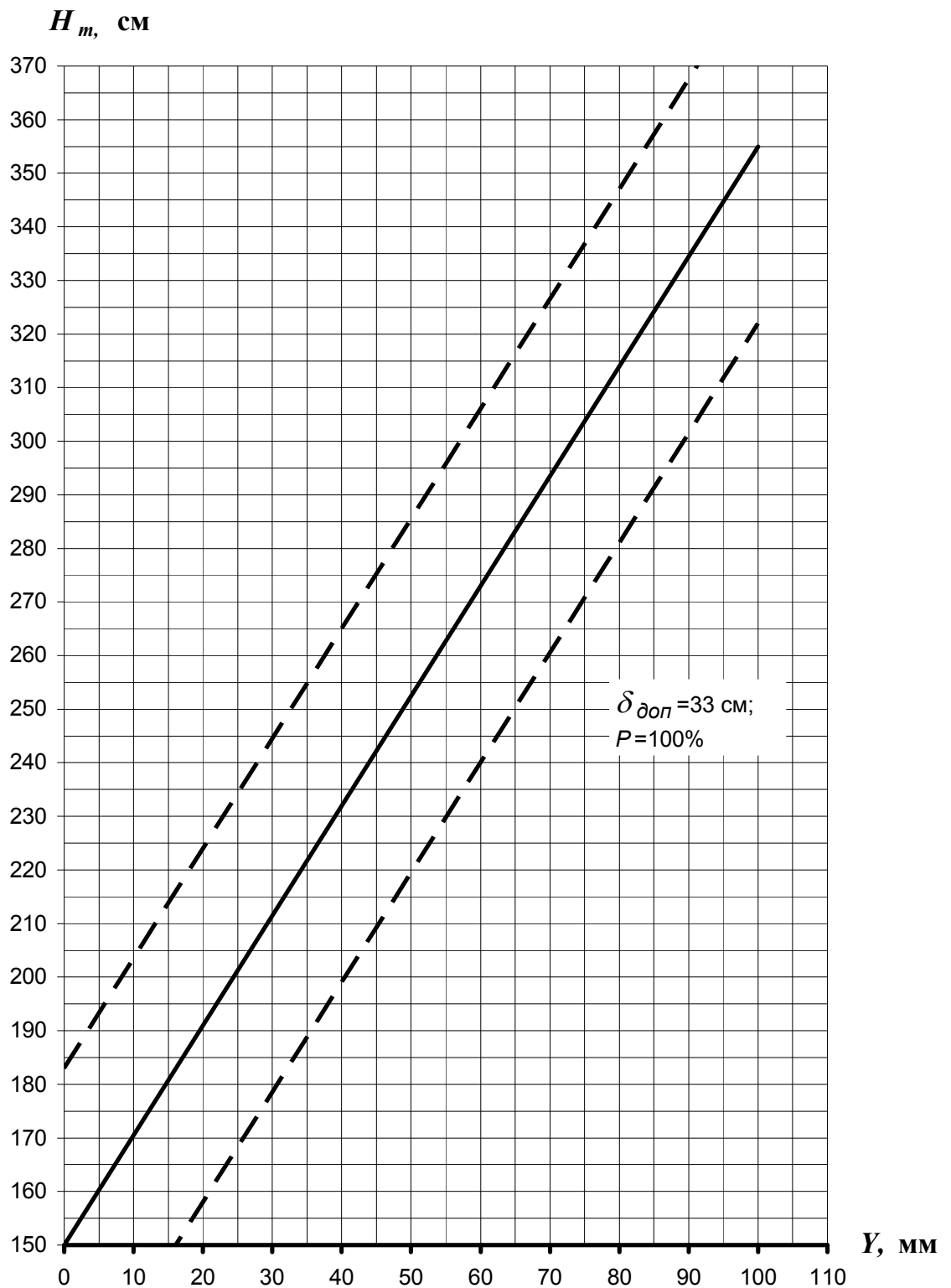


Рис.8 - Залежність максимальних рівнів води весняного водопілля (H_m) від шарів стоку весняного водопілля (Y), р.Горинь-с.Оженін

