

**УЗАГАЛЬНЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК РОЗРАХУНКОВИХ ШАРІВ СТОКУ  
ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ РІЧОК ПОДІЛЬСЬКОЇ ВИСОЧИНИ**

*Надані науково-методичні рекомендації щодо просторового узагальнення характеристик стоку весняного водопілля на прикладі річок Подільської височини.*

**Ключові слова:** максимальний стік, весняне водопілля, шар стоку.

**Вступ.** З питання узагальнення розрахункових характеристик стоку, незважаючи на наявність нормативних документів у галузі максимального стоку, відсутні єдині науково-обґрунтовані підходи щодо їх просторового узагальнення. Автори вважають за можливе запровадити відповідні рекомендації, які дозволяють дещо уніфікувати просторові узагальнення шарів стоку весняного водопілля.

**Матеріали і методи дослідження.** У якості вихідних даних використані середні багаторічні шари стоку весняного водопілля річок Подільської височини по 37 водозборах з площами від 70 до 3170 км<sup>2</sup> і періодами спостережень від 9 до 69 років.

**Науково-методичні підходи до просторового узагальнення шарів стоку весняного водопілля.** Починати слід із визначення тих факторів, які є носіями географічно обумовлених складових, а з іншого - тих, що пов'язані з місцевими умовами (залісеністю, заболоченістю, закарстованістю та ін.).

Після статистичного аналізу часових рядів шарів стоку просторовому узагальненню, зазвичай, підлягають середні величини або характеристики тієї чи іншої ймовірності перевищення. Ураховуючи різне географічне положення водозборів, спочатку величини шарів стоку відносять до якоїсь однієї умовної широти. З цією метою будується залежність  $\bar{Y}_m = f(\varphi_0^o)$  у вигляді лінійного рівняння

$$\bar{Y}_m = \bar{Y}_{\varphi_0} \pm \alpha_{\varphi} (\varphi^o - \varphi_0^o), \quad (1)$$

де  $\bar{Y}_{\varphi_0}$  - середній шар стоку, віднесений до умовної широти геометричних центрів тяжіння водозборів  $\varphi_0^o$ .

Рекомендується  $\varphi_0^o$  призначати з таким розрахунком, щоб воно відповідало приблизно геометричному центру тяжіння розглядуваної території. За лінійною кореляцією  $\bar{Y}_m = f(\varphi^o n.ш)$  встановлюється значення коефіцієнта регресії  $\alpha_{\varphi}$ . Приведення вихідних даних  $\bar{Y}_m$  до умовної широти  $\varphi_0^o$  здійснюється на підставі (1). Дійсно,

$$\bar{Y}_{\varphi_0} = \bar{Y}_m \pm \alpha_{\varphi} (\varphi^o - \varphi_0^o). \quad (2)$$

У межах рівнинних територій досліджується вплив на приведені до  $\varphi_0^o$  шари стоку  $\bar{Y}_{\varphi_0}$  залісеності території, тобто

$$\bar{Y}_{\varphi_0} = \bar{Y}_{\varphi_0, f_l=0} \pm \beta'_l \lg(f_l + 1), \quad (3)$$

або

$$\bar{Y}_{\varphi_0} = \bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0} \cdot k_L, \quad (4)$$

де  $k_L$  - коефіцієнт впливу залісеності на середні шари стоку

$$k_L = 1 \pm \beta_L \lg(f_L + 1), \quad (5)$$

$f_L$  - відносна залісеність у %;

$$\beta_L = \frac{\beta'_L}{\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0}}. \quad (6)$$

Виходячи з (5), можна розрахувати  $\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0}$ , тобто вихідні дані  $\bar{Y}_{\varphi_0}$  привести до залісеності  $f_L = 0$ . Фактично

$$\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0} = \bar{Y}_{\varphi_0} / k_L. \quad (7)$$

Наступним кроком є побудування залежності  $\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0}$  від ступеня заболоченості водозборів  $f_{\delta}$ , а саме

$$\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0} = \bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0, f_{\delta}=0} \pm \beta'_{\delta} \lg(f_{\delta} + 1), \quad (8)$$

де  $\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0, f_{\delta}=0}$  - значення середніх шарів стоку де водопілля, приведених до  $f_L = 0$  і  $f_{\delta} = 0$  та віднесених до умовних геометричних центрів водозборів.

