

УДК 551.166

Гопцій М.В.

Одеський державний екологічний університет, м. Одеса

УЗАГАЛЬНЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СХИЛОВОГО ПРИПЛИВУ ПАВОДКОВОГО СТОКУ ТЕПЛОГО ПЕРІОДУ НА РІЧКАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

Ключові слова: тривалість схилового припливу, дощові паводки, просторові узагальнення, паводковий стік

Вступ. Тривалість схилового припливу, як й інші характеристики схилового стоку, в періоди формування дощових паводків і весняних водопіль є одними з провідних параметрів у розрахункових схемах максимального стоку і входять до їх структури у явному або прихованому вигляді.

Виходячи з теорії руслових ізохрон, максимальний модуль схилового припливу безпосередньо залежить від трьох складових схилових гідрографів (шару стоку, тривалості припливу і коефіцієнта його часової нерівномірності), тобто [1].

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (1)$$

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу; $(n+1)/n$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу; T_0 - тривалість схилового припливу; Y_m - шар схилового стоку.

Матеріали та об'єкт дослідження. Для досліджень та аналізу дощового стоку на річках Українських Карпат використані багаторічні часові ряди по шарах та максимальних витратах води дощових паводків теплового періоду 93 гідрометеорологічних станцій та постів (по 2010 рік, включно). Періоди спостережень більші ніж 15 років і площа водозборів від 18,1 км² (р. Кам'янка – с. Дора) до 9140 км² (р. Тиса – смт Вилोक). Найбільш тривалий ряд становить 99 років (р. Прут - м. Чернівці), найменший - 16 років (р. Ріка - с. Нижній Бистрий).

У відповідності з рекомендаціями нормативного документу СНиП 2.01.14-83 [2], статистична обробка максимальних витрат води та шарів стоку проводилась двома методами - моментів та найбільшої правдоподібності. Їх аналіз показав, що за обома методами одержані практично однакові значення коефіцієнтів варіації. Точність вхідних даних по максимальному стоку дощових паводків 1%-ї ймовірності щорічного перевищення на річках Українських Карпат оцінюється на рівні 15,8% [3].

Як вже зазначалося вище, для розробки методики розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Українських Карпат була обрана структура операторного типу [1, 4]. Вона усуває деякі недоліки, що виникають при використанні нормативного документу СНиП 2.01.14-83.

Реалізація (1) передбачає визначення усіх складових, але у цій статті розглядається лише розрахункова тривалість схилового припливу T_0 до руслової мережі.

Науково-методичні рекомендації щодо визначення розрахункової тривалості схилового припливу води до руслової мережі. Відсутність спостережень за схиловим припливом є причиною того, що такий важливий чинник трансформації атмосферних опадів на схилах, як тривалість припливу, досить часто враховується у формулах максимального стоку опосередковано, тобто входить у ті чи інші розрахункові комплекси.

Обчислювальна процедура встановлення тривалості схилового припливу у структурі формул, заснованих на теорії руслових ізохрон, є більш складною у порівнянні із найбільш простими варіантами, які можуть бути реалізованими в структурах геометричних моделей. Тому відносно T_0 можна скористатись рівнянням [1]:

- при $t_p/T_0 < 1,0$

$$T_0 = \left(\frac{Y_m \varepsilon_F}{n q_m} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left[(n+1) T_0^n - \frac{m_1+1}{n+m_1+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}, \quad (2)$$

- при $t_p/T_0 \geq 1,0$

$$T_0 = \frac{m_1+n+1}{n+1} \frac{q_m}{Y_m \varepsilon_F} \frac{m_1+n+1}{(n+1)} t_p^{\frac{m_1}{m_1+1}}. \quad (3)$$