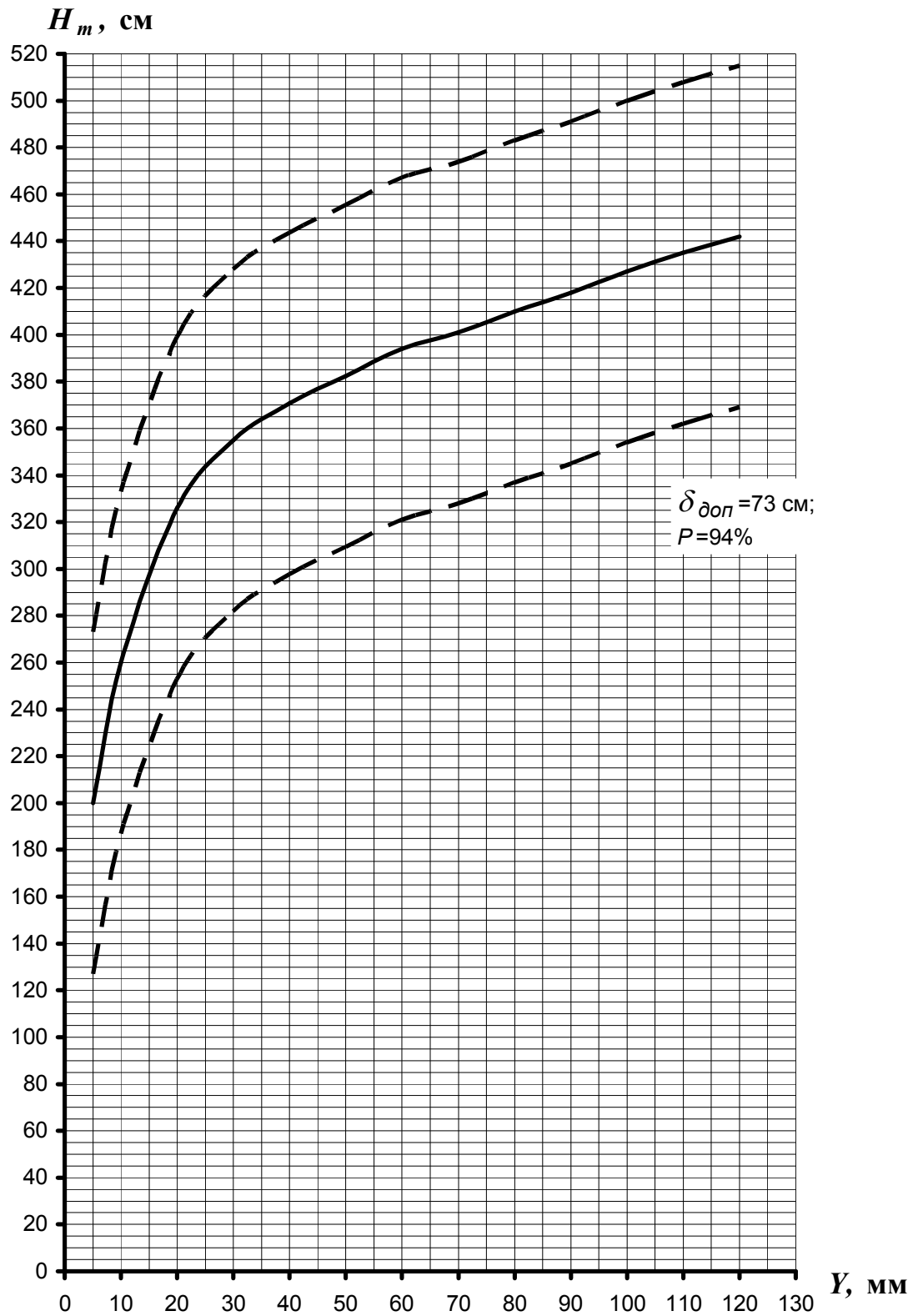


Рис.9 - Залежність максимальних рівнів води весняного водопілля (H_m) від шарів стоку весняного водопілля (Y), р.Случ-с.Данців

