

As the result spatial generalization of coefficients of annual runoff variation was done and dependence of these coefficients from the catchments height was determined too. It was found out that the variability of annual runoff of the Tisza River basin decreases from the increase of average catchments height.

Parameters of statistical distribution of characteristics of annual runoff are generalized over the territory depending on the height and the geographic location of catchments. Special emphasis is paid to the methodical approaches of mapping of the rates of annual runoff in the right-bank part of Tisza River basin, because all the initial data if they are referred to the center of catchments, they will almost completely convey the characteristics of some rivers to the uppers of rivers.

Dependences between runoff rates and annual rainfall have been offered for overcoming these methodical problems when the runoff values are mapped.

Keywords: rate, coefficients of variation and skewness of annual runoff, homogeneity of times series, calculated parameters, spatial generalization.

Надійшла до редколегії 11.03.2016

УДК 551.166

Гоцій М.В.

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ШАРІВ ПАВОДКОВОГО СТОКУ ДЛЯ РІЧОК УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ ТА УЗАГАЛЬНЕННЯ ЇХ ПО ТЕРИТОРІЇ

Ключові слова: шар стоку, дощові паводки, узагальнення

Вступ. Для досліджень та аналізу дощових паводків на річках Українських Карпат залучена гідрометеорологічна багаторічна інформація про шари та максимальні витрати води дощових паводків теплого періоду (станом на 2010 рік).

Практично щорічно то в одній, то в іншій частинах регіону формуються паводки, які за своїми розмірами наближаються і навіть перевищують історичні, наприклад, паводки 1998, 2001 та 2008 років. Спеціалістами періодично здійснюються уточнення ймовірнісних характеристик виняткової повторювальності.

Для обґрунтування розрахункової методики в межах території Українських Карпат створено базу вихідних даних по максимальному дощовому стоку річок досліджуваної території по 93 гідрологічних станціях і постах Державної мережі Гідрометслужби.

Тривалість часових рядів спостережень за стоком води на досліджуваній території становить від 16 (р. Ріка - с. Нижній Бистрий) до 99 (р. Прут - м. Чернівці) років. При цьому більшість постів (76,3%) мають ряди спостережень тривалістю від 21 до 60 років, 19 постів (20,5%) – більше 60 років. Ряди тривалістю менше 20 років характерні лише для 3 постів, що становить 3,2% від загальної кількості. Найбільш тривалий ряд – 99 років (р. Прут - м. Чернівці). Середній період спостережень складає 48 років.

Статистична обробка часових рядів стокових характеристик паводків (водопіль) частіше усього спирається на метод моментів, а в останні роки - і на метод найбільшої правдоподібності [1-3]. У першому випадку безпосередньо по наявних рядах розраховуються параметри статистичного розподілу: середнє арифметичне рядів \bar{x} , коефіцієнти варіації C_v і асиметрії C_s , у другому - середнє, C_v і співвідношення C_s/C_v . Кінцевою ціллю статистичного аналізу часових рядів стокових величин є визначення розрахункових характеристик різної ймовірності перевищення $P\%$.

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.1(40)

Діапазон коливання коефіцієнтів варіації C_V для максимальних шарів стоку Y_m : за методом моментів – від 0,48 (р. Ріка - м. Хуст, р. Жденівка - с. Верхня Грабівниця, р. Стрий - м. Турка) до 1,29 (р. Лужанка - м. Гошів); за методом найбільшої правдоподібності – від 0,48 (р. Ріка - м. Хуст, р. Жденівка - с. Верхня Грабівниця, р. Стрий - м. Турка) до 1,48 (р. Лужанка - м. Гошів). Середнє значення коефіцієнта варіації C_V за методом моментів дорівнює 0,70, а за методом найбільшої правдоподібності – 0,72 [4].

Шари стоку 1%-ї ймовірності, обчислені на основі кривої трипараметричного гамма-розподілу при індивідуальних оцінках C_V і закріпленому співвідношенні $C_S/C_V = 3,0$, змінюються в залежності від географічного і висотного положення водозборів від 88 мм (р. Ворона - с. Тисмениця, $F = 657 \text{ км}^2$, $H_{cp} = 330 \text{ м}$) до 512 мм (р. Лужанка - м. Гошів, $F = 146 \text{ км}^2$, $H_{cp} = 660 \text{ м}$) [4].