Визначення T_0 в структурах (2) і (3) ускладнюється тим, що в кожній з них, крім T_0 , невідомим залишається ще й коефіцієнт русло-заплавного регулювання ε_F . У свою чергу наявні рівняння не утворюють системи. Тому кожне з рівнянь необхідно розглядати в два етапи (з накладанням обмежень на параметр ε_F), приймаючи на першому етапі $\varepsilon_F = 1,0$. Слід також зауважити, що за таких умов на першому етапі алгебраїчним шляхом буде вирішуватись лише рівняння (3). Щодо рівняння (2), а саме з нього розпочинається процедура визначення T_0 , то воно трансцендентного типу і для свого вирішення потребує залучення обчислювальних методів. Досить ефективним, на наш погляд, може бути застосування методу простої однокрокової ітерації. Рівняння (2) має два дійсних корні, причому фізично задовольняючим вирішенню поставлених задач, служить верхній з них. Ось чому пропонується нульове наближення T_0 завжди розпочинати з деякого числа, більшого за тривалість руслового добігання t_p . Точність, з якою відбувається ітерація задається дослідником. Послідовність обчислювальних процедур відбувається автоматично. Задане завідомо більше, ніж t_p , початкове наближення використовується для здійснення пошуку кореня T_0 у рівнянні (2). На кожному кроці відбувається порівняння обчислень T_0 з тривалістю руслового добігання t_p . Якщо на якомусь кроці $t_p > T_0$, а задана точність не досягається, то пошук тривалості T_0 буде відбуватися у структурі рівняння (3), але вже алгебраїчним шляхом [1].

Після вирішення задачі встановлення T_0 на першому етапі подальшим є побудування залежності T_0 від розміру водозборів. За її допомогою визначається середня для регіону величина $T_0 = T'_0$, як відрізок на осі ординат залежності $T_0 = f \lg(F+1)$ при $F=0$.

Оберненим шляхом встановлюються відповідні коефіцієнти русло-заплавного

зрегулювання ε_F . Їх узагальнення, виконується графічним шляхом при використанні функції вигляду [1]

$$\varepsilon_F = e^{-b \lg(F+1)}. \quad (4)$$

Тепер, за наявності залежності $\varepsilon_F = f(F)$, на другому етапі здійснюється остаточне вирішення рівнянь (2) і (3) відносно T_0 . Необхідно зауважити, що на залежностях ε_F від $\lg(F+1)$ згладжуюча лінія проводиться таким чином, щоб вона виходила зі свого верхнього граничного значення $\varepsilon_F = 1,0$ при $F \rightarrow 0$. У подальшому при збільшенні F параметр ε_F має убуваючий характер.

Закінчується обчислювальна комп'ютерна процедура фінальними значеннями T_0 , які підлягають дослідженню на їх залежність від місцевих чинників (залісеності, заболоченості, закарстованості водозборів) та їх висотного положення.

На кафедрі гідрології суші ОДЕКУ запропонована обчислювальна програма «Сагуар», за допомогою якої автоматизовано процедуру пошуку T_0 в структурі рівнянь (2) або (3).

При визначенні тривалості схилового припливу T_0 постає потреба й у визначенні коефіцієнта часової нерівномірності схилового припливу $(n+1)/n$. Він встановлюється за методом, який свого часу був запропонований Є.Д. Гопченком [5] і базується на даних мережі гідрологічних станцій і постів.

Для обґрунтування $(n+1)/n$ використовуються коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку $(m_1+1)/m_1$. Екстраполяція залежності $(m_1+1)/m_1 = f(F)$ на вісь ординат є шукане значення параметра $((m_1+1)/m_1)_{F=0} = (n+1)/n$.

Для гірських річок Українських Карпат $\frac{n+1}{n} = 9,19$, а $n = 0,12$.

Науково-методичні рекомендації щодо просторового узагальнення характеристик схилового припливу річок. Просторові узагальнення можливі у формі районів або представлення T_0 за допомогою карт. Пропонується така послідовність здійснення просторових узагальнень T_0 :

1. Спочатку фінальні величини тривалості схилового припливу T_0 перевіряються на нормальність за допомогою критерію Гауса [2]

$$\frac{\sigma_{T_0}}{\rho_{T_0}} = \sqrt{\pi/2} \approx 1,25, \quad (5)$$

де σ_{T_0} - середнє квадратичне відхилення T_0 від середнього територіального ($T_{0,сер}$); ρ_{T_0} - середнє арифметичне відхилення

Якщо вихідні матеріали задовольняють умові (5), то на цьому просторове узагальнення і закінчується при T_0 , яке дорівнює середньому з N об'єктів.

Невідповідність даних критерію Гауса є підставою для подальших досліджень T_0 , але вже в залежності від місцевих чинників.

2. Будується залежність T_0 від місцевих факторів. Необхідно при цьому мати на увазі, що методично по різному здійснюються узагальнення характеристик

паводкового і повеневого стоку.