Вираз (8) можна привести до вигляду

$$\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0} = \bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0, f_{\delta}=0} \cdot k_{\delta}, \quad (9)$$

де  $k_{\delta}$  - коефіцієнт впливу заболоченості на середні шари стоку, тобто

$$k_{\delta} = 1 \pm \beta_{\delta} \lg(f_{\delta} + 1), \quad (10)$$

а

$$\beta_{\delta} = \frac{\beta'_{\delta}}{\bar{Y}_{\varphi_0, f_L=0, f_{\delta}=0}}. \quad (11)$$

Щоб здійснити узагальнення середніх шарів стоку  $\bar{Y}_m$  по території, необхідно виключити вплив на них таких місцевих факторів як залісеність і заболоченість. Для цього слід  $\bar{Y}_m$  поділити на  $k_L$  і  $k_{\delta}$ , розрахованих за (5) і (10), тобто

$$\bar{Y}_{np} = \bar{Y}_m / (k_L k_{\delta}). \quad (12)$$

Після таких процедур можливе картування  $\bar{Y}_{np}$  або його осереднення у межах тієї чи іншої території. Перш за все, рекомендується здійснити перевірку  $\bar{Y}_{np}$  на нормальність, наприклад, за допомогою критерію Гауса

$$\frac{\sigma_y}{\rho_y} = \sqrt{\frac{\pi}{2}} \cong 1.25, \quad (13)$$

де  $\sigma_y$  - середньоквадратичне значення

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum [(\bar{Y})_{np,i} - \bar{Y}_{np0}]^2}{N - 1}}; \quad (14)$$

$\rho_y$  - середнє арифметичне значення

$$\rho_y = \frac{1}{N} \sum \left| (\bar{Y})_{np,i} - \bar{Y}_{np0} \right|, \quad (15)$$

де  $N$  - число об'єктів.

При невиконанні умови (13) слід  $\bar{Y}_{np}$  ще раз (але при виключенні із вихідних даних залісеності і заболоченості) дослідити в залежності від  $\varphi^0$  п.ш. Наявність очевидної залежності  $\bar{Y}_{np} = f(\varphi^0 \text{ п.ш.})$  є підставою для картування  $\bar{Y}_{np}$ . Відносяться вони до геометричних центрів тяжіння водозборів. Після цього проводяться ізолінії з кроком через 5, 10, 20, 50 мм. Для використання цієї карти при визначенні розрахункових шарів  $\bar{Y}_m$  для окремих водозборів необхідно для центру тяжіння водозбору зняти  $\bar{Y}_{np}$ , а потім ввести до нього поправки на залісеність і заболоченість (за допомогою  $k_L$  і  $k_\delta$ ).

Таким чином,

$$\bar{Y}_m = \bar{Y}_{np} k_L k_\delta. \quad (16)$$

Коефіцієнти  $k_L$  і  $k_\delta$  розраховуються за допомогою формул (5) і (10).

За такою ж методикою відбувається просторове узагальнення шарів стоку забезпеченістю  $P\%$ , але частіше при  $P = 1\%$ .

**Науково-методичні підходи до просторового узагальнення коефіцієнтів варіації шарів стоку весняного водопілля.** Оскільки при побудові розрахункових формул максимального стоку йдеться про шари стоку забезпеченістю  $P\%$ , то крім визначення  $\bar{Y}_m$ , потрібно мати ще два параметри, а саме: коефіцієнти варіації  $C_v$  і асиметрії  $C_s$  (або співвідношення  $C_s/C_v$ ). Діючий СНіП 2.01.14-83[1] рекомендує орієнтуватися на криві трипараметричного гама-розподілу, а таким чином – й на

використання співвідношення  $C_s/C_v$ , замість  $C_s$ . Може виявитись корисним, з точки зору підвищення точності розрахунку коефіцієнтів варіації  $C_v$ , побудування залежності його від середнього значення  $\bar{Y}_m$ . Аналітичною апроксимацією цих залежностей можуть бути рівняння вигляду:

$$C_v = \frac{C_{vm}}{(\bar{Y}_m/\bar{Y}_{min})^m}, \quad (17)$$

або

$$C_v = C_{vm} - \alpha_{C_v} \lg\left(\bar{Y}_m/\bar{Y}_{min}\right), \quad (18)$$

де  $\bar{Y}_{min}$  - регіонально орієнтовна величина шарів стоку, яка відповідає найменшому територіальному значенню  $\bar{Y}_m$ .

Як вже згадувалось, величини різної ймовірності перевищування  $Y_P$  розраховуються за допомогою кривої трипараметричного гама-розподілу. При цьому використовуються три статистичних параметри: середнє значення  $\bar{Y}_m$ , коефіцієнт варіації  $C_v$  та співвідношення  $C_s/C_v$ . У свою чергу  $C_s/C_v$  нормується у межах розглядуваної території шляхом осереднення його значень, встановлених при використанні методу найбільшої правдоподібності, тобто

$$C_s/C_v = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_s/C_v)_i, \quad (19)$$

де  $N$  - кількість об'єктів.

