

УДК 556.16 PACS: 92.40.qp

УДОСКОНАЛЕННЯ РОЗРАХУНКОВО-НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ І ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ

Є. Д. Гопченко, д-р. геогр. наук, проф.

В. А. Овчарук, канд. геогр. наук, доц.

М. Є. Романчук, канд. геогр. наук, доц.

Одеський державний екологічний університет,
вул. Львівська, 15, 65016, Одеса, Україна, gidro@odeku.edu.ua

У статті обґрунтовується методична основа для нормування розрахункових характеристик екстремально високих витрат води весняних водопіль і дощових паводків, які представляють собою велику небезпеку для гідротехнічних об'єктів та їх експлуатації в басейнах річок, а також для населених пунктів.

Науково-методична база ґрунтується на використанні геометричної структури одно-модальних гідрографів схилового припливу і руслового стоку. З метою спрощення розрахункової схеми гідрографи розглядаються у розгорнутому часовому форматі, починаючи з максимальних витрат води. Це у свою чергу сприяє просторово-часовому узагальненню характеристик як схилового припливу, так само й гідрографів руслового стоку.

Ключові слова: максимальний стік, весняне водопілля, дощові паводки, схиловий приплив, русловий гідрограф.

1. ВСТУП

Екстремально високі гідрографи весняних водопіль і дощових паводків представляють собою велику небезпеку для гідротехнічних об'єктів та їх експлуатації в басейнах річок, а також населених пунктів. При будівництві інженерних споруд і їх експлуатації (мостових переходів, паводкозахисних дамб тощо) орієнтуються зазвичай на розміри паводків і водопіль тієї чи іншої ймовірності перевищення і, враховуючи значну кількість запропонованих теоретичних моделей, здійснені відповідні для них класифікації. До різних категорій віднесені: формули, які пов'язані з вихідними моделями у вигляді геометричних фігур, ізохрон руслового добігання паводкових і повеневих хвиль, а також формули граничної інтенсивності [1-5].

Однак слід зауважити, що у своїй більшості, незважаючи на характерні подібності у формах гідрографів стоку, формули для визначення розрахункових параметрів поділяються не тільки по генетичних особливостях їх походження, а часто і залежно від площі водозборів річок.

У колишньому СРСР і до цього часу характеристики гідрографів стоку базуються на структурі редуційних формул, із залученням даних річок-аналогів, причому шари стоку приймаються без зрізки ґрунтового живлення.

Стосовно дощових паводків, то залежно від розмірів водозборів можуть застосовуватись як формули граничної інтенсивності (при площах

водозборів $F < 200 \text{ км}^2$), так і редуційні (при $F > 200 \text{ км}^2$)[6].

Метою даної роботи є теоретичне обґрунтування єдиної структурної бази для всього діапазону водозбірних площ річок і не залежно від генетичних типів паводків і водопіль. Різниця між ними стосується лише розміру водозборів.

2. СУЧАСНА НОРМАТИВНА БАЗА В ГАЛУЗІ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК

Чинним в Україні нормативним документом для обґрунтування розрахункових характеристик паводків і водопіль є СНіП.2.01.14-83[6]. Базові рівняння в основному належать до структури редуційного типу.

Для максимального стоку весняного водопілля розрахункова формула описується рівнянням

$$q_m = \frac{K_0 Y_m}{(F + b)^{n_1}}, \quad (1)$$

де q_m – максимальний модуль стоку розрахункової ймовірності перевищення, $\text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$; Y_m – розрахунковий шар стоку, мм; K_0 – коефіцієнт дружності весняного водопілля; F – площа водозборів, км^2 ; b – емпіричний параметр, який враховує уповільнення редуції максимальних модулів стоку в області невеликих річок.

Для максимального стоку дощових паводків

при $F \geq 200 \text{ км}^2$ розрахункова формула (1) має дещо іншу редакцію [6]

$$q_m = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n, \quad (2)$$

де q_{200} - максимальний модуль стоку дощових паводків, приведений до умовної площі водозборів $F = 200 \text{ км}^2$.