Методи та результати досліджень. Приступаючи до просторового узагальнення шарів стоку в гірських районах, необхідно насамперед мати на увазі, що стокові характеристики в горах, на відміну від рівнинних територій, підпорядковуються не географічній зональності, а висотній поясності. У силу цього, картування стокових величин, по суті, у гірських умовах неможливе або має певні труднощі. Тому в усіх випадках бажано приведення даних до якогось одного висотного рівню і щодо нього проводити їхнє просторове узагальнення.

Для шарів стоку y_m така залежність показана на рис. 1. Її можна описати лінійним рівнянням вигляду:

$$y_H = a_H + \alpha_H H_{cp}, \quad r = 0,71 \quad (1)$$

де a_H і α_H - параметри, обумовлені зв'язком між \bar{y}_m та H_{cp} .

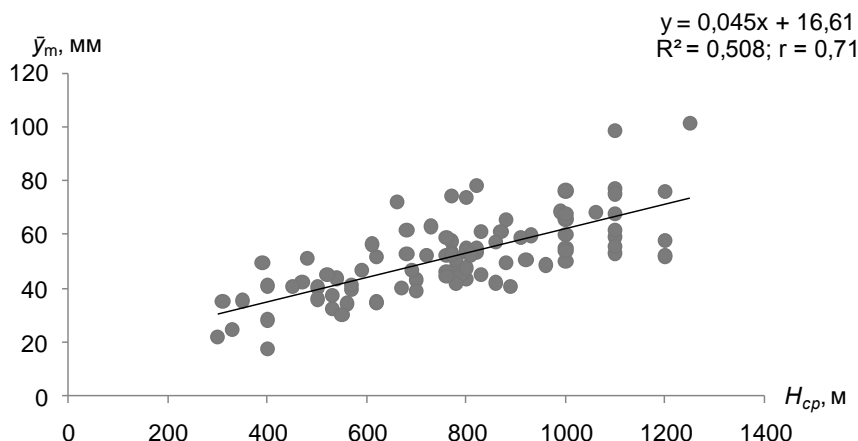


Рис. 1. Залежність середнього шару паводкового стоку від середньої висоти водозборів на території Українських Карпат

Щоб одержати величини параметра α_H , які відповідають реальним масштабам \bar{y} , здійснимо привонок усіх даних до середньої висоти $H_{cp}=500 \text{ м}$. Тоді

$$y_H = \bar{y}_{500} + \alpha_H (H_{cp} - 500), \quad (2)$$

де \bar{y}_{500} - середнє багаторічне значення шару паводкового стоку \bar{y}_m , приведене до умовної висоти $H_{cp}=500 \text{ м}$.

Параметр α_H для Карпат дорівнює 0,045 і фізично відповідає градієнту зміни \bar{y}_m на кожний метр висоти. Легко бачити, що на кожні 100 м висоти шар стоку \bar{y}_m збільшується в середньому на 4,5 мм.

Вираз (2) можна записати в дещо іншій редакції:

$$\bar{y}_H = \bar{y}_{500} k_H, \quad (3)$$

де k_H - коефіцієнт впливу висоти місцевості на шар паводкового стоку, тобто

$$k_H = 1 + \frac{\alpha_H}{\bar{y}_{500}} (H_{cp} - 500). \quad (4)$$

Природа такої залежності обумовлена тим, що в гірських районах, особливо на навітряних схилах, має місце збільшення з висотою кількості опадів. З іншого боку, з ростом висоти зменшується температура повітря, що у свою чергу призводить до зниження втрат стоку на випаровування.

Другим важливим чинником, який спроможний порушити загальну закономірність зміни шару стоку з висотою, може бути залісеність f_L . У Карпатах залісеність водозборів досить значна - від 18% (р. Студений - с. Нижній Студений) до 95% (р. Свіча - х. Мислівка) при середній по регіону - біля 60%.

Проблема гідрологічної ролі лісу у формуванні річкового стоку є дуже суперечливою і складною. Причому, це відноситься як до річного циклу, так і до його складових (максимального і мінімального стоку).

