

УДК 556.166

НОРМУВАННЯ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ НА РІЧКАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Гопцій М.В.

Одеський державний екологічний університет

Запропонована методика повною мірою адаптована до характеристик дощових паводків на гірських річках Українських Карпат. Для досліджень та аналізу дощових паводків на річках Українських Карпат залучена гідрометеорологічна багаторічна інформація про шари стоку та максимальні витрати води дощових паводків теплого періоду (станом на 2010 рік) по 93 гідрологічних станціях і постах Державної мережі Гідрометслужби. Без жодних доопрацювань вона може бути застосована у практичній діяльності проектних установ. Запропонована модель має прямий розрахунок усіх складових. На відміну від діючих існуючих методів, розрахункова схема універсальна як для паводків, так і для весняних водопіль, тим паче для усього діапазону водозбірних площ - від окремих схилів до великих річкових систем. Науково-методична база пропонується як основа нормативної бази для розрахунків та прогнозів екстремальних явищ на річках України

Вступ. Розвиток як біосфери, так і людського суспільства у значній мірі знаходяться в залежності від стану водних ресурсів.

Небезпека повеней, як і будь-які інші види небезпеки в системі "людина-природа-суспільство", реалізується в надзвичайну ситуацію за стохастичними законами, що визначає принципову можливість суспільства управляти процесом шляхом обмежень і ослабленням небезпеки. Тому при плануванні і здійсненні протипаводкових заходів на перший план виходять задачі управління, спрямовані на створення комплексного механізму адміністративного і економічного регулювання використання затоплених територій. Розвиток нових моделей для дослідження фази максимального стоку в гідрологічному режимі річок за змінних умов є зараз неминучою необхідністю. Доцільним є створення нових методів для розрахунків і прогнозів параметрів повеней, і управління пов'язаним з ними ризиками, які враховують специфіку екстремальних процесів, їх просторову структуру і комплексний характер дії. Ці моделі повинні бути достатньо простими, але й універсальними, щоб застосовувати їх як корисний гідрологічний інструментарій в широкій інженерній практиці.

Метод дослідження. В основу державних стандартів в галузі максимального стоку покладено напівемпіричну структуру редуційного типу, яка відрізняється серед інших простотою у своїх побудованнях і можливістю визначення розрахункових величин безпосередньо по матеріалах спостережень. При узагальненні параметрів пропонується визначати їх, за відсутності часових рядів, використовуючи метод аналогії або відповідні карти та

таблиці, що наводяться у додатках. З метою надання розрахунковим формулам більшої універсальності, головним чином, з точки зору розмірів водозборів, при запровадженні СНиП 2.01.14-83 [1] штучно були зроблені деякі зміни у вихідних рівняннях. Це у свою чергу порушило строгість розрахункових схем і параметрів, що їх описують. Крім того, використання лише одного, хоча й інтегрального показника редуції (площі водозборів), не дозволяє дослідити вплив різних факторів, обумовлюючих трансформацію паводкових і повеневих хвиль окремо на схилах і в русловій мережі. Зокрема, це відноситься до всіх формул редуційного і об'ємного типів, а також формул граничної інтенсивності.

Багаторічні дослідження проф. Гопченка Є.Д. і його учнів в області методів розрахунку максимального стоку річок свідчать перш за все про структурні недоліки діючого нормативного документу СНиП 2.01.14-83. Більш того, цим документом регламентується порядок застосування його для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок - окремо для дощових паводків (з урахуванням розмірів водозборів) і весняних водопіль.

Тому для розрахунку максимального стоку дощових паводків гірських річок Українських Карпат пропонується застосувати формулу, засновану на моделі руслових ізохрон. За цією схемою формування максимального стоку розглядається у вигляді двооператорної моделі трансформації опадів у русловій стік. Перший оператор (стік схилів) описується характеристиками підстилаючої поверхні схилів, а другий - трансформацією схилового припли-

ву річкової мережі (через час руслового добігання, русло-заплавне регулювання і під впливом озер, водосховищ і ставків проточного типу).