Максимальні модулі стоку дощових паводків в діапазоні $F < 200 \text{ км}^2$ визначаються за формулою граничної інтенсивності [6]

$$q_m = A_m H_m \eta, \quad (3)$$

де A_m - максимальний модуль стоку, виражений у частках добутку ηH_m , і визначається за таблицями, залежно від геоморфологічної характеристики русла Φ і тривалості схилового добігання t_{cx} , причому

$$\Phi = 1000L / [m_p t^m F^{1/4} (\eta H_m)^{1/4}], \quad (4)$$

де L - гідрографічна довжина річок, км; m_p - гідравлічний параметр русла; m - степеневий показник; t_p - середньозважений уклон русла річки, ‰; H_m - максимальний добовий шар опадів, мм; η - збірний коефіцієнт паводкового стоку.

У структурному відношенні розрахункові варіанти (1) і (2) слід віднести до емпіричних формул. Свого часу Д. Л. Соколовський [1] й інші дослідники [7-9] здійснили спробу надати (1) і (2) теоретичного обґрунтування. Вихідна модель, яку можна віднести до геометричних, має вигляд трикутників (рис. 1).

Площа трикутників Y_m дорівнює:

а) для схилового припливу

$$Y_m = \left(\frac{1}{k'_\phi} \right) T_0 q'_m; \quad (5)$$

б) для руслового стоку

$$Y_m = \left(\frac{1}{k_\phi} \right) T_n q_m. \quad (6)$$

Враховуючи, що у русловій мережі втрати схилового стоку мало різняться від величини схилового припливу, то рівняння (5) і (6) були об'єднані у вигляді [5]

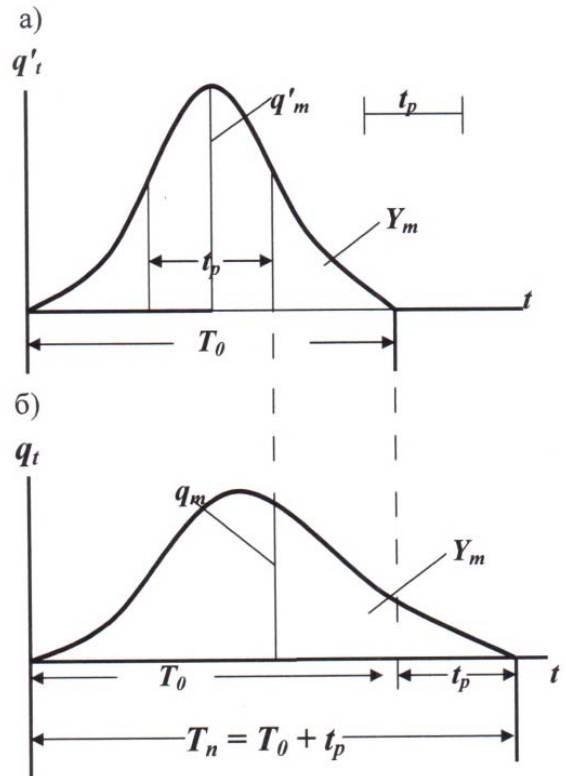


Рис. 1 – Принципіальна модель трансформації схилового припливу (q'_t) у русловий гідрограф стоку (q_t).

$$q_m = \frac{k_\phi}{k'_\phi} q'_m \frac{T_0}{T_0 + t_p}, \quad (7)$$

де k'_ϕ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

k_ϕ - коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$k_m = \frac{k_\phi}{k'_\phi}$ - коефіцієнт трансформації гідрографів

схилового і руслового стоку;

$k_n = \frac{T_0}{T_0 + t_p} = \frac{1}{1 + t_p/T_0}$ - коефіцієнт русло-

заплавного зарегулювання дощових паводків (весняних водопіль); T_0 - тривалість схилового припливу; t_p - тривалість руслового добігання дощових паводків (водопіль); q'_m - максимальний модуль схилового припливу паводкових хвиль, який, враховуючи (5), дорівнює

$$q'_m = k'_\phi \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 Y_m, \quad (8)$$

k_0 - коефіцієнт схилової трансформації паводків (водопіль).