Для оцінки впливу лісу на шар паводкового стоку річок Українських Карпат була побудована залежність приведених значень \bar{y}_{500} , встановлених для всіх 93 водозборів, від відносної залісеності f_L (у %). З рис. 2 видно, що має місце добре виражена тенденція збільшення шару стоку з ростом f_L . Її рівняння має вигляд:

$$\bar{y}_{500} = \bar{y}_{500;50} + \alpha_L (f_L - 50), \quad (5)$$

де $\bar{y}_{500;50}$ - середній шар паводкового стоку, приведений до висоти $H_{cp}=500$ м і залісеності $f_L=50\%$.

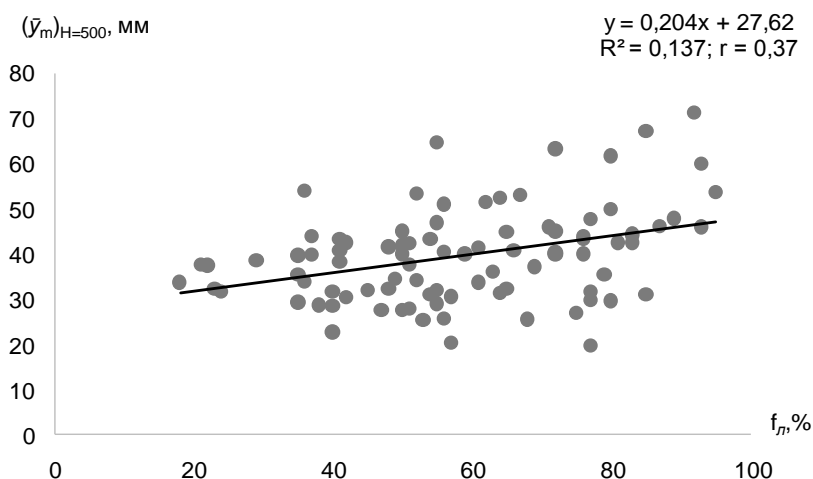


Рис. 2. Залежність приведених значень \bar{y}_{500} від відносної залісеності f_L (у %) для гірських річок Українських Карпат

На підставі залежностей (2) і (5)

$$\bar{y}_H = \bar{y}_{500} k_H = k_H [\bar{y}_{500;50} + \alpha_L (f_L - 50)] \quad (6)$$

Вираз у квадратних дужках запишемо за допомогою коефіцієнта впливу лісу k_L , тобто

$$\bar{y}_{500;50} + \alpha_L (f_L - 50) = \bar{y}_{500;50} k_L \quad (7)$$

Тоді

$$k_L = 1 + \frac{\alpha_L}{\bar{y}_{500;50}} (f_L - 50) \quad (8)$$

З урахуванням (8) рівняння (3) матиме вигляд

$$\bar{y} = \bar{y}_{500;50} k_H k_L \quad (9)$$

Відхилення розрахункових величин шарів стоку \bar{y}_m від вихідних значень (при $\alpha_H = 0,045$, $\bar{y}_{500} = 39,0$ мм, $\alpha_L = 0,204$ і $\bar{y}_{500;50} = 38$ мм) становить $\pm 4,6\%$, що в загальному відповідає точності даних по визначенню характеристик максимального паводкового стоку гірських річок Карпат.

Уточнення розрахункових шарів паводкового стоку. Підвищити точність обчислення статистичних параметрів часових рядів стокових характеристик можна шляхом об'єднання сукупностей у межах однорідних ландшафтно-гідрологічних районів.

Джабуром Кхалдуном і Є.Д. Гопченком [5] шляхом сумісного аналізу полів, приведених до висоти $H_{cp}=500$ м, шарів паводкового стоку \bar{y}_{500} і коефіцієнтів варіації C_v на території Карпат виділені 4 района. Схема районування показана на рис. 3. Співвідношення між випадковою $\sigma_{вип}^2$ і σ_p^2 складової повної дисперсії розсіювання \bar{y}_{500} у межах кожного з районів приводиться в табл. 1.

