

## Spatiotemporal evolution of river bed formation discharges of Desna River

Obodovskiy O. G., Danko K. Y.

The main approaches of determination of river bed formation discharge of plain rivers were examined. The N.I.Makkaveev's and K.V.Grishanin's methods and principle «bankfull» for river bed formation discharge were used. Features of water content fluctuation such as average and maximum discharge of Desna River were assessed. The method of integral curve shows water content fluctuation. Based on analysis of integral curves were allocated the period of water content (1943–2009 years): the period of low-water content is fixed from 1943 to 1978 years and the high-water content is fixed from 1979 year till now. The river bed formation discharge of Desna River were estimated for two periods of water content. Moreover, trends of long-term changes of river bed formation discharge were revealed. The getting results of river bed formation discharge calculations for each of two water content periods give a chance to assess the influence of long-term water content fluctuation to the river bed processes.

**Key words:** river bed processes; river bed formation discharge; integral curve; river bed formation conditions; period of water content; bankfull.

Надійшла до редколегії 01.02.2013

УДК 556.16

Гопченко Є. Д., Овчарук В. А., Кічук Н. С.

Одеський державний екологічний університет

### ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ РЕДУКЦІЙНИХ ФОРМУЛ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК

**Ключові слова:** максимальний стік, паводки, водопілля, нормування розрахункових характеристик

**Вступ.** При розрахунках максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль особливої актуальності набуває науково-методичне забезпечення нормативної бази. Вже на протязі десятиліть в Україні пріоритетним залишається використання редуційних формул, які від інших відрізняються простотою і забезпечені необхідною вихідною інформацією. Але значна генералізація параметрів зводить ці формули до рівня суто емпіричних, що негативно відбивається на здійсненні просторових узагальнень. Відсутність систематичних спостережень за гідрологічним режимом малих річок ускладнює визначення характеру редуції максимальних модулів стоку на невеликих за розмірами водозборах. Як правило, редуційними структурами не виокремлюються в ті чи інші категорії фактори схилового і руслового стоку. Відомо, що такі фактори стоку як залісеність і заболоченість на максимальні модулі (витрати води) впливають опосередковано – через шари стоку і тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі. У той же час, наявність озер, водосховищ, ставків проточного типу, широких заплавл підсилює трансформацію шляхом регулювання паводків і водопіль безпосередньо у русловій мережі.

**Сучасний стан використання редуційних формул.** Вперше структура редуційної формули була запропонована Д. І. Кочеріним (1928 р.) у вигляді

$$q_m = \frac{A}{(F + 1)^{m_1}} \quad (1)$$

де  $q_m$  - максимальний модуль паводка або водопілля;  $A$  – емпіричний параметр, який фізично дорівнює модулю схилового припливу  $q_m'$  при  $F \rightarrow 0$ .

Дещо пізніше Д. Л. Соколовський [1] у спрощеному варіанті надав теоретичне обґрунтування структури (1), виходячи з моделі одномодальних гідрографів схилового припливу і руслового стоку, причому

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.1(28)

$$q_m = \frac{A}{1 + t_p/T_0}, \quad (2)$$

де  $t_p$  - тривалість руслового добігання;  $T_0$  - тривалість схилового припливу (водовіддачі).

У результаті порівняння (1) і (2) він прийшов до висновку, що

$$\frac{1}{(F+1)^{n_1}} = \frac{1}{1 + t_p/T_0}. \quad (3)$$

З тотожністю (3) можна було б погодитися, хоча й у спрощеному вигляді, але в одному частковому випадку – коли по території підлягає осередненню  $T_0$ . Сучасні дослідження свідчать про те, що тривалість схилового припливу у більшості випадків підпорядковується широтній закономірності на рівнинних територіях або висотній поясності – у гірських районах. Крім того, на  $T_0$  впливають і місцеві чинники, зокрема, залісеність і заболоченість водозборів.

З іншого боку, К. П. Воскресенським [2] доведено, що параметр  $A$  у свою чергу залежить від шару стоку  $Y_m$ , тобто

$$A = k_0 \cdot Y_m, \quad (4)$$

де  $k_0$  - коефіцієнт схилової трансформації максимального стоку.