Базисна структура, прийнята за основу при розробці методики розрахунку максимальних витрат води дощових паводків у межах гірського регіону Українських Карпат, ґрунтується на формулі операторного вигляду [2]

$$q_p = q'_{1\%} \psi(t_p / T_0) \varepsilon_{FR} \lambda_p, \quad (1)$$

де $q'_{1\%}$ - розрахунковий модуль схилового припливу 1%-ої ймовірності перевищення, м³/с км²;

$\psi(t_p / T_0)$ - трансформаційна функція, яка обумовлена часом руслового добігання;

ε_{FR} - трансформаційна функція, яка обумовлена русло-заплавним регулюванням;

r - коефіцієнт трансформації, пов'язаний з наявністю на водозборі озер, водосховищ чи ставків руслового типу;

λ_p - коефіцієнт переходу від опорної 1%-ої ймовірності перевищення до будь-якої іншої.

Реалізація (1) передбачає визначення усіх складових та дослідження впливу місцевих факторів на кожну з розрахункових характеристик.

Об'єкт та матеріали дослідження. Для досліджень та аналізу дощових паводків на річках Українських Карпат залучена гідрометеорологічна багаторічна інформація про шари стоку та максимальні витрати води дощових паводків теплої періоду (станом на 2010 рік) по 93 гідрологічних станціях і постах Державної мережі Гідрометслужби.

Гідрологічні пости розміщені досить рівномірно по всій території. Діапазон площ водозборів, які висвітлені гідрологічними спостереженнями, охоплює басейни з розміром від 18,1 (р. Кам'янка - с. Дора) до 9140 км² (р. Тиса - смт Вилочок). Недостатньо вивченими є невеликі водозбори з площею до 100 км² - їх частка становить 12,9%. Тривалість рядів спостережень за стоком води на досліджуваній території становить від 16 (р. Ріка - с. Нижній Бистрий) до 99 (р. Прут - м. Чернівці) років. Середній період спостережень становить 48 років.

Результати досліджень. Перша складова в розрахунковій формулі (1) представлена у вигляді максимального модуля схилового припливу q'_m , який враховує основні характеристики графіків схилового припливу: шар стоку

дощових паводків, коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу і тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі - T_0 . Розрахунковий максимальний модуль схилового припливу визначається за рівнянням вигляду:

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}; \quad (2)$$

де $\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі;

T_0 - тривалість схилового припливу, години;

$Y_{1\%}$ - максимальний шар стоку дощових паводків, мм.

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 [3].

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, $F = 657$ км², $H_{cp} = 330$ м) до 512 мм (р. Лужанка - м. Гошів, $F = 146$ км², $H_{cp} = 660$ м) [3].

В результаті дослідження здійснено просторове узагальнення шарів стоку в гірських районах. 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 виконане районування [4, 5] приведених шарів стоку 1%-ої забезпеченості за умови $H_{cp} = 500$ м і $f_{\lambda} = 50\%$ (табл.1, рис.1). Розрахункове рівняння має вигляд:

$$\bar{y} = \bar{y}_{500;50} k_H k_L, \quad (3)$$

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

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

$$k_H = 1 + \frac{\alpha_H}{\bar{y}_{500}} (H_{cp} - 500); \quad (3)$$

k_L - коефіцієнта впливу лісу на шар паводкового стоку, а саме:

$$k_L = 1 + \frac{\alpha_L}{\bar{y}_{500;50}} (f_L - 50); \quad (4)$$

Таблиця 1.

Районні значення параметрів рівняння шарів паводкового стоку від середньої висоти водозборів і залісеності

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

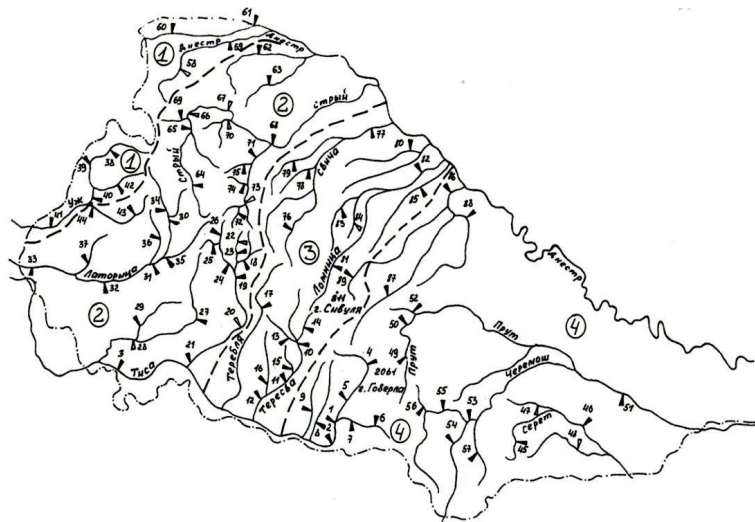


Рис. 1. Карта-схема районів, які виділені по середньому шару паводкового стоку, приведених до висоти 500 м (гірські річки Українських Карпат) [4]