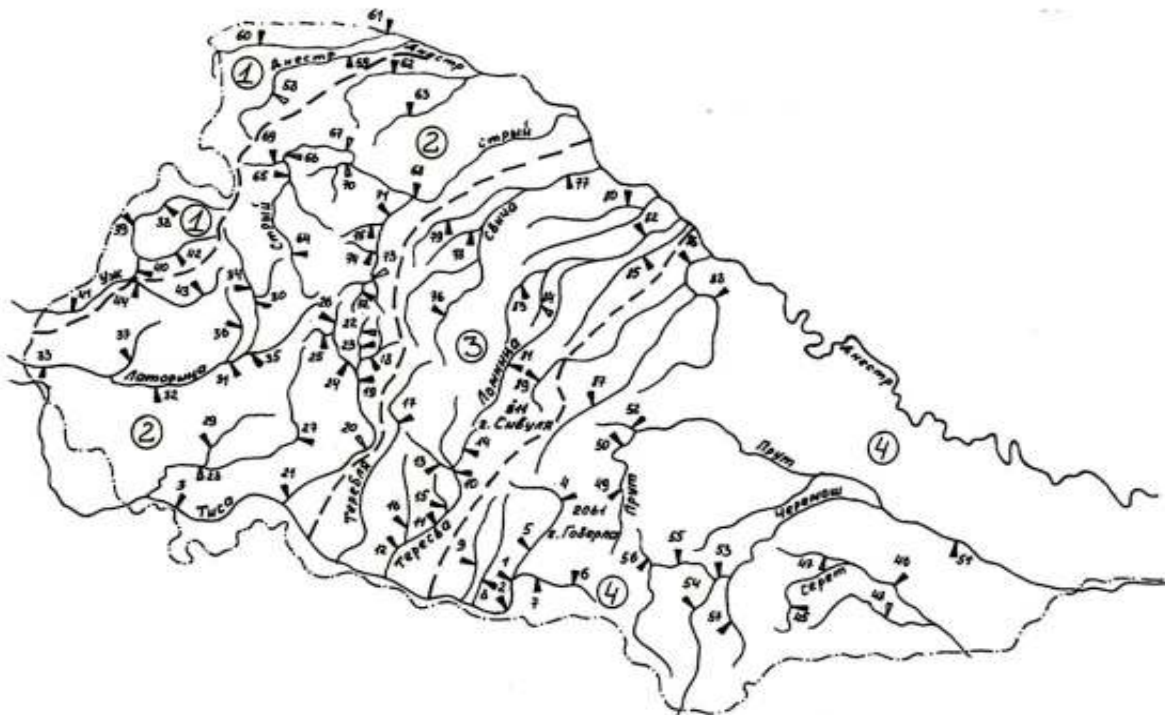


Рис. 3. Карта-схема районів, які виділені по середньому шару паводкового стоку, приведених до висоти 500 м (гірські річки Українських Карпат) [5]

Таблиця 1. Значення випадкової і географічної складової розсіювання \bar{y}_{500} [5]

Райони Дисперсія	1	2	3	4
σ_p^2	12,5	39,5	97,8	74,0
$\sigma_{вип}^2$	10,2	21,0	28,4	16,0
σ_e^2	2,3	18,5	69,4	58,9
Число пунктів	9	37	19	24

Для коефіцієнтів варіації C_v аналогічні дані приводяться в табл. 2.

Як видно з табл. 2, розсіювання оцінок C_v майже цілком визначається випадковими коливаннями, що в принципі дозволяє C_v в межах окремих районів осереднити (табл. 3).

Таблиця 2. Значення випадкової і географічної складових розсіювання C_v [5]

Райони Дисперсія	1	2	3	4
σ_p^2	0,008	0,016	0,004	0,016
$\sigma_{вип}^2$	0,007	0,012	0,008	0,013
σ_e^2	0,001	0,040	-0,004	0,003
Число пунктів	9	37	19	24

Таблиця 3. Середні районні значення коефіцієнтів варіації шарів паводкового стоку C_v і співвідношення C_s/C_v [5]

Райони	1	2	3	4
C_{vcp}	0,61	0,71	0,63	0,74
$(C_s/C_v)_{cp}$	2,5	3,5	2,5	3,5

Як видно з табл. 3, середні районні значення коефіцієнтів варіації паводкового стоку досить стійкі в межах Карпатського регіону, змінюються вони від 0,61 - 0,63 (райони 1 і 3) до 0,74 (район 4) [5].