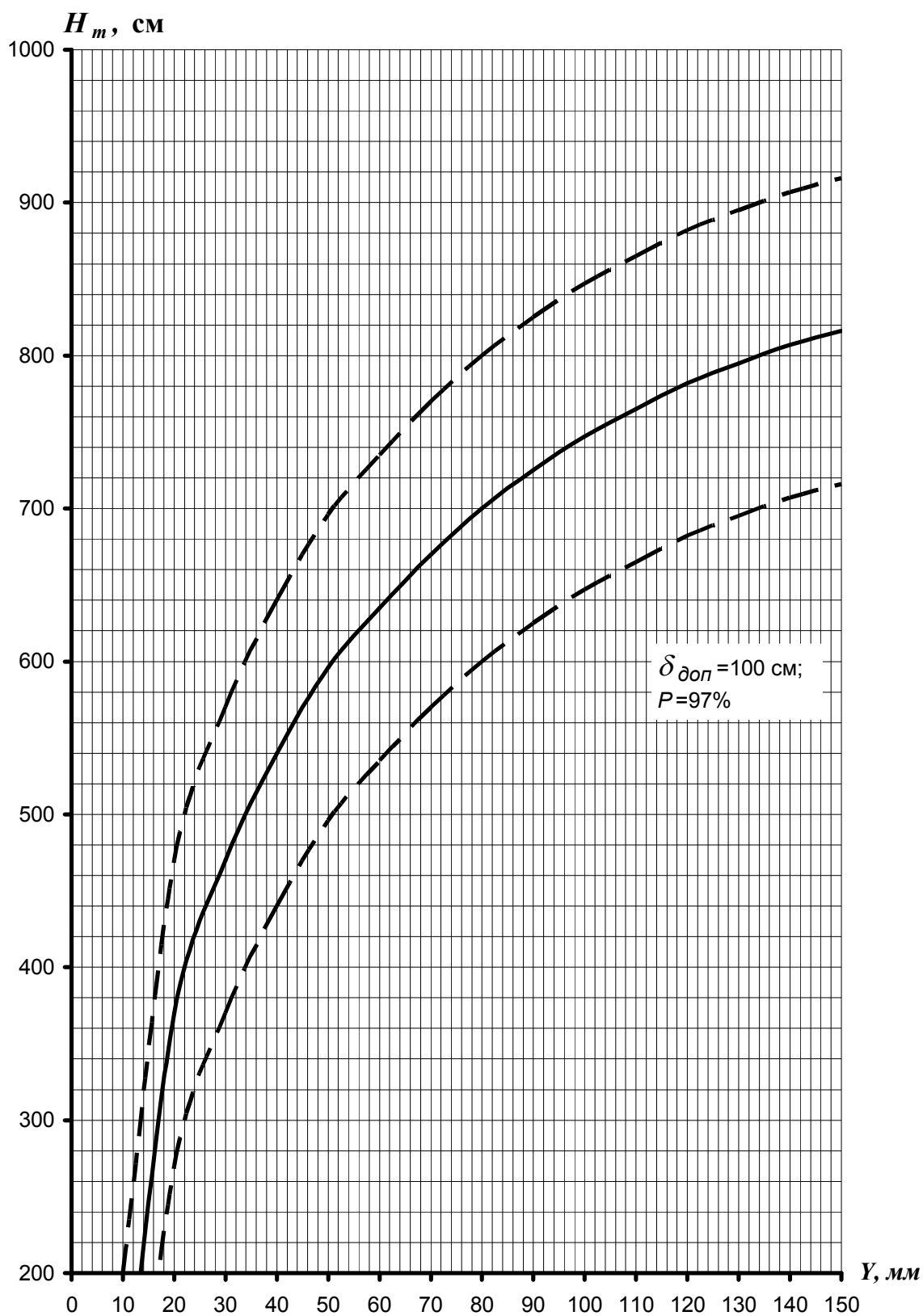


Рис.10 - Залежність максимальних рівнів води весняного водопілля (H_m) від шарів стоку весняного водопілля (Y), р.Псел-с.Записля

4 АНАЛІЗ УМОВ ФОРМУВАННЯ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ ТА ОЦІНКА ЯКОСТІ ПРОГНОЗУ

Пояснювальна записка включає:

- 4.1. Аналіз гідрометеорологічної обстановки як попередньої, так і поточної.
- 4.2. Основи методики і документація прогнозу.
- 4.3. Аналіз похибок прогнозу.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Б.А.Аполлов, Г.П.Калинин, В.Д.Комаров. Курс гидрологических прогнозов. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – С.172-243.
2. Н.Ф.Бефани, Г.П.Калинин. Упражнения и методические разработки по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеоздат, 1983. – С.182-225, 364-367.
3. Наставление по службе прогнозов. Раздел 3.- Ч.1. - Л.: Гидрометеоздат, 1962. – §§ 190-197, 205-209, 252-291.
4. Руководство по гидрологическим прогнозам. – Л.: Гидрометеоздат, 1989. – Вып.1. – Долгосрочные прогнозы элементов водного режима рек и водохранилищ. - С.46-54.
5. Лобода Н.С. Гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. – Одеса. ОДЕКУ, 2003. – 138с.
6. . Шакірманова Ж.Р. Довгострокові гідрологічні прогнози: Конспект лекцій. – Одеса: Вид. ТЕС, 2010. – 154 с.

З Б І Р Н И К
МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК
до чергувань з гідрологічних прогнозів
Розділ
**"Довгострокові прогнози шарів стоку та максимальних
витрат (рівнів) води весняного водопілля невеликих річок"**

Укладачі: к.г.н., доц. Шакірзанова Ж.Р.
ас. Погорєлова М.П., зав.лаб. Будкіна І.Є.

Підп. до друку
Умовн. друк. арк.

Формат
Тираж

Папір
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

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