Розробка параметрів розрахункових формул максимального стоку може здійснюватись стосовно тієї чи іншої опорної забезпеченості  $P\%$ , але зазвичай вона приймається на рівні 1%. У таких випадках для переходу до інших забезпеченостей використовуються перехідні коефіцієнти  $\lambda_P$ , причому стосовно шарів стоку

$$\lambda_P = Y_P/Y_{1\%}. \quad (20)$$

Для визначення  $\lambda_P$  водопіль і паводків будуються залежності  $Y_P = f(Y_{1\%})$  для  $P=3, 5, 10, 20\%$ . З (20) очевидно, що  $\lambda_P$  є тангенс кутів нахилу до осі абсцис. За отриманими  $\lambda_P$  складається допоміжна таблиця з одним входом до неї -  $P\%$ .

Використовуючи цю таблицю по опорних значеннях  $Y_{1\%}$  можна розрахувати шукані величини  $Y_P$ , зокрема,

$$Y_P = Y_{1\%} \cdot \lambda_P. \quad (21)$$

**Результати дослідження та їх аналіз.** З метою виявлення ступеню впливу на середні шари стоку весняного водопілля річок Подільської височини кожного з

місцевих чинників (висоти місцевості, залісеності, заболоченості), необхідно, про що йшлося вище, спочатку виключити вплив широтного положення водозборів. Для цього була побудована залежність  $\bar{Y}_m = f(\varphi - 49^0)$ , яка показана на рис.1.

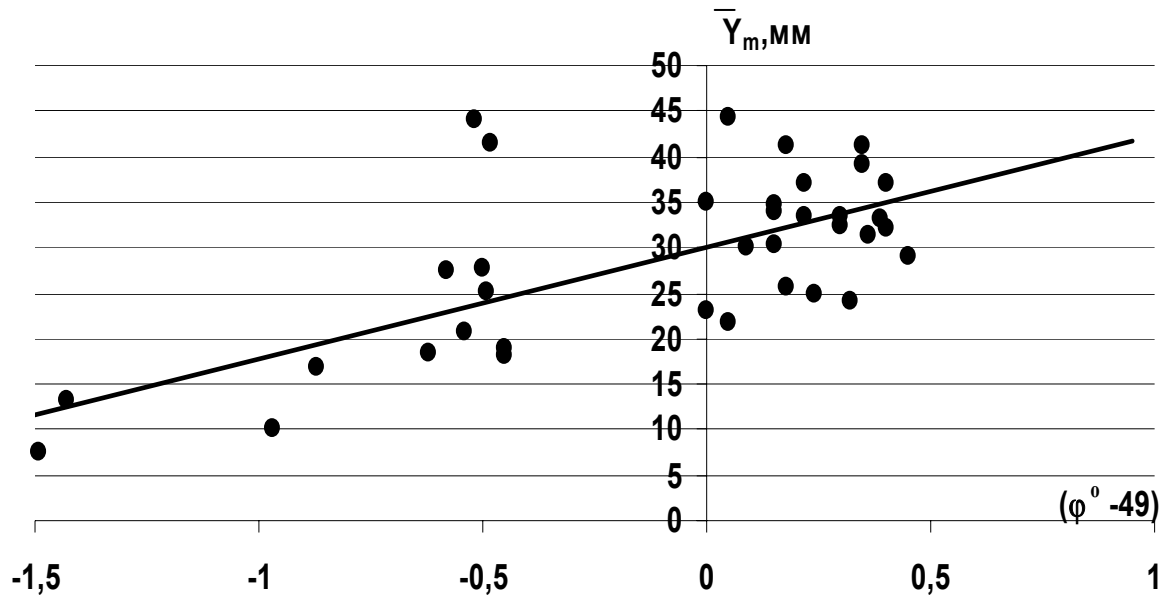


Рис. 1 - Залежність середнього шару стоку водопілля  $\bar{Y}_m$  від широти центрів тяжіння водозборів для річок Подільської височини.

З рис.1 видно, що середній багаторічний шар стоку водопілля на досліджувані території підкоряється досить чіткій широтній закономірності, причому із збільшенням широтного положення водозборів  $\bar{Y}_m$  теж збільшується

$$\bar{Y}_m = 30,1 + 12,3(\varphi^0 - 49) \quad (22)$$

Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї широти, наприклад,  $\varphi = 49^0$  пн.ш., тобто

$$\bar{Y}_{\varphi=49} = \bar{Y}_m - 12,3(\varphi^0 - 49), \quad (23)$$

де  $\bar{Y}_{\varphi=49}$  - приведені до широти  $49^0$  пн.ш. значення середнього шару стоку  $\bar{Y}_m$ .