Табл. 3 свідчить про те, що незважаючи на приведення шарів стоку \bar{y}_m до однієї розрахункової висоти $H_{cp}=500$ м, географічно обумовлена величина σ_p^2 розсіювання, принаймі, або близька до випадкової $\sigma_{вип}^2$, або перевищує її. По суті, ця обставина робить неможливим об'єднання сукупностей у межах виділених районів. Щоб уникнути зайвої генералізації даних при їхньому об'єднанні надалі були побудовані залежності середнього шару паводкового стоку \bar{y}_m від середньої висоти водозборів для кожного з районів окремо. Вони, як і залежність, приведена на рис. 2, мають лінійний вигляд і описуються відповідними рівняннями. Після приведення \bar{y} до умовної висоти $H_{cp}=500$ м величини \bar{y}_{500} на районному рівні корелювалися із залісеністю f_L . Результатом стало встановлення шарів паводкового стоку $\bar{y}_{500;50}$, приведених до $H_{cp}=500$ м і $f_L=50\%$. Параметри рівнянь (3) і (9) приведені в табл. 4.

Аналіз даних табл. 4 свідчить про наступне:

а) середні шари стоку \bar{y}_{500} та $\bar{y}_{500;50}$, приведені до висоти $H_{cp}=500$ м, а потім і $f_L=50\%$, збільшуються в міру переходу від першого району до третього, а потім знову зменшуються - до четвертого, що повною мірою узгоджується із розподілом у Карпатах паводкоформуючих опадів;

Таблиця 4. Районні значення параметрів рівняння шарів паводкового стоку від середньої висоти водозборів і залісеністи

Район	Шар стоку \bar{y}_{500} , мм	Шар стоку $\bar{y}_{500; 50}$, мм	α_H	α_L
1	31,6	31,9	0,029	0,18
2	39,6	38,7	0,033	0,21
3	46,3	44,6	0,049	0,10
4	38,1	37,8	0,029	0,056

б) градієнт зміни з висотою шарів паводкового стоку \bar{y}_m також найбільший у третьому районі (4,9 мм/100 м), а найменший - у першому і четвертому (2,9 мм/100 м);

в) судячи зі значень α_L , ефект впливу лісу на шари паводкового стоку має ту ж закономірність просторової обумовленості, що й α_H - найбільший градієнт у третьому районі (2,10 мм/10% залісеністи), а найменший - (0,56 мм/10%) - у першому.

Остання обставина свідчить про те, що при дослідженні гідрологічної ролі лісу на максимальний стік не можна підходити тільки з укрупненими показниками, оскільки в кожному конкретному випадку можуть виявлятися регіональні особливості ґрунтового покриття, геологічних умов і т.п.

Саме тому всі дані \bar{y}_{500} були приведені до одного значення залісеністи $f_L=50\%$, тобто, використовуючи (13), обчислені приведені шари стоку $\bar{y}_{500; 50}$

$$\bar{y}_{500;50} = \bar{y} / k_H k_L \quad (10)$$

Коефіцієнти впливу k_H і k_L встановлюються за допомогою рівнянь (4) і (8). Результати сумісного аналізу поля приведеного шару стоку $\bar{y}_{500; 50}$ приводяться в табл. 5.

Таблиця 5. Величини випадкової і географічної складової розсіювання $\bar{y}_{500;50}$

Райони	1	2	3	4
Дисперсія				
σ_n^2	17,9	40,9	47,7	40,7
$\sigma_{вил}^2$	10,9	21,9	40,6	20,5
σ_e^2	7,0	19,9	7,1	20,2
Число пунктів	9	37	19	24

Примітка. При об'єднанні сукупностей у 2-м районі був виключений п. 37 - р. Стара-с. Зняцево, по якому \bar{y}_f складає усього 18,8 мм; у 3-м - п. 10 - р. Тересва – смт Усть-Чорна (шар стоку \bar{y}_f при $N_{cp}=1100$ м і $f_L=77\%$ склав тільки 54,4 мм) та п. 89 – р. Бистриця Солотвинська - с. Гута (шар стоку \bar{y}_f при $N_{cp}=1100$ м і $f_L=92\%$ виявився, навпаки, завищеним – 106 мм); у 4-ом - п. 6 - р. Біла Тиса-с. Луги (шар стоку \bar{y}_f при $N_{cp}=1200$ м та $f_L=77\%$ склав тільки 44,6 мм) та п. 50 - р. Прут-м. Яремча (шар стоку склав 64,9 мм, тоді як на тієї ж річці, але по пп. Кременці і Чернівці - \bar{y}_f значно нижчий, чим по Яремчі).