Розрахунковий модуль руслового стоку q_m буде дорівнювати

$$q_m = q'_m k_m k_n. \quad (9)$$

Пристаючи до визначення параметрів, що входять до (9), звернемо увагу на відсутність безпосередніх матеріалів спостережень за гідрологічним режимом схилового припливу. У розрахунковій схемі Д. Л. Соколовського [1], з метою спрощення, приймається, що коефіцієнти k'_ϕ і k_ϕ співпадають. За цієї умови рівняння (7), а таким чином і (9), суттєво спростяться. Зокрема, (7) запишеться у вигляді

$$q_m = q'_m \frac{T_0}{T_0 + t_p} = q'_m \frac{1}{1 + t_p/T_0}. \quad (10)$$

Враховуючи (10), можна записати тотожність $\frac{1}{1 + t_p/T_0} = f(F)$. Тоді (10) запишеться в редакції

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + t_p/T_0} = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (11)$$

Шляхом спрощень, в [1] та [8] робиться акцент, що редуційна структура (11) є узагальненим варіантом формули максимального стоку. Але це не зовсім так, бо припущення $k'_\phi = k_\phi$, з одного боку, а $T_n = T_0 + t_p$, з іншого, не є очевидними. Не відповідає дійсності також і тотожність

$$\frac{1}{1 + t_p/T_0} = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (12)$$

Авторами статті вихідна модель приймається також у вигляді трикутників одномодальної форми, але за умови, що у процесі переміщення паводкових і повеневих хвиль відбувається відповідна трансформація гідрографів стоку. Щодо тривалості руслового стоку, то T_n дорівнює

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (13)$$

де Δt - тривалість спрацювання акумульованого об'єму води після проходження піку паводків (водопіль). Тоді

$$\frac{1}{(F + 1)^{n_1}} = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}}. \quad (14)$$

Таким чином, структура розрахункової формули максимального стоку дощових паводків і водопіль буде описуватись рівнянням (9), але за умови, що коефіцієнти форми гідрографів стоку k'_ϕ і k_ϕ

мають різні значення у процесі переміщення паводків (водопіль).

3. МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ, ЩО ПРОПОНУЄТЬСЯ АВТОРАМИ СТАТТІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК

За вихідну модель приймаються паводки і водопілля одномодальної форми (рис. 2)

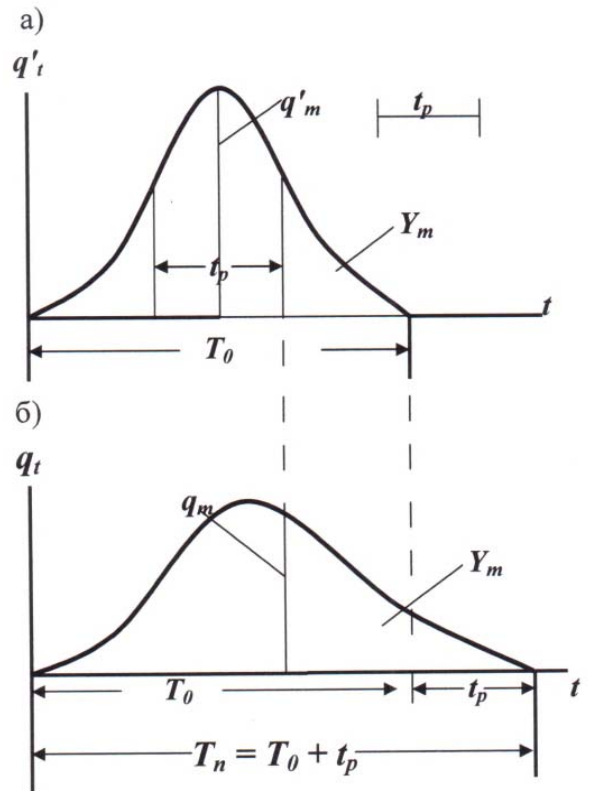


Рис. 2 – Гідрографи схилового (а) і руслового стоку (б).