Надалі значення  $\bar{Y}_{\varphi=49}$  використовуються для побудовання залежності  $\bar{Y}_{\varphi=49} = f(H_{cp})$ , яка показана на рис.2.

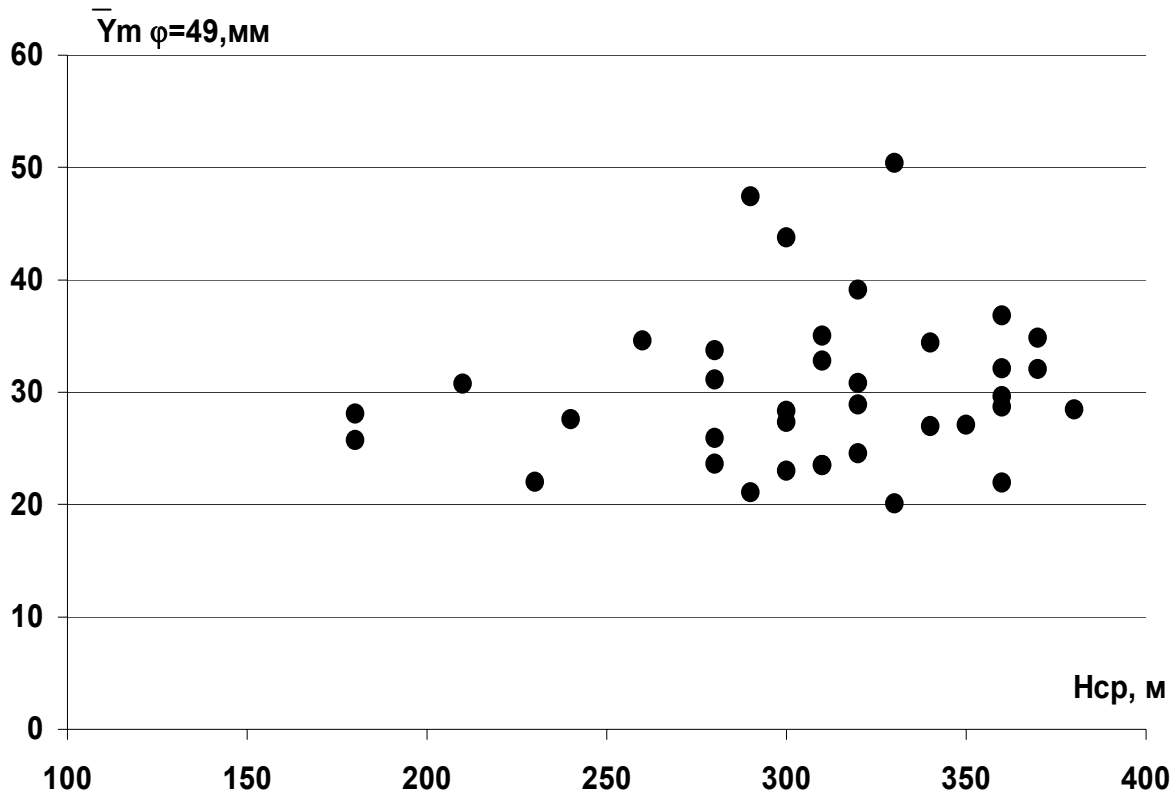


Рис. 2 – Зміна середніх багаторічних шарів стоку, приведених до широти  $\varphi = 49^{\circ}$  пн.ш., від середньої висоти водозборів річок Подільської височини.

З метою дослідження можливого впливу залісеності на середні багаторічні шари стоку весняного водопілля приведені до широти  $49^{\circ}$  пн.ш., була побудована залежність  $\bar{Y}_{\varphi=49} = f(f_l)$ , яка показана на рис.3.

Як видно з рис.3, залісеність водозборів на території Подільської височини суттєво не впливає на величину шарів стоку весняного водопілля  $\bar{Y}_{\varphi=49}$ .

Для дослідження можливого впливу боліт на середні багаторічні шари стоку весняного водопілля приведені до широти  $49^{\circ}$ , побудована також залежність  $\bar{Y}_{\varphi=49} = f(f_b)$ , яка показана на рис. 4.

З рис.4 видно, що й заболоченість водозборів в басейні лівих приток Дністра, так само як і залісеність, суттєво не впливає на величину шарів стоку весняного водопілля  $\bar{Y}_{\varphi=49}$ .