Враховуючи (4),

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_2}}. \quad (5)$$

Структура (5) була застосована при підготовці нормативних документів СН 435-72 [3], а потім і СНіП 2.01.14-83 [4] в методиці розрахунку максимальних витрат весняного водопілля. Слід зауважити, що в СН 435-72 параметр  $k_0$  було узагальнено по географічних зонах і категоріях рельєфу, тоді як в СНіП 2.01.14-83 його пропонується визначати за методом гідрологічної аналогії. У розрахунковому вигляді базова структура (5) в обох цих документах прийнята в редакції

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+b)^{n_2}} \mu \delta \delta_1 \delta_2, \quad (6)$$

де  $\mu$  – коефіцієнт для урахування неспівпадань статистичних параметрів часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку водопілля;  $\delta$  – коефіцієнт впливу озер і водосховищ проточного типу на трансформацію паводкових (повеневих) хвиль;  $\delta_1$  – коефіцієнт для урахування впливу на характеристики максимального стоку залісеності водозборів;  $\delta_2$  – коефіцієнт для урахування впливу на характеристики максимального стоку заболоченості водозборів;  $b$  – додаткова площа, за допомогою якої враховується зниження редукації на невеликих водозборах.

Включення до (6) добавки « $b$ » порушує структуру редукаційної формули, оскільки при  $F=0$  верхньою межею для відношення  $q_m/(k_0 Y_m)$  буде,

$$q_m/(k_0 Y_m) = \frac{1}{b^{n_2}} < 1.0 \quad (7)$$

замість теоретичного значення

$$q_m / (k_0 Y_m) = 1.0. \quad (8)$$

Не заперечуючи факт зменшення редуції в області невеликих водозборів, пропонується підійти диференційовано до апроксимації залежності  $q_m / Y_m = f(F)$  в усьому діапазоні водозбірних площ. Так, при  $F < F_0$

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_2}}, \quad (9)$$

а при  $F \geq F_0$

$$q_m = \frac{q_{F_0}}{(F/F_0)^{n_3}}, \quad (10)$$

де  $F_0$  – граничне значення водозбірних площ в області невеликих водозборів;  $q_{F_0}$  - приведений до  $F = F_0$  модуль стоку;  $n_2 < n_3$  - показники степені в діапазонах  $F_0 < F$  і  $F_0 > F$ .

При вирішенні питань, пов'язаних з просторовими узагальненням  $k_0$ , необхідно мати об'єктивне уявлення щодо його природи. З цією метою слід звернутись до рівняння редуційного гідрографа схилового припливу [5],

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (11)$$

де  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу;  $T_0$  - тривалість схилового припливу.

Після інтегрування (11) по  $T_0$  отримаємо

$$Y_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m \frac{n}{n+1} T_0. \quad (12)$$

Звідси

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 Y_m, \quad (13)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;  $Y_m$  - шар стоку за паводок або водопілля;  $k_0$  - коефіцієнт силової трансформації паводків (водопіль)

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0}. \quad (14)$$

Параметр  $\frac{n+1}{n}$  для паводків і водопіль відрізняється значною просторовою стійкістю, на відміну від  $T_0$ , яка залежить як від географічного положення водозборів, так само й від деяких місцевих чинників (залісеності, заболоченості). Ці природні особливості параметра  $T_0$  необхідно прийняти до уваги при здійсненні просторових узагальнень  $k_0$ .

**Структура редуційних формул, заснованих на моделі схилових і руслових гідрографів стоку.** Формування руслового стоку відбувається за природним процесом трансформації «схильний приплив – русловий стік». Гідрограф схилового припливу використаємо в редакції (11), а по аналогії з ним запишемо відповідне редуційне рівняння й для руслового стоку

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (15)$$

де  $q_m$  - максимальний модуль руслового стоку;  $T_n$  - тривалість паводку (водопілля).