В рамках поставленого завдання хронологічні гідрографи q'_t і q_t представимо у редуційній формі, тобто:

а) для схилового стоку

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (15)$$

б) для руслового стоку

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right]. \quad (16)$$

Якщо (15) і (16) проінтегрувати, відповідно, по T_0 (схильний стік) і T_n (русловий стік), то отримаємо вирази для шарів стоку:

- схилового стоку

$$(Y_m)_{cx} = \int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m \frac{n}{n+1} T_0; \quad (17)$$

- руслового стоку

$$(Y_m)_{pysc} = \int_0^{T_n} q_t dt = q_m \frac{m}{m+1} T_n. \quad (18)$$

За умови, що $(Y_m)_{cx} = (Y_m)_{pysc}$,

$$q'_m \frac{n}{n+1} T_0 = q_m \frac{m}{m+1} T_n. \quad (19)$$

Відносно q_m рівняння (19) запишеться в редакції

$$q_m = \left(\frac{m+1}{m}\right) / \left(\frac{n+1}{n}\right) q'_m \frac{T_0}{T_n}. \quad (20)$$

Введемо до (20) позначення:

$$k_m = \left(\frac{m+1}{m}\right) / \left(\frac{n+1}{n}\right) \left(\frac{T_0}{T_n}\right) = k_n, \text{ тоді}$$

$$q_m = q'_m k_m k_n, \quad (21)$$

де q'_m – розрахунковий модуль схилового припливу

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (22)$$

k_m – коефіцієнт часової нерівномірності паводкового (повеневого) руслового стоку; k_n – коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль).

4. РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАПРОПОНОВАНОЇ МОДЕЛІ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ПАВОДКІВ І ВОДОПІЛЬ

Послідовність визначення розрахункових параметрів (21) наступна.

1. Виходячи з (18), коефіцієнти часової нерівномірності руслових гідрографів дорівнюють:

$$\frac{m+1}{m} = \frac{q_m T_n}{Y_m} k_p, \quad (23)$$

де: q_m – максимальні модулі руслового стоку паводків (водопіль);

T_n – тривалість паводків (водопіль);

k_p – коефіцієнт розмірності;

Y_m – шари паводкового стоку або водопілля.

Для більшої надійності визначення $\frac{m+1}{m}$ доцільно його розрахувати по середніх за період спостережених величинах $\bar{q}_m \bar{T}_n \bar{Y}_m$.

Просторове узагальнення $\frac{m+1}{m}$ здійснюється в залежності від розмірів водозборів, а саме $\frac{m+1}{m} = f[\lg(F+1)]$. Лінія тренду має вигляд

$$\frac{m+1}{m} = \frac{n+1}{n} e^{-\alpha \lg(F+1)}, \quad (24)$$

де $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу. На підставі (24)

$$k_m = \frac{m+1}{m} / \frac{n+1}{n} = e^{-\alpha \lg(F+1)}. \quad (25)$$

2. Використовуючи редуційну залежність [1],

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (26)$$

степеневий показник n_1 визначається на основі рівняння $\lg q_m = \lg q'_m - n_1 \lg(F+1)$.

3. Після встановлення степеневого показника n_1 з рівняння (26) обчислюються індивідуальні модулі максимального схилового стоку q'_m [9]:

$$q'_m = q_m (F+1)^{n_1}. \quad (27)$$

4. Використовуючи (21), визначаються коефіцієнти русло-заплавного зарегулювання k_n

$$k_n = \frac{q_m}{q'_m} / k_m. \quad (28)$$

В (28) величини q_m відповідають тій чи іншій ймовірності перевищення (по результатах статистичної обробки часових рядів q_m).

Отримані оберненим шляхом з (28) коефіцієнти k_n узагальнюються по площі водозборів (шляхом побудування залежності: $k_n = f(\lg(F+1))$)

$$k_n = e^{-\beta \lg(F+1)}. \quad (29)$$

5. Залежності $k_m = f(\lg(F+1))$ і $k_n = f(\lg(F+1))$, за бажанням, можна об'єднати (з використанням в якості аргументу – площі водозборів), причому

$$k_m k_n = \frac{q_m}{q'_m} = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}. \quad (30)$$

Узагальнюються k_m і k_n у просторі, залежно від розміру водозборів.

5. ВИСНОВКИ І ПЕРСПЕКТИВИ ПОДАЛЬШОГО ВИКОРИСТАННЯ СТРУКТУРИ ФОРМУЛ, ЗАСНОВАНИХ НА МОДЕЛІ ГІДРОГРАФІВ ПАВОДКІВ (ВОДОПІЛЬ)

У статті представлені результати досліджень, пов'язаних з удосконаленням науково-методичної бази для нормування розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль.