Проаналізувавши можливий вплив різних факторів на розподіл по території Подільської височини максимальних шарів стоку весняного водопілля  $\bar{Y}_m$ , можна зробити висновок що основним чинником є лише широтне положення водозборів. Наявність залежності  $\bar{Y}_m = f(\varphi^{\text{пн.ш.}})$  є підставою для картування  $\bar{Y}_m$ .

Оскільки при побудові розрахункових формул максимального стоку йдеться про шари стоку забезпеченістю  $P\%$ , то окрім визначення  $\bar{Y}_m$ , потрібно мати ще два параметри, а саме: коефіцієнти варіації  $C_v$  і асиметрії  $C_s$  (або співвідношення  $C_s/C_v$ ).

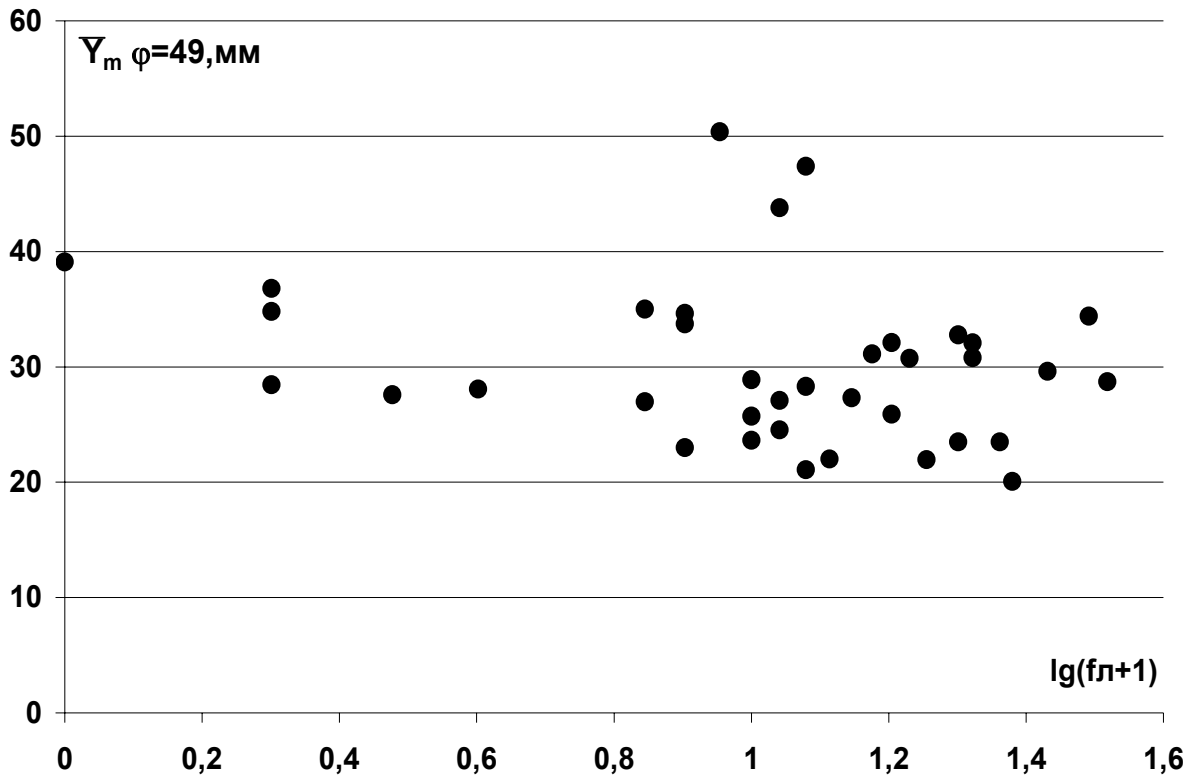


Рис. 3 - Залежність приведенного шару стоку весняного водопілля  $\bar{Y}_{\varphi=49}$  від залісеності водозборів  $f_l$  річок Подільської височини.