Просторове узагальнення T_0 дощових паводків. Враховуючи локальний характер паводкоформуєчих опадів, вихідні побудовані залежностей $T_0 = f(\varphi^{\circ} \text{пн.ш.})$ не є ефективним науково-методичним прийомом. Тому, починаючи аналіз факторної обумовленості T_0 , доцільно починати з висотного положення водозборів, а потім поступово дослідити вплив на схилу зарегульованість паводкового стоку залісеності і заболоченості. Приведені величини $T_0 = (T_0)_{пр}$ визначаються за рівнянням

$$(T_0)_{пр} = \frac{T_0}{k_H \cdot k_L \cdot k_B}. \quad (6)$$

Осереднюються вони у межах розглядуваної території або районується.

Таким чином, автором при обґрунтуванні T_0 пропонуються методичні підходи, які спираються на структури об'ємного типу і операторні моделі.

Методи та результати досліджень. Приступаючи до узагальнення T_0 по території, необхідно, як показано вище, проаналізувати вплив місцевих чинників на тривалість схилового припливу (залісеності і заболоченості) і географічного положення водозборів.

Дослідження місцевих факторів здійснювалось в основному за басейновим принципом, тому досліджувана територія поділена відповідно до фізико-географічного районування на Закарпаття та Передкарпаття.

Щоб з'ясувати ступінь впливу на тривалість схилового припливу дощових паводків кожного з місцевих чинників, необхідно спочатку виключити вплив висотного положення водозборів. З цією метою були побудовані залежності вигляду $T_0 = f(H_{ср})$, як показані на рис.1 (а,б).

З рис.1 видно, що тривалість схилового припливу дощових паводків на річках як *Закарпаття*, так і *Передкарпаття* загалом підкоряється висотній поясності, причому із збільшенням висоти водозборів T_0 збільшується. Отримана залежність дозволяє привести всі дані до однієї висоти, наприклад, $H_{ср} = 500$ м, тобто

$$(T_0)_{H=500} = T_0 - a_H(H - 500), \quad (7)$$

де $(T_0)_{H=500}$ – приведені до умовної висоти 500 м значення тривалості схилового припливу дощових паводків; a_H - кутовий коефіцієнт.

Тоді коефіцієнт впливу висотного положення водозборів на T_0 буде дорівнювати:

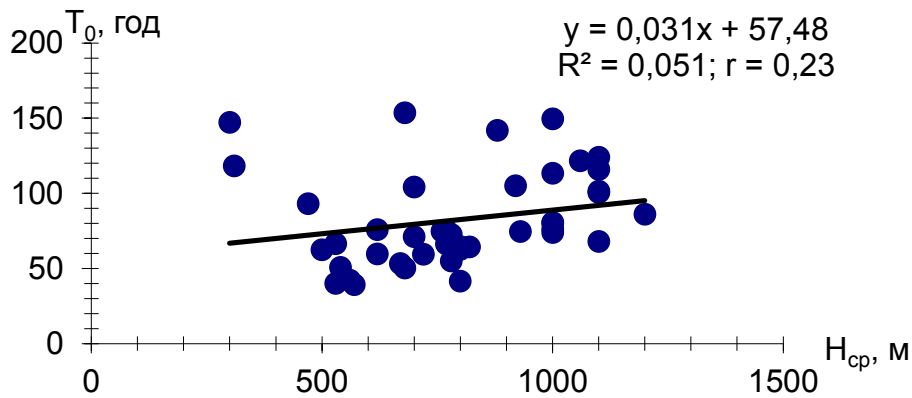
- для Закарпаття

$$k_H = 1 + 0,43 \cdot 10^{-3}(H_{ср} - 500), \quad (8)$$

- для Передкарпаття

$$k_H = 1 + 0,41 \cdot 10^{-3}(H_{ср} - 500). \quad (9)$$

а)



б)