Fig. 1. Map-scheme areas, which are allocated according to the average depth of flood runoff, given to the height of 500 m (mountain rivers of the Ukrainian Carpathians) [4]

Проаналізувавши залежність коефіцієнта нерівномірності руслового стоку $(m_1 + 1)/m_1$ від площі водозбору, встановлено і відповідний коефіцієнт нерівномірності схилового припливу у часі $(n + 1)/n$, який становить 9,19, а $n = 0,12$.

На кафедрі гідрології суші ОДЕКУ розроблено прикладне програмне забезпечення для визначення однієї з найбільш проблемних характеристик схилового припливу - тривалості

надходження талих і дощових вод до руслової мережі T_0 . Ґрунтується воно на генетичній моделі, свого часу запропонованій проф. Бефані А.М. Вирішується задача у декілька етапів з використанням методу простої однокрокової ітерації. Причому, на одній з ітераційних процедур вдається визначити, крім тривалості схилового припливу T_0 , ще й коефіцієнт руслозаплавного регулювання \mathcal{E}_F .

На підставі даних, отриманих в резуль-

таті дослідження впливу основних чинників на тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі, значення T_0 при $H_{cp} = 500$ м і $f_L = 50\%$ були узагальнені по території шляхом їх картування.

На рис.2 досліджувана характеристика відображена у вигляді ізоліній, які проведені

(для більшої точності визначення величини T_0) з кроком 20 годин. В окремих місцях, де спостерігаються високі градієнти параметру, крок між ізолініями може становити 10 або 60 годин.

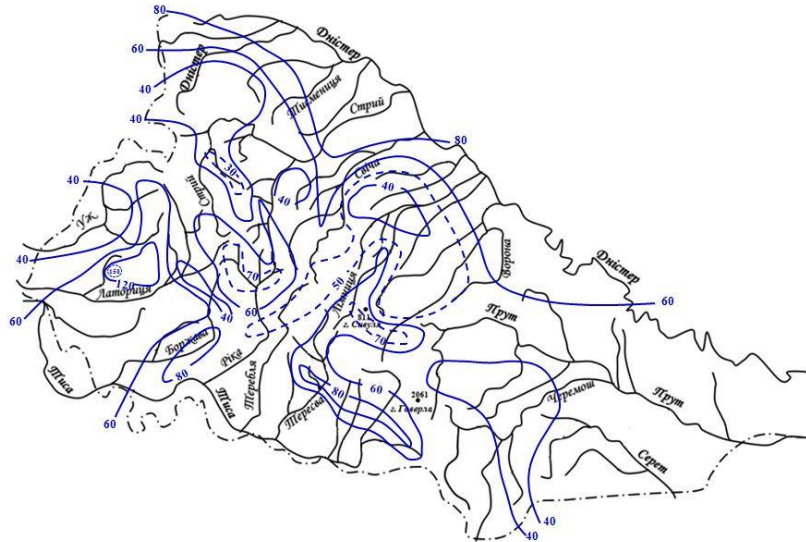


Рис. 2. Розподіл тривалості припливу води зі схилів у руслову мережу дощових паводків теплового періоду (год.), приведеної до $H_{cp} = 500$ м і $f_L = 50\%$

Fig. 2. The distribution of duration of water inflow from the slopes in resolves network of rain floods the warm period (h), given to $H_{cp} = 500$ m and $f_L = 50\%$

Як видно з рис.2, діапазон зміни T_0 по території досить великий – від 30 до 150 годин. Аналіз карти показує, що якоїсь загальної закономірності в зміні величини T_0 по території немає, проте можна виявити деякі особливості або закономірності в межах окремих районів. Так, треба відмітити райони карстових явищ, які відмічаються значним збільшенням тривалості схилового припливу.