Дані табл. 5, на відміну від \bar{y}_{500} , свідчать про те, що значення $\bar{y}_{500;50}$ у більшому ступені обумовлені випадковими варіаціями шарів паводкового стоку в межах виділених районів. Щоб уникнути генералізації величин $y_{500; 50}$ при їхньому осередненні в межах окремих районів, шари паводкового стоку опорної забезпеченості ($P=1\%$) $y_{1\%}$ були розраховані в двох варіантах:

- а) при індивідуально-уточнених значеннях \bar{y}_m і C_v ;
 б) при індивідуально-уточнених величинах \bar{y}_m і середніх районних коефіцієнтах варіації.

Співвідношення C_s/C_v осереднювалось по районах (табл. 6).

Таблиця 6. Середні районні значення коефіцієнтів варіації шару паводкового стоку C_v і співвідношення C_s/C_v на території Українських Карпат

Райони	1	2	3	4
C_{vcp}	0,59	0,70	0,71	0,79
$(C_s/C_v)_{cp}$	2,0	3,5	3,0	4,0

Висновки. Викладена методика Джабура Кхалдуна та Є.Д. Гопченка [5] була перевірена з урахуванням результатів статистичної обробки часових рядів максимального стоку дощових паводків на території Українських Карпат для 93 гідрологічних станцій та постах по 2010 рік, включно. Уточнені середні районні значення коефіцієнтів варіації шару паводкового стоку C_v і співвідношення C_s/C_v представлені у табл. 6.

Результати порівняння викладеного узагальнення по районах з уточненими значеннями статистичної обробки наведені на рис. 4.

Аналізуючи графік зв'язку (рис. 4), слід відмітити п. 82 (р. Лужанка – с. Гошів), який явно відхиляється від інших постів. Таку ситуацію можна пояснити, переглянувши зміну статистичних показників по 1988 р. та по 2010 р. (табл. 7).

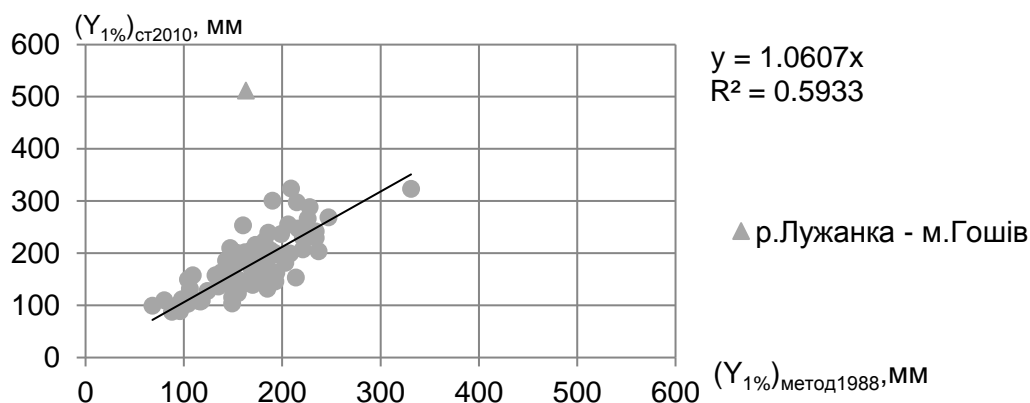


Рис. 4. Зв'язок розрахункових шарів паводкового стоку річок Українських Карпат (за методикою 1988 року з даними статистичної обробки по 2010 рік, включно)

Підвищення середнього багаторічного значення шарів дощового стоку відбулося за рахунок визначних паводків з 1989 по 2010 рр., як видно з кривої забезпеченості (рис. 5).