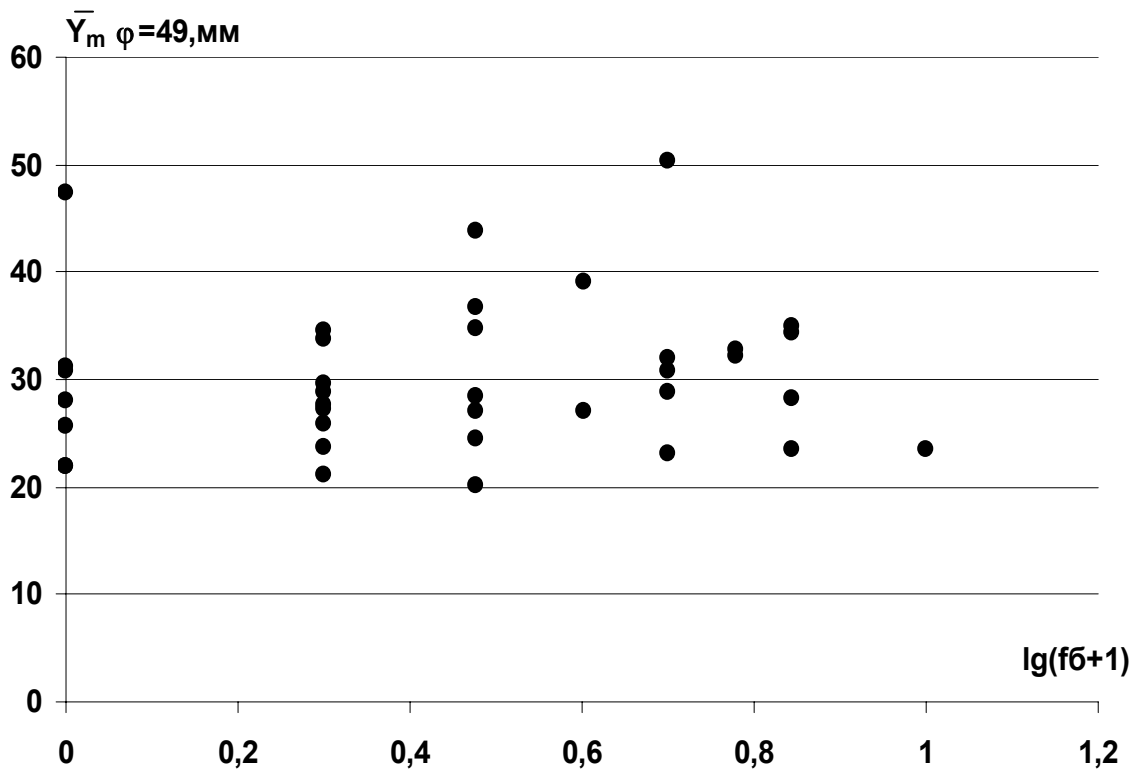


Рис. 4 - Залежність приведенного шару стоку весняного водопілля  $\bar{Y}_{\varphi=49}$  від заболоченості водозборів  $f_b$  річок Подільської височини.

Статистична обробка рядів шарів стоку весняного водопілля річок досліджуваної території виконана відповідно до рекомендацій нормативного документа СНіП 2.01.14-83[1]. Цими рекомендаціями передбачається обчислення параметрів статистичного розподілу методами найбільшої правдоподібності і моментів.

Може виявитись корисним, з точки зору підвищення точності розрахунку коефіцієнтів варіації  $C_v$ , побудування залежності його від співвідношення середнього значення  $\bar{Y}_m$  до регіонально орієнтовної величини шарів стоку, яка відповідає найменшому територіальному значенню  $\bar{Y}_{min}$ . У нашому випадку можна прийняти  $\bar{Y}_{min} = 10$  мм, а отримана залежність показана на рис.5