Враховуючи, що формули максимального стоку, які ґрунтуються на моделях гідрографів схилового і руслового стоку, передбачають наявність даних не лише руслового, а й схилового стоку, то виникають проблеми визначення таких параметрів як тривалість схилового припливу T_0 і максимальних модулів стоку q'_m .

Структура формул для розрахунку і нормування характеристик максимального стоку може бути отримана, виходячи безпосередньо з аналізу одномодальних гідрографів стоку в редакції (21).

Як модель використана геометрична схематизація одномодальних гідрографів схилового і руслового стоку. Від відомих розрахункових методик [1,6,8], запропонована авторами відрізняється обмеженою кількістю параметрів і доведенням її до практичного рівня використання.

Перспективи подальшого використання запропонованої методики обумовлюються тим, що вона не має обмежень, з точки зору генетичних типів паводків і водопіль, а також розміру водозборів. Отже може бути реалізована для визначення розрахункових характеристик паводків й водопіль у різних фізико-географічних зонах як в Україні, так і за її межами.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеоздат, 1968. 538 с.
2. Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. Гідрологічні розрахунки: підручник. Одеса: ТЕС, 2014. 484 с.
3. Eugene Gophenko, Valeriya Ovcharuk. Theoretical ground of normative base for calculation of the characteristics of the maximum runoff and its practical realization. Transboundary Floods: Reducing Risks Through Managment. *NATO Sciences Series. IV Earth and Environmental Sciences*, 2006, no. 72, pp. 91-99.
4. Gopchenko E. D., Ovcharuk V. A., Romanchuk M. E. A method for calculating characteristics of maximal river runoff in the absence of observational data: Case study of Ukrainian rivers. *Water Resources. Pleiades*, 2015, vol. 42, issue 3, pp. 285-291.
5. Гопченко Є. Д., Овчарук В. А., Шакірманова Ж. Р. Розрахунки та довгострокові прогнози характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять: моногр. Одеса: Екологія, 2011. 335 с.
6. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 447 с.
7. Гопченко Е. Д. О редуцированных формулах максимального стока // Тр. Укр. НИГМИ. 1980. Вып. 175. С. 85-93.
8. Руководство по гидрологической практике. Том II. Управление водными ресурсами и практика применения гидрологических методов. Шестое издание. ВМО-168. 2012. 324 с.
9. Ovcharuk V., Todorova O. Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2016, vol. 8 (2), pp 525-541. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i2.23>

REFERENCES

1. Sokolovskiy D. L. *Rechnoy stok* [River runoff]. Gidrometeoizdat, 1968. 538 p.
2. Gopchenko Ye. D., Loboda N. S., Ovcharuk V. A. *Hidrolohichni rozrakhunky* [Hydrological calculation]: Odessa: TES, 2014. 484 p.
3. Eugene Gophenko, Valeriya Ovcharuk. Theoretical ground of normative base for calculation of the characteristics of the maximum runoff and its practical realization. Transboundary Floods: Reducing Risks Through Managment. *NATO Sciences Series. IV Earth and Environmental Sciences*, 2006, no. 72, pp. 91-99.
4. Gopchenko E. D., Ovcharuk V. A., Romanchuk M. E. A method for calculating characteristics of maximal river runoff in the absence of observational data: Case study of Ukrainian rivers. *Water Resources. Pleiades*, 2015, vol. 42, issue 3, pp. 285-291.
5. Gopchenko Ye. D., Ovcharuk V. A., Shakirmanova Zh. R. *Rozrakhunky ta dovhostrokovi prohnozy kharakterystyk maksimal'noho stoku vesnyanoho vodopillya v baseyni r. Pryp'yat'* [The calculations and forecasting of characteristics maximal spring runoff in Prip'yat river basin]. Odessa: Ekolohiya, 2011. 335 p.

6. *Manual for the determination of calculated hydrological characteristics*. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1984. 447 p. (In Russian)

7. Gopchenko E. D. On reduction formulas for maximum flow. *Tr. Ukr. NIGMI – Proceedings of UkrSRHMI*, 1980, vol. 175, pp. 85-93. (In Russian)

8. *Guide to Hydrological Practices, Volume II. Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices. Sixth edition. WMO-No.168*. 2009. 312 p. (Russ. Ed:

Rukovodstvo po gidrologicheskoy praktike. Tom II. Upravlenie vodnymi resursami i praktika primeneniya gidrologicheskikh metodov. Shestoe izdanie. WMO-168, 2012. 324 p.)