Якщо (15) проінтегрувати по  $T_n$ , то

$$Y_m = q_m \frac{m}{m+1} T_n. \quad (16)$$

Звідки

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_n}, \quad (17)$$

де  $\frac{m+1}{m}$  - коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку.

Припускаючи, що у русловій мережі втрати схилового припливу  $Y_m$  незначні, прирівняємо праві частини формул (12) і (16). Тоді

$$q_m = \frac{q'_m T_0}{T_n} k_m, \quad (18)$$

де  $k_m = \frac{m+1}{m} \left/ \left( \frac{n+1}{n} \right) \right.$ .

Помножимо чисельник і знаменник (18) на  $(T_0 + t_p)$  і здійснимо деякі нескладні перетворення, завдяки чому

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + t_p/T_0} k_m k_n, \quad (19)$$

де  $k_n = \frac{1}{1 + \frac{\Delta t}{T_0 + t_p}}$  – коефіцієнт русло-заплавного регулювання;  $\Delta t$  – додатковий

проміжок часу, необхідний для спрацювання русло-заплавної ємності після проходження піка паводків (водопіль).

Якщо по території  $T_0$  змінюється у незначному діапазоні, то

$$\frac{k_m k_n}{1 + t_p/T_0} = f(F) = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}. \quad (20)$$

Таким чином, (19) набуває вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}}. \quad (21)$$

У тих випадках, коли і шари стоку  $Y_m$  у просторі змінюються незначно, то  $q'_m$  є осередненим параметром редуційної формули для окремого водозбору або території.

Якщо ж  $T_0$  не підлягає районуванню, то спрощення (19) до рівня (21) є неможливим.

Свою увагу ми зосередимо надалі на перевірці запропонованих варіантів редуційної формули для нормування характеристик максимального стоку дощових паводків на Півдні України.

**Матеріали дослідження.** Всього на розглядуваній території задіяно 55 гідрологічних постів. Вони охоплюють водозбірні площі розміром від 28.2 км<sup>2</sup> до 9280 км<sup>2</sup> і мають періоди спостережень більше 50 років.

**Аналіз отриманих результатів.** Повертаючись до базової структури (19), переконаємось, перш за все, в існуванні зв'язку між тривалістю руслового добігання  $t_p$  (год) і площею водозборів  $F$  (км<sup>2</sup>) складової редуції  $1/(1 + t_p/T_0)$ . Побудована між ними залежність описується рівнянням

$$t_p = 0.23(F + 1)^{0.66}; r = 0.96. \quad (22)$$

Високий коефіцієнт кореляції ( $r = 0.96$ ) є свідченням того, що площа водозборів досить добре характеризує ступінь трансформації паводків під впливом  $t_p$ . Очевидно, що й інші складові редуції ( $k_n$  і  $k_m$ ) за невеликої змінності у просторі  $T_0$ , будуть задовільно описуватись інтегрально площею водозборів  $F$ . За цих умов здійснимо перевірку можливого використання найбільш простої формули редуційного типу

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (23)$$

Залежність  $q_m = f(F)$  у логарифмічних координатах наводиться на рис.1, а її рівняння має вигляд

$$q_{1\%} = \frac{9.67}{(F + 1)^{0.74}}; r = 0.73. \quad (24)$$

За цією формулою виконані перевірені розрахунки. Середнє відхилення розрахункових модулів стоку  $q_{1\%}$  (м<sup>3</sup>/с км<sup>2</sup>) від вихідних даних знаходиться у межах 99.9% що є досить наближеним за точністю результатом, оскільки середньоквадратична похибка вихідної інформації по максимальному стоку річок дорівнює  $\pm 24.5\%$ , Більші можливості урахування стокоформувальних факторів відносяться до структури (5), у якій крім площі водозбору входить і шар стоку. На