Розрахункове рівняння для визначення T_0 має вигляд:

$$T_0 = (T_0)_{H=500, f_L=50} \cdot k'_H \cdot k'_L, \quad (5)$$

де $(T_0)_{H=500, f_L=50}$ - тривалості припливу води зі схилів у руслову мережу дощових паводків теплового періоду (год.), приведеної до $H_{cp} = 500$ м і $f_L = 50\%$;

k'_H - коефіцієнт впливу висотного по-

ложення водозборів на T_0 буде дорівнювати:

- для Закарпаття

$$k'_H = 1 + 0,43 \cdot 10^{-3} (H_{cp} - 500), \quad (6)$$

- для Передкарпаття

$$k'_H = 1 + 0,41 \cdot 10^{-3} (H_{cp} - 500); \quad (7)$$

k'_L - коефіцієнт впливу залісеності на збільшення тривалості схилового припливу дощових паводків:

- для Закарпаття

$$k'_L = 1 + 0,0108 (f_L - 50), \quad (8)$$

- для Передкарпаття вплив лісу незначний.

На території Українських Карпат розрахунковий модуль схилового припливу $q'_{1\%}$ змінюється від $3,01 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ (р. Лютянка (Люта) - с. Черноглова) до $14,5 \text{ м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ (р. Прут - м. Яремча).

Розпластування максимальних модулів при переміщенні паводкових хвиль по русло-

вій мережі під впливом часу руслового добігання враховується трансформційною функцією $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$, яка обумовлена часом руслового добігання t_p . При $n = 0,1,2$ і $m = 1,0$ вона визначається за допомогою рівнянь [2]:

- при $\frac{t_p}{T_0} < 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \cdot \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n \quad (9)$$

- при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \cdot \frac{T_0}{t_p} \cdot \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \cdot \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right] \quad (10)$$

Для урахування ефектів русло-

заплавного регулювання і водообміну вводиться функція ε_F , а для урахування можливого впливу озер, водосховищ і ставків проточного типу пропонується застосувати формулу, що рекомендується нормативним документом СНиП 2.01.14-83 [3].

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F узагальнено по території у вигляді:

- при $F > 100 \text{ км}^2$

$$\varepsilon_F = \exp[-0.350 \cdot \lg(F + 1)]. \quad (11)$$

- при $F < 100 \text{ км}^2$ за табл.2

Точність запропонованої методики на матеріалах 93 водозборів (з площами від 18,1 до 9140 км²), по результатах перевірочних розрахунків, знаходиться на рівні 19,3%, що практично відповідає точності вихідної

Таблиця 2

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F дощових паводків теплового періоду на річках Українських Карпат

$F, \text{ км}^2$	0	10	20	50	100
ε_F	1,00	0,89	0,79	0,60	0,50

Висновки.

1. Запропонована методика повною мірою враховує усі можливі стокоформуючі чинники на гірських річках Українських Карпат.

2. Необхідний мінімум вихідних даних: площа водозбору (F , км²), середньозважений уклон водотоку (I , ‰), гідрографічна довжина річки (L , км), середня висота водозбору (H_{cp} , м), залісеність водозбору (f_l , %).

3. Точність методики знаходиться на рівні точності вихідної інформації (до 20,0%).

4. Цю методику можна рекомендувати для практичного використання без яких-небудь доробок.

Список літератури

1. Posobie po opredeleniyu raschetnyih gidrologicheskikh harakteristik. - L.: Gidrometeoizdat, 1984. - 448 s.
 2. Gopchenko E.D., Romanchuk M.E. Normirovanie harakteristik maksimalnogo stoka vesen

nego polovodya na rekah Prichernomorskoj nizmennosti: Monografiya. - K.: KNT, 2005. - 148 s.

3. Goptsiy M.V. Statistichniy analiz chasovih ryadiv maksimalnih vitrat vodi ta shariv stoku richok Ukrayinskih Karpat // Materiali XI Mizhnarodnoyi naukovo-praktichnoyi Internet-konferentsiyi «Tendentsiyi ta perspektivi rozvitku nauki i osviti v umovah globalizatsiyi»: Zb. nauk. prats.- Pereyaslav-Hmel'niyskiy, 2016.- Vip. 11.- S.17-19.

4. Gopchenko E.D., Dzhabur Khaldun. Obosnovanie raschetnoy metodiki dlya opredeleniya sloya pavodchnogo stoka rek Karpat na baze shemyi rayonirovaniya territorii po usloviyam formirovaniya pavodkov // Meteorologiya, klimatologiya i gidrologiya, 1999. - Vyip.39. - S.222-232.