9. Ovcharuk V., Todorova O. Determination of characteristics maximal runoff Mountain Rivers in Crimea. *J. Fundam. Appl. Sci.*, 2016, vol. 8 (2), pp 525-541. doi: <http://dx.doi.org/10.4314/jfas.v8i2.23>

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ РАСЧЕТНО-НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ И ВЕСЕННИХ ПОЛОВОДИЙ

Е. Д. Гопченко, д-р. геогр. наук, проф.

В. А. Овчарук, канд. геогр. наук, доц., **М. Е. Романчук**, канд. геогр. наук, доц.

*Одесский государственный экологический университет,
ул. Львовская, 15, 65016, Одесса, Украина, gidro@odeku.edu.ua*

В статье обосновывается методическая основа для нормирования расчетных характеристик экстремально высоких расходов воды весенних половодий и дождевых паводков, которые представляют собой большую безопасность для гидротехнических объектов и их эксплуатации в бассейнах рек, а также населенных пунктов.

Научно-методическая база основывается на использовании геометрической структуры однодальних гидрографов склонового притока и руслового стока. С целью упрощения расчетной схемы гидрографы рассматриваются в развернутом временном формате, начиная с максимальных расходов воды. Это в свою очередь способствует пространственно-временному обобщению характеристик как склонового притока, так и гидрографов руслового стока.

Ключевые слова: максимальный сток, весеннее половодье, дождевые паводки, склоновый приток, русловой гидрограф.

IMPROVEMENT OF NORMATIVE AND CALCULATED BASE FOR DETERMINE THE MAXIMUM RUNOFF OF RAIN AND SPRING FLOODS

E. Gopchenko, D. Geogr. Sc., prof.,

V. Ovcharuk, PhD in Geography., Assoc., **M. Romanchuk**, PhD in Geography., Assoc.

*Odessa State Environmental University,
Str. Lvivskaya, 15, 65016, Odessa, Ukraine, gidro@odeku.edu.ua*

Introduction. The article substantiates the methodological basis for the valuation of the design characteristics of extremely high water discharges of spring flood and storm floods, which pose a great dangers for hydraulic structures and their use in river basins, as well as settlements. During the construction of engineering structures and their operation (bridges, flood protection dams and others) planners are orienting generally the size and flood excess probability. Given the large number of proposed theoretical models for determination of floods characteristics made they suitable for classification. To different categories include: a formula related to the original model in the form of geometric shapes, method of riverbeds isochrones and the limit intensity formula.

Purpose. The authors of the theoretically justify a single structural basis for the full range of catchments areas of rivers regardless of genetic types of floods. The difference concerns only the size of the watershed.

Methods. The scientific and methodological base is based on the use of the geometric structure of single-modal hydrographs of slope inflow and channel flow. In order to simplify the calculation scheme, hydrographs are considered in an extended time format, starting with the maximum water discharge. This, in turn, facilitates the spatiotemporal generalization of the characteristics of both the slope inflow and the hydrographs of the channel flow.

Results. The results of research related to improving the scientific and methodical base for the valuation of the design characteristics of a maximum runoff of rain and spring floods are represented.

Given that the formulas of maximum runoff based on models of slope and riverbed hydrographs, it suggests that there are need not only the riverbed data, but and data of slope inflow. In this case, researchers have trouble with determination of parameters such as the duration of the slope inflow and maximum modules of runoff.

Shown that formulas to calculate and regulation of maximum runoff characteristics can be obtained on the basis of direct analysis of single-modal runoff hydrograph..

Conclusion. As a model authors are using the geometric schematization of single-modal hydrographs of slope and channel runoff. The calculation method proposed by the authors, In contrast to the many known, differs limited number of parameters and bringing it to the level of practical use.

Attention is drawn to the fact that the method has not limitations in terms of genetic types of flood, as well as the size of the watershed.

Keywords: maximum flow, spring floods, rain floods, slope inflow, hydrograph of riverbed runoff.

Дата першого подання: 10. 05. 2017

Дата надходження остаточної версії: 26. 06. 2017

Дата публікації статті: 29. 06. 2017