рис.2 показана залежність  $\lg \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} = f[\lg(F + 1)]$ , а її рівняння має такий вигляд

$$q_{1\%} = \frac{0.29 \cdot Y_{1\%}}{(F + 1)^{0.59}}; r = 0.69 \quad (25)$$

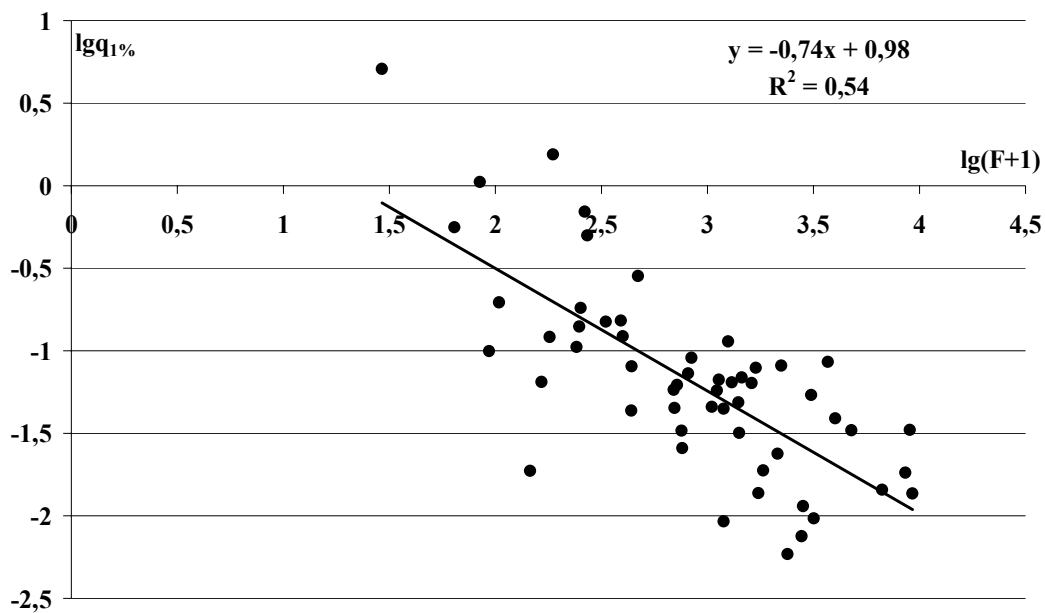


Рис. 1. Залежність  $\lg q_{1\%} = f[\lg(F + 1)]$  для річок Півдня України

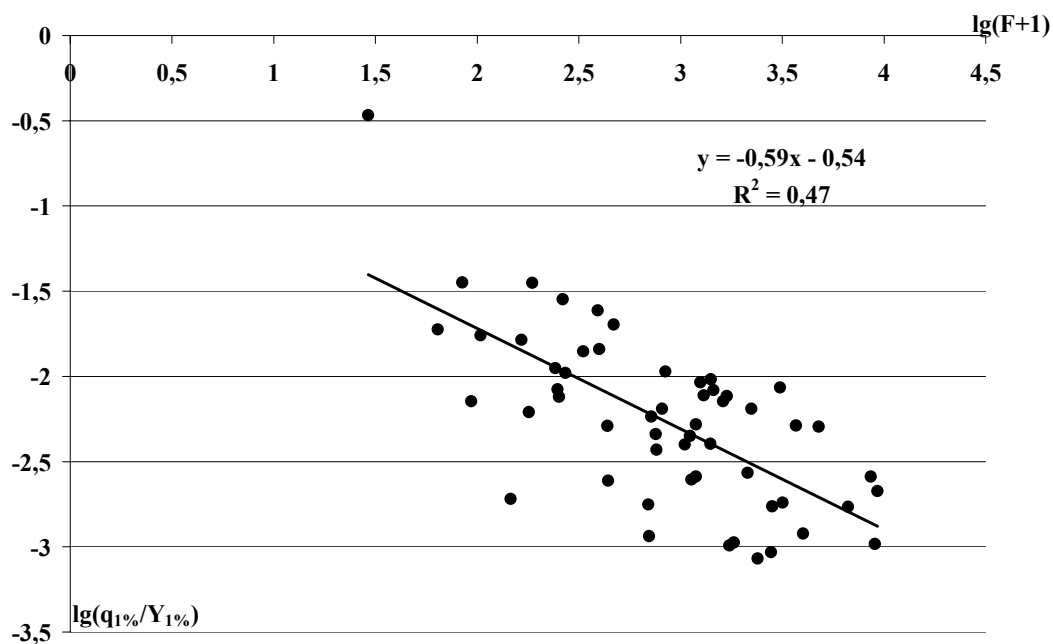


Рис. 2. Залежність  $\lg \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} = f[\lg(F + 1)]$  для річок Півдня України

Привертає увагу суттєве зниження інтенсивності редуції в структурі (25), порівняно з (24). Середнє відхилення розрахункових значень  $q_{1\%}$  від вихідних величин становить  $\pm 84.9\%$ .