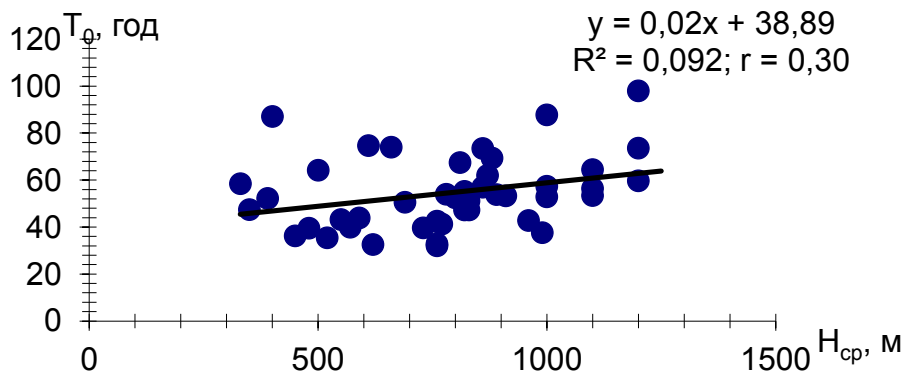


Рис. 1. Залежність тривалості схилового припливу (год.) дощових паводків теплого періоду від висотного положення водозборів: а) Закарпаття, б) Передкарпаття

Приведені значення тривалості схилового припливу $(T_0)_{H=500}$ можна досліджувати на можливий вплив на їх величину залісеності водозборів f_L (рис.2 а,б).

На підставі залежності (див. рис. 2 а) для Закарпаття встановлено коефіцієнт впливу залісеності на збільшення тривалості схилового припливу дощових паводків k_L

$$k_L = 1 + a_{k_L} (f_L - 50), \quad (10)$$

де $a_{k_L} = 0,0108$.

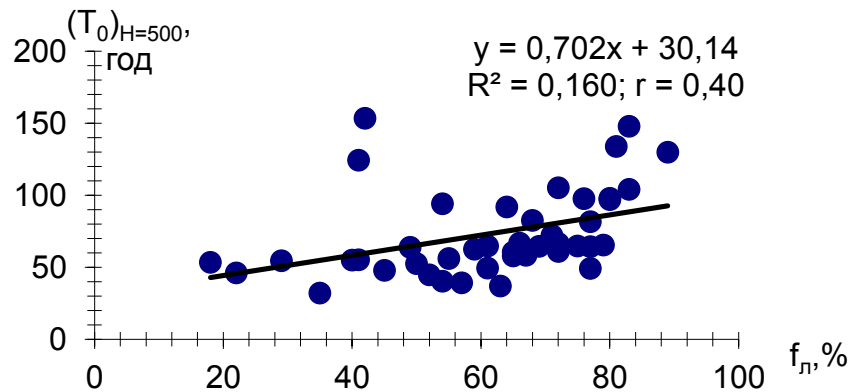
Для Передкарпаття вплив лісу незначний.

Розрахувавши за (10) коефіцієнти залісеності k_L , можна виключити їх вплив на T_0 , якщо $(T_0)_{H=500}$ розділити на k_L , тобто

$$(T_0)_{H=500, f_L=50} = \frac{(T_0)_{H=500}}{k_L}. \quad (11)$$

Заболоченість на гірських водозборах майже відсутня, тому не має сенсу виявляти її вплив.

а)



б)

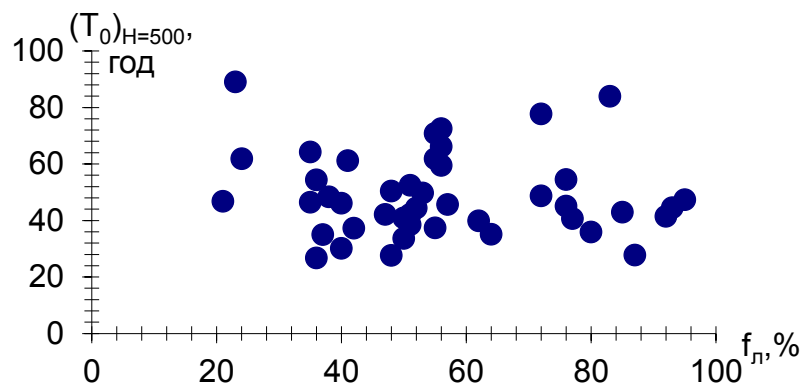


Рис. 2. Залежність приведених значень тривалості схилового припливу дощових паводків $(T_0)_{H=500}$ (год.) від залісеності водозборів: а) Закарпаття; б) Передкарпаття

Використовуючи рівняння (8-9) і (10), можна, виключивши з вихідних величин T_0 вплив висотного положення і залісеності, приступити до просторового узагальнення приведених (до $H_{ср} = 500$ м і $f_{л} = 50$ %) значень тривалості схилового припливу дощового стоку. Звичайно таке узагальнення досягається побудовою відповідних карт (рис.3).