5. Goptsiy M.V. Vznachennya rozrahunkovih shariv pavodkovogo stoku dlya richok ukrayinskih karpats ta uzagalnennya yih po teritoriyi // Gidrologiya, gidrohimiya, gidroekologiya. - 2016. - Vip. 1(40). - S. 51-59.

Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Гошций М.В. Нормирование максимального стока дождевых паводков на реках Украинских Карпат

Предложенная методика в полной мере адаптирована к характеристикам дождевых паводков на горных реках Украинских Карпат. Для исследований и анализа дождевых паводков на реках Украинских Карпат привлечена гидрометеорологическая многолетняя информация о слоях стока и максимальных

расходов воды дождевых паводков теплого периода (по 2010 год, включительно) по 93 гидрологических станциях и постах Государственной сети Гидрометслужбы. Без никаких доработок она может быть применена в практической деятельности проектных учреждений. Предложенная модель имеет прямой расчет всех составляющих. В отличие от действующих существующих методов, расчетная схема универсальна как для паводков, так и для весенних половодий, тем более для всего диапазона водосборных площадей - от отдельных склонов до больших речных систем. Научно-методическая база предлагается как основа нормативной базы для расчетов и прогнозов экстремальных явлений на реках Украины.

Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Gopitsiy M.V. Regulation of the maximum runoff of rain floods on the rivers of the Ukrainian Carpathians

The development of new models to study the phase of maximum runoff in the hydrological regime of the rivers for variable conditions is now an unavoidable necessity. It is appropriate to creating new methods for calculations and predictions of parameters of floods and the management of associated risks, which take into account the specifics of extreme processes, their spatial structure and the complex nature of the action. These models must be sufficiently simple and versatile to use as it is useful hydrologic tools in wide engineering practice.

In today's climate change, both in Ukraine and in the world as a whole significantly increased probability of extreme opposite in hydrological phenomena - floods and droughts. Scientific work aimed at solving important applied problem - the development of scientific and methodological basis for the calculation of flood runoff characteristics of mountain regions of Ukraine, based on modern scientific achievements in the field of theoretical and applied hydrology, which have no analogues in other countries.

Scientific and methodological base in calculating the maximum flow characteristics in most countries are based on a synthesis of experimental materials observations using theoretical models based on the geometric schematization hydrographs of floods.

Disadvantages of simplistic approaches are it the structural base that had not takes in account time trends is due, for example, climate change or economic activity.

The use of methods envelope of experimental data dependencies ignores the features in multifactorial processes formation of streamflows in some catchments.

In Odessa State Environmental University there exists scientific school "Theoretical and Applied Hydrology" that has recognized in Ukraine and abroad and which has its main focus is the study of the formation of catastrophic floods. Depending on the environmental conditions prompted several theoretical submodels on which possible building the regulatory procedures in the area of maximum flow. The authors proposed the variant of calculation scheme, realizing principal two operator's model of drainage formation. It is obvious that two operators must describe the process of formation of channel runoff: "precipitations – slope influx" and "slope influx – channel runoff".

To justify the calculation methods used data base of maximum rain flood runoff on 93 hydrological stations and posts of the State Hydrometeorological network within the territory of the Ukrainian Carpathians.

All components of the calculating scheme had determined using statistical analysis and spatial generalization, accuracy of methods is at the level of accuracy of the initial information, and the method itself is recommended for practical use.

- The authors proposed the variant of calculation scheme, realizing principal two operator's model of drainage formation. It is obvious that two operators must describe the process of formation of channel runoff: "precipitations – slope influx" and "slope influx – channel runoff".

- To justify the calculation methods used data base of maximum rain flood runoff on 93 hydrological stations and posts of the State Hydrometeorological network within the territory of the Ukrainian Carpathians.

- All components of the calculating scheme had determined using statistical analysis and spatial generalization, accuracy of methods is at the level of accuracy of the initial information, and the method itself is recommended for practical use.

The proposed method fully adapted to the characteristics of rain floods on the mountain rivers of the Ukrainian Carpathians. Without any modifications it can be applied in practical activity of project facilities. The proposed model is the direct calculation of all components. Unlike current existing methods, the design scheme is universal for floods and spring floods, especially for the entire range of catchment areas from single slopes to large river systems. Scientific and methodological basis is proposed as the basis of the regulatory framework for the calculations and projections of extreme phenomena on the rivers of Ukraine.