Коефіцієнти кореляції рівнянь (24) і (25) майже співпадають, що дає підставу дійти висновку про відсутність покращення результатів завдяки залученню такої важливої характеристики максимального стоку паводків, як шар стоку.

**Висновки.** Не зважаючи на те, що редуційні формули, завдяки своїй простоті, отримали досить поширене використання, авторами статті доведено, що їх структура не є оптимальною. На прикладі максимального стоку дощових паводків в басейнах річок Півдня України показано, що обидві спрощені структури

не забезпечують належної точності. Причина полягає в тому, що коефіцієнт схилової трансформації дощових паводків на розглядуваній території не залишається постійним, а залежить від географічного положення водозборів.

Для надійних визначень розрахункових характеристик паводкового стоку на Півдні України необхідні більш досконалі теоретичні моделі, ніж редукційні формули.

#### **Список літератури**

1. Соколовский Д.Л. Речной сток / Д.Л. Соколовский. – Л. : Гидрометеоиздат, 1968. – 538 с. 2. Воскресенский К. Л. Гидрологические расчеты при проектировании сооружений на малых реках, ручьях и временных водотоках / К. Л. Воскресенский. – Л. : Гидрометеоиздат, 1956. – 467 с. 3. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеоиздат, 1973. – 111 с. 4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л. : Гидрометеоиздат, 1984. – 447 с. 5. Гопченко Е. Д. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Е. Д. Гопченко, М. Е. Романчук. – К. : КНТ, 2005. – 148 с.

#### **Особливости застосування редукційних формул максимального стоку річок**

**Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Кічук Н.С.**

*Розглядаються різні структурні варіанти редукційних формул максимального стоку та можливості їх застосування для нормування розрахункових характеристик.*

**Ключові слова:** максимальний стік, паводки, водопілля, нормування розрахункових характеристик

#### **Особенности применения редукционных формул максимального стока рек**

**Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Кичук Н.С.**

*Рассматриваются различные структурные варианты редукционных формул максимального стока и возможности их применения для нормирования расчетных характеристик.*

**Ключевые слова:** максимальный сток, паводки, половодья, нормирование расчетных характеристик.

#### **Application features of reduction formulas of maximum runoff of rivers**

**Gopchenko E.D, Ovcharuk V.A., Kichuk N.S.**

*The various structural variants of reduction formulas of maximum runoff and their applicability for normalization of the design characteristics are considered in this work.*

**Keywords:** maximum runoff, floods, spring floods, regulation of the design characteristics.

**Надійшла до редколегії 11.01.2013**

УДК 556.166

#### **Чорноморець Ю.О., Лук'янець О.І.**

*Київський національний університет імені Тараса Шевченка*

### **СХЕМИ РОЗРАХУНКУ РОЗПОДІЛУ СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ р. ПРИП'ЯТЬ ТА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ІХ ЗАСТОСУВАННЯ НА ПРИКЛАДІ 2009-2012 РР.**

**Ключові слова:** весняне водопілля, об'єми води, розподіл стоку, типізація гідрографів стоку

**Актуальність дослідження.** Довгостроковий прогнозування основних характеристик весняного водопілля – об'єму або шару стоку та максимальної витрати води – має значний інтерес для багатьох споживачів водних ресурсів. Однак для вирішення цілого ряду практичних завдань щодо ефективного та раціонального використання водних ресурсів великих річок та водосховищ, окрім

Гідрологія, гідрохімія і гідроекологія. – 2013. – Т.1(28)