На підставі даних, отриманих в результаті дослідження впливу основних чинників на тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі, значення T_0 $H_{ср} = 500$ м і $f_{л} = 50$ % були узагальнені по території шляхом їх картування. На рис.3 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.

Як видно з рис.3, 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.

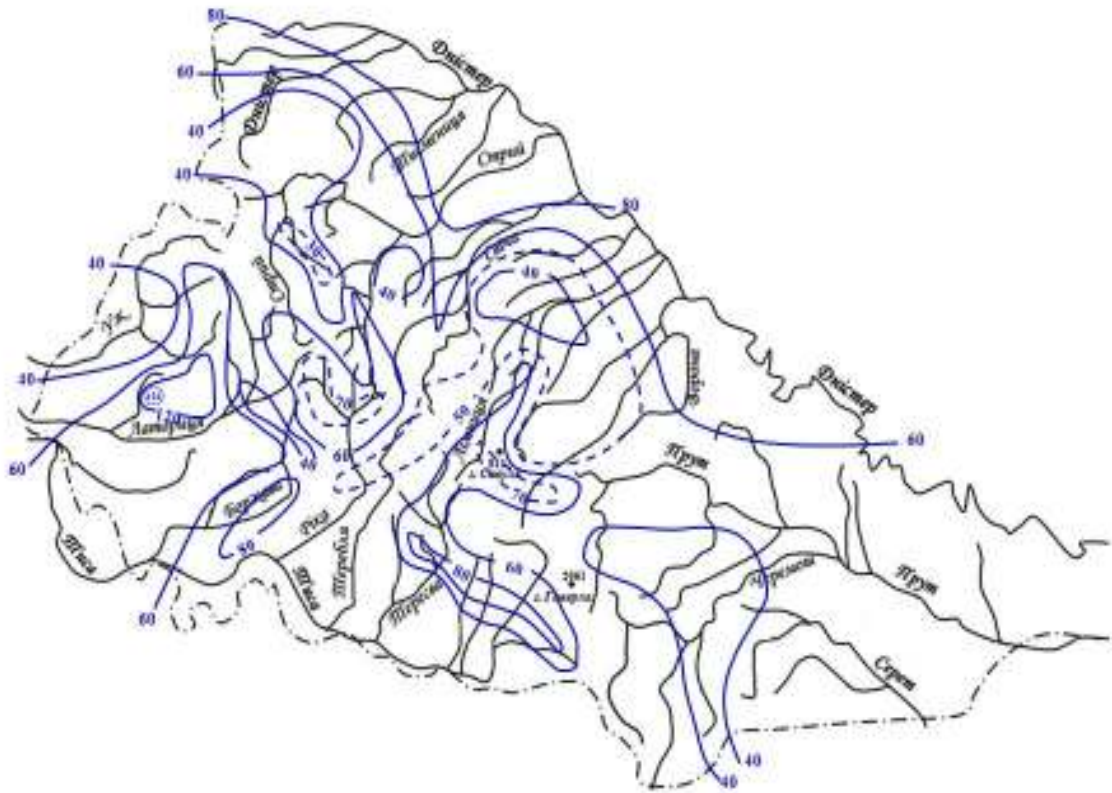


Рис. 3. Розподіл тривалості припливу води зі схилів у руслову мережу дощових паводків теплового періоду (год.), приведеної до $H_{CP} = 500$ м і $f_{л} = 50$ %

Висновки. Перевірочні розрахунки свідчать, що похибка карти знаходиться у межах $\pm 8,6\%$, що відповідає точності вихідних даних по стоку дощових паводків на гірських річках Українських Карпат.

При використанні карти в зняті величини необхідно внести відповідні поправки впливу висотного положення та залісеності водозборів.