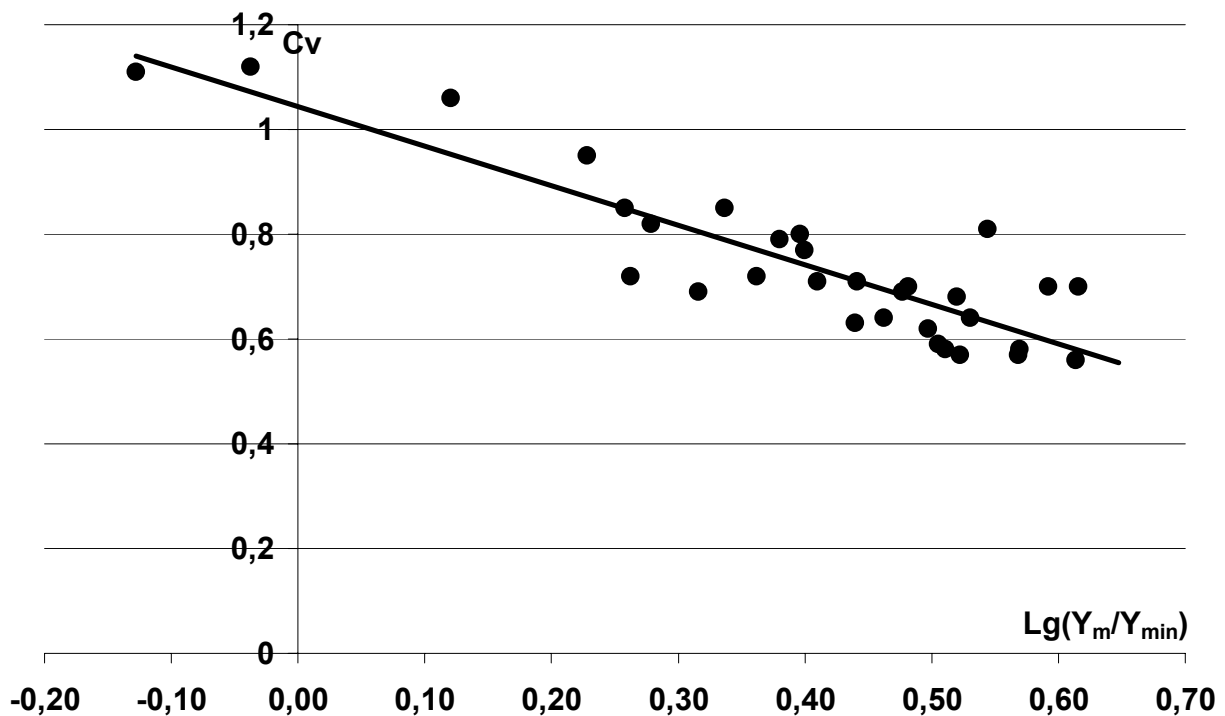


Рис. 5 - Залежність коефіцієнтів варіації шарів стоку весняного водопілля від співвідношення  $\bar{Y}_m / \bar{Y}_{min}$  для річок Подільської височини.

Аналitiчною апроксимацією цієї залежності може бути рівняння

$$C_v = 1,04 - 0,76 \lg \left( \bar{Y}_m / \bar{Y}_{min} \right), \quad (24)$$

де  $\bar{Y}_{min} = 10$  мм (для річок Подільської височини).

Величини різної ймовірності перевищування  $Y_p$ , відповідно до рекомендацій СНіП 2.01.14.83[1], розраховуються за допомогою кривої трипараметричного гамма-розподілу. При цьому використовуються три статистичних параметри: середнє значення  $\bar{Y}_m$ , коефіцієнт варіації  $C_v$  та співвідношення  $C_s / C_v$ . У свою чергу  $C_s / C_v$  нормується у межах розглядуваної території шляхом осереднення його значень, встановлених при використанні методу найбільшої правдоподібності, тобто для річок Подільської височини