Збіжність результатів статистичної обробки та методики задовільна, що дозволяє використовувати запропоноване районування для визначення розрахункових шарів стоку дощових паводків на річках Українських Карпатах по сьогоднішній день.

Для переходу до інших забезпеченостей рекомендуються перехідні коефіцієнти λ_p , наведені у табл.8 [2].

Таблиця 7. Показники статистичної обробки максимальних шарів дощового стоку р. Лужанка – с. Гошів

	По 1988 р.	По 2010 р.
Довжина ряду	39	61
Середнє значення	54	72
Метод моментів:		
Cv	0,619	1,292
Cs	1,676	5,269
Cs/Cv	2,7	4,1
Метод найбільшої правдоподібності:		
Cv	0,626	1,477
Cs	2,071	8,991
Cs/Cv	3,3	6,1

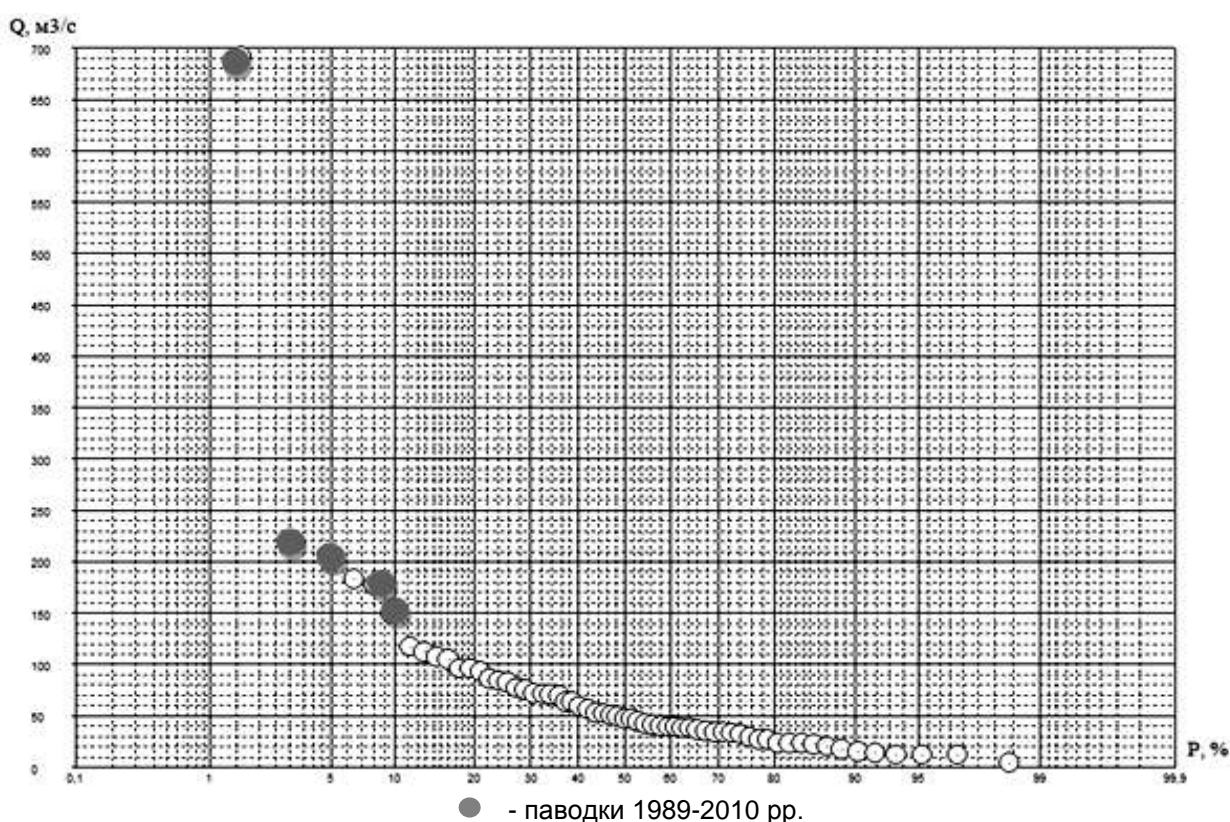


Рис. 5. Крива забезпеченості спостережених шарів стоку р. Лужанка – с. Гошів (по 2010 рік, включно)