Список літератури

1. Гопченко Є.Д. Сучасна нормативна база в галузі максимального стоку та шляхи її удосконалення / Є.Д. Гопченко // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. - Вип. 255. – С.201 – 212.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеоздат, 1984. – 447 с.
3. Гопцій М.В. Статистичний аналіз часових рядів максимальних витрат води та шарів стоку річок Українських Карпат / М.В. Гопцій // 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.
4. Гопцій М.В. Про недоліки структурної бази нормативного документу СНиП 2.01.14-83 / М.В. Гопцій, Є.Д. Гопченко // Вісник ОДЕКУ. - 2009. - Вип. 8. – С.209-213.
5. Гопченко Є.Д. О расчете максимальных расходов весеннего половодья в бассейне р.Оки / Е.Д. Гопченко, Т.А Симонова // Водные ресурсы. - №6. – С. 54-61.

Узагальнення тривалості схилового припливу паводкового стоку теплового періоду на річках Українських Карпат

Гопцій М.В.

На базі сучасної вихідної інформації по максимальному стоку гірського регіону виконано просторового узагальнення розрахункової тривалості схилового припливу дощового стоку до руслової мережі на річках Українських Карпат. Обчислювальна процедура встановлення

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2016. – Т.3(42)

тривалості схилового припливу заснована на теорії руслових ізохрон, яка дозволяє ураховувати увесь діапазон площ водозборів та вплив місцевих чинників на розрахункові характеристики схилового стоку.

Ключові слова: тривалість схилового припливу, дощові паводки, просторові узагальнення, паводковий стік.

Обобщение продолжительности склонного притока паводкового стока теплого периода на реках Украинских Карпат

Гопций М.В.

На базе современной исходной информации по максимальному стоку горного региона выполнено пространственное обобщение расчетной продолжительности склонного притока дождевого стока в русловую сети на реках Украинских Карпат. Вычислительная процедура установления продолжительности склонного притока основана на теории русловых изохрон, которая позволяет учитывать весь диапазон площадей водосборов и влияние местных факторов на расчетные характеристики склонного стока.

Ключевые слова: продолжительность склонного притока, дождевые паводки, пространственные обобщения, паводковый сток.

A generalization of the length of the inclined tributary flood flow of the warm period on the rivers of the Ukrainian Carpathians

Goptsiy M.V.

The duration of the slope inflow are among the leading of parameters in the calculation formulas of the maximum modification of flow which are part of the structure in an explicit or latent form, as well as other characteristics of the prechannel flow during the formation of rainfall floods and spring floods.

For the development, methodology for calculating of the characteristics the maximum runoff of rainfall floods of the Ukrainian Carpathians Rivers had been selected operator type structure [3, 4], which eliminates some of the disadvantages arising from the use of normative document of SNIP 2.01.14-83.

Computational procedure for establishing the duration of the slope inflow in the structure of formulas had been based on the theory of the isochronous channel, is more complex in comparison with the most simple variant that can be implemented in the structures of geometric models.

Determination T_0 of the structures (2) and (3) it has been complicated by the fact that in each of them T_0 , except coefficient of the channel-floodplain regulation also has an unknown ε_F . In turn, the existing equation do not form systems. Therefore, each of the equations must be considered in two stages (overlapping restriction on parameter ε_F), assuming the first stage $\varepsilon_F = 1.0$. It should also be noted that under these conditions in the first step algebraic way will only be solved equation (3). According to equation (2), from which was begin of the procedure definition it is T_0 a transcendent type and for their solution requires the use of computational methods. Enough effective, in our opinion, could be the use of a methods simple one-step iteration.

Ends computer computing procedure is final values, which are to be inspected for their dependence on local factors (forest coverage, wetland, karst catchments) and their height position.

Based on the data derived from the study of the influence of major factors on the duration of the flow of water from the slopes to the channel network, the values have been compiled by T_0 them on the territory of the mapping. Figure 3 of the characteristic has been reflected in the form of isolines that are conducted (for greater accuracy in determining the value T_0) in steps 20 hours. In some places where there are high gradients of the parameter, the step between isoline may be 10 or 60 hours.

As seen from Figure 3, the range of the duration the flow of water from the slopes in the channel network of rainfall floods the warm period, shown in $H_{cd} = 500$ & $f_n = 50\%$, and the territory is large enough - from 30 to 150 hours. Analysis of the maps shows that some general patterns in change the value the territory T_0 is not, however, it was possible to identify some of the features or regularities within separate regions. Yes, it should be noted areas of karst phenomena, which had been marked a significant increase in the duration the slope inflow.

Keywords: length inclined inflow, rainfall events, spatial generalization, and flood flows.

Надійшла до редколегії 27.09.2016