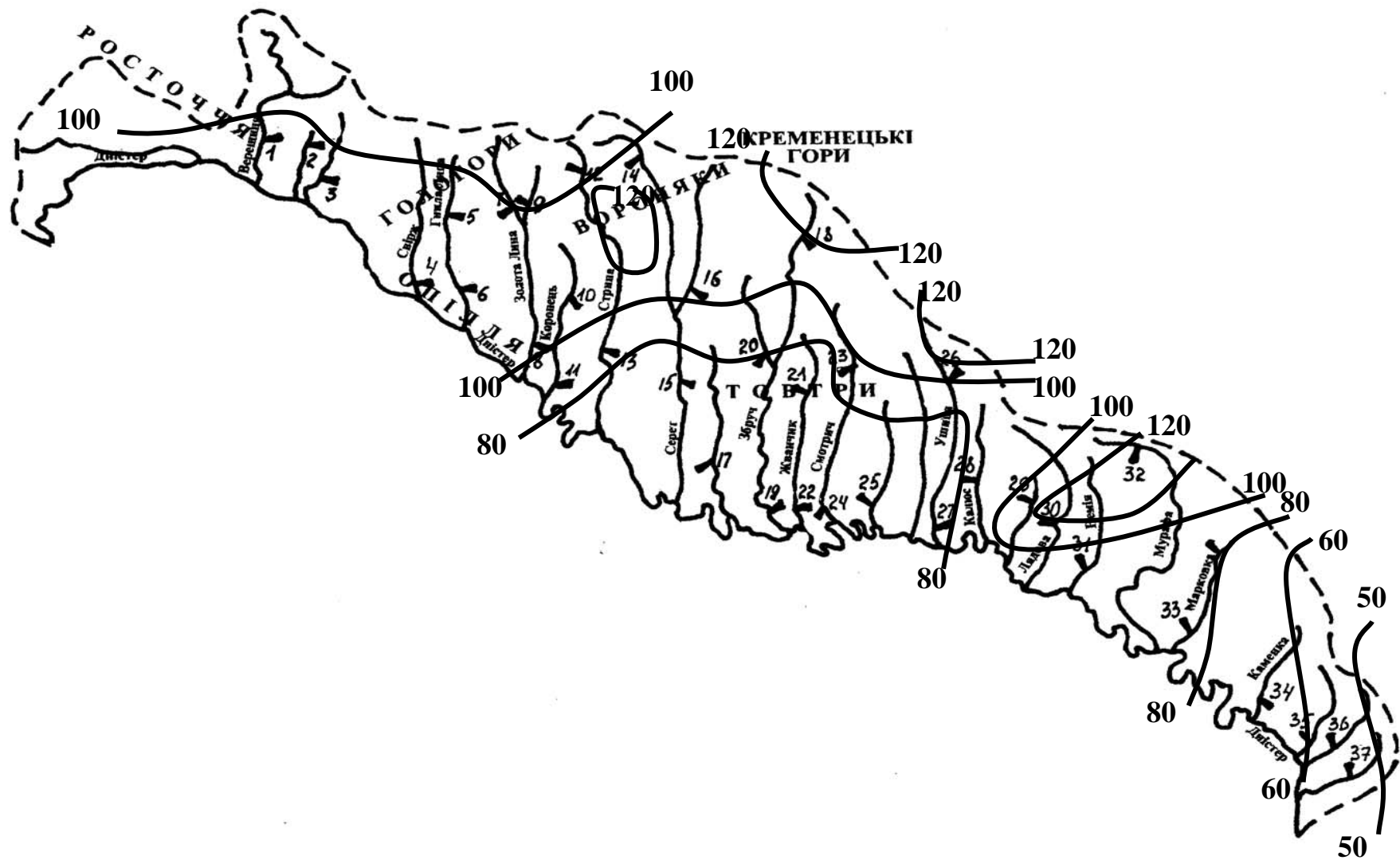


Рис. 6 - Карта-схема розподілу шарів стоку весняного водопілля 1%-вої забезпеченості на території Подільської височини, мм.

$$\overline{C_s/C_v} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_s/C_v)_i = 2.6. \quad (25)$$

Округлюючи співвідношення  $C_s/C_v$  до 0.5, для всієї території Подільської височини можна прийняти його рівним 2.5.

Для переходу від опорної забезпеченості  $P = 1\%$  до інших розраховані перехідні коефіцієнти  $\lambda_p$ , які наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Коефіцієнти ймовірності  $\lambda_p$  для шарів стоку весняного водопілля для річок Подільської височини

$P, \%$	1	3	5	10
$\lambda_p$	1.00	0.77	0.67	0.53

Останній етап розрахунку – картування 1%-вих шарів стоку весняного водопілля. Карта шарів стоку весняного водопілля  $Y_1\%$  для річок Подільської височини

показана на рис.6. Як видно з карти, шари стоку весняного водопілля закономірно зменшуються у напрямку із північного заходу на південний схід від 120 до 50мм. Розподіл ізоліній відповідає основним елементам рельєфу території, а саме – найбільші значення відносяться до найбільш піднесених областей (Гологір, Вороняк та відрогів Кременецьких гір).

Точність карти, наведеної на рис.6, складає  $\pm 8,25\%$ , що можна вважати задовільним результатом і рекомендувати її для використання у водогосподарських розрахунках.

#### Висновки.

1. Запропонована науково-методична база щодо просторового узагальнення характеристик максимального стоку весняного водопілля дає змогу на основі середніх багаторічних величин шарів стоку і коефіцієнтів варіації обґрунтовано підійти до побудування карт розрахункових шарів стоку, опираючись:

1.1 На наявні кореляційні залежності між шарами стоку за водопілля, широтним положенням річкових водозборів та місцевими факторами підстильної поверхні (залісеністю, заболоченістю, висотними відмітками водозборів)

1.2 При нормуванні коефіцієнтів варіації використовувати залежність між ними і середніми багаторічними величинами шарів стоку.

2. Наведена в статті карта шарів стоку розрахункової забезпеченості  $P=1\%$  є суттєвим уточненням відповідних рекомендацій діючого в Україні СНІП 2.01.14-83.

#### Список літератури

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 448 с.

**Обобщение характеристик расчетных слоев стока весеннего половодья рек Подольской возвышенности. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Бин Салим Фуад Фараг Салем**

*Приведены научно-методические рекомендации относительно пространственного обобщения характеристик стока весеннего половодья на примере рек Подольской возвышенности.*

**Ключевые слова:** максимальный сток, весеннее половодье, слой стока.

**Generalization of the characteristics of calculation depth of spring flood runoff of the rivers of Podolsk height. Gopchenko E., Ovcharuk V., Ben Salim Fuad Farag Salem.**

*The scientific - methodical recommendations concerning spatial generalization of the characteristics of spring flood runoff on an example of the rivers of a Podolsk height are given.*

**Keywords:** maximal runoff, spring flood, depth of runoff.