Таблиця 8. Перехідні коефіцієнти від максимальних шарів стоку дощових паводків опорної (P=1%) забезпеченості до інших забезпеченостей (P%) для гірських річок Українських Карпат [2]

P%	1,0	3,0	5,0	10
$\lambda_p (\gamma_m)$	1,0	0,75	0,65	0,51

Список літератури

1. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. – Л.: Гидрометеоздат, 1974. – 423 с. 2. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: «Наука», 1981. – 254 с. 3. Пособие по определению

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.1(40)

расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с. 4. Гопцій М.В. Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку річок Українських Карпат // Матеріали XI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Тенденції та перспективи розвитку науки і освіти в умовах глобалізації»: Зб. наук. праць. – Переяслав-Хмельницький, 2016. – Вип. 11.– С.17-19. 5. Джабур Кхалдун. Трансформационная структура расcheinой схемы максимального стока и ее реализация на примере рек Карпат: дисс. канд.геогр.наук: 11.00.07 / Джабур Кхалдун; Одесск. госуд. эколог.ун-т. – Одесса, 2000. – 271 с.

Визначення розрахункових шарів паводкового стоку на річках Українських Карпат та узагальнення їх по території

Гопцій М.В.

На базі сучасної вихідної інформації по максимальному стоку гірського регіону виконано узагальнення розрахункових шарів паводкового стоку на річках Українських Карпат.

Ключові слова: шар стоку, дощові паводки, узагальнення.

Определение расчетных слоев паводочного стока на реках Украинских Карпат и обобщение их по территории

Гопций М.В.

На базе современной исходной информации по максимальному стоку горного региона выполнено обобщение расчетных слоев паводочного стока на реках Украинских Карпат.

Ключевые слова: слой стока, дождевые паводки, обобщение.

Determination of calculation layers of floods on the rivers of Ukrainian Carpathians and generalization of them on territory

Goptsy M.V.

For the research and analysis of rainfall floods on the rivers of the Ukrainian Carpathians was used long-term hydrometeorological information about layers and water discharge of rainfall floods of warm period (as of 2010).

Almost every year in one or another part of the region are formed rainfall floods, which approach or even exceed the historical size, such as rainfall floods in 1998, 2001 and 2008. Specialists periodically precise the probability characteristics of exceptional repeatability.

Statistical analysis of time series of runoff characteristics of rainfall floods (seasonal flood) is most often based on the method of moments, and in recent years - on the maximum likelihood method. Layers of river flow 1% probability, calculated on the basis of the curve of three-parameter gamma distribution with individual assessments and fixed ratio, varies depending on the geographical and altitude position of watersheds from 88 to 512 mm.

Getting to spatial generalization of runoff layers in mountainous areas, it is necessary first of all to have in mind that the characteristics of the runoff in the mountains, in contrast to the lowland areas, not depend of geographical zoning but depend from altitude distribution. Because of this, mapping runoff values substantially impossible in mountainous or has certain difficulties. Therefore, in all cases it is desirable to bring the data to a single high-rise level and depending to it realize their spatial generalization.

The second important factor that can upset the general pattern of runoff layer changes with height can be forested FI. In the Carpathians, forested of watersheds is quite significant - from 18 % (r. Studeny) to 95 % (r. Candle) with the average for the region - about 60%.

Increasing of the accuracy of calculation of the statistical parameters of time series of runoff characteristics can be achieved by combining sets within homogeneous landscape and hydrological areas. Jabour Khaldun and E. D. Gopchenko by the compatible analysis of fields presented to the height $H_p = 500$ m, the layers of flood flow and the variation coefficient C_v in the territory of the Carpathian region have been allocated 4 regions, as of 1988. The stated method has been tested inclusive of the results of statistical processing of time series of maximum flow rainfall floods on the territory of the Ukrainian Carpathians for 93 hydrological stations and posts to 2010, inclusive.

The convergence of the result of statistical processing and methodology is satisfactory, that allows the use of the proposed zoning for the determination of settlement layers runoff of rainfall floods on the rivers Ukrainian Carpathians for the present day.

Keywords: layer of flow, rain floods, generalization.

Надійшла до редколегії 26.02.2016