

## НОРМИРОВАНИЕ РАСЧЕТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ КАРПАТО-ПОДОЛЬСКОГО РЕГИОНА

**Гопченко Е.Д.,**

Доктор географических наук, профессор, Одесский государственный экологический университет  
sweety mild@gmail.com

**Явкин В.Г.,**

Кандидат географических наук, доцент,  
Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича  
vjacheslavjavkin@gmail.com

**Мельник А.А.,**

Кандидат географических наук,  
Черновицкий национальный университет имени Юрия Федьковича  
melanton85@mail.ru

**Аннотация.** Статистическим анализом удлиненных рядов наблюдений (до 2010 года) подготовлены параметры и коэффициенты двооператорной модели расчета дождевого паводка Бефани-Гопченко. Оценены свойства пространственного распределения и адаптация для расчета максимального стока паводков. Предлагаемый метод обоснован и удобен в задачах подготовки региональных нормативных документов для определения основных расчетных гидрологических характеристик.

**Ключевые слова:** инженерные расчеты максимального стока, слой паводка, модуль максимального стока, рельеф, Карпато-Подолье.

## RATIONING OF CALCULATED CHARACTERISTICS OF RAINFALL FLOODS IN CARPATHO-PODOLYE REGION

**Hopchenko E.D.,**

Odessa State Environmental University

**Yavkin V.G., Melnyk A.A.,**

Chernivtsi National University named after Yuriy Fedkovych

**Abstract.** Statistical analysis of elongated series of observations (up to 2010) prepared parameters and coefficients of the model calculation dvooperatornoy rain floods Befani-Gopchenko. Evaluated properties of the spatial distribution and adaptation to calculate the maximum flood flow. The proposed method is justified and useful tasks in the preparation of regional regulations to determine the basic design hydrological characteristics.

**Keywords:** engineering calculations of maximum runoff, flood layer, module of maximum runoff, relief, Carpatho-Podolye.

**П**ри расчетах максимального стока следует иметь в виду, что исходные материалы, используемые в нормативах, основанные на данных наблюдений до 60-х годов и требуют обязательного уточнения [3,7].

Гопченко Е.Д., осуществлен анализ методики нормативных документов СНиП 2.01.14-83 и СП 22-101-203 [2,4,5] и выявлен ряд недостатков. Расчетные формулы не в полной мере учитывают основные стокоформирующие факторы и особенности влияния каждого из них на величины максимального стока.

Модифицированный вариант модели А.Н. Бефани [1] позволяет объединять расчетные методы редуccionного, объемного и генетического типов. Он предусматривает определение некоторых расчетных параметров (коэффициентов руслопойменного регулирования, неравномерности склонового стока во времени, расчетной продолжительности притока воды со склонов к русловой сети), а также географические обобщения (продолжительности притока воды со склонов к русловой сети и слоев стока). Предложенная модель универ-

сальна как для дождевых паводков, так и весеннего половодья.

Анализ длительных временных рядов по максимальному стоку рек Украины и других стран указывает на то, что начиная с 80-х годов прошлого столетия проявляются временные тренды различного направления [2,3,7].

В основу методики расчета характеристик максимального стока на принципиально новых началах положена математическая модель операторного типа. Она охватывает весь диапазон водосборных площадей, начиная от отдельных склонов до самых больших разветвленных речных систем, и позволяет учитывать весь комплекс стокообразующих факторов [2,6,7].

Расчетные методы определения максимального мгновенного расхода воды дождевого паводка прямо или косвенно используют большое количество характеристик, которые подвергаются изменениям под влиянием антропогенной нагрузки в бассейне. В двооператорной модели расчета максимального стока паводков Бефани-Гопченко такими характеристиками в первую очередь являются:

$\frac{n+1}{n}$  - коэффициент временной неравномерности склонового притока;

$T_0$  - продолжительность склонового притока;

$Y_m$  - расчетный слой стока паводков и половодий;

$T_n$  - продолжительность паводков или половодий;

$k_m = \frac{m+1}{\frac{m}{n+1}}$  - коэффициент трансформации формы гидрографов стока;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  - параметр русловой трансформации.

Блок-схема двухоператорной модели приведена на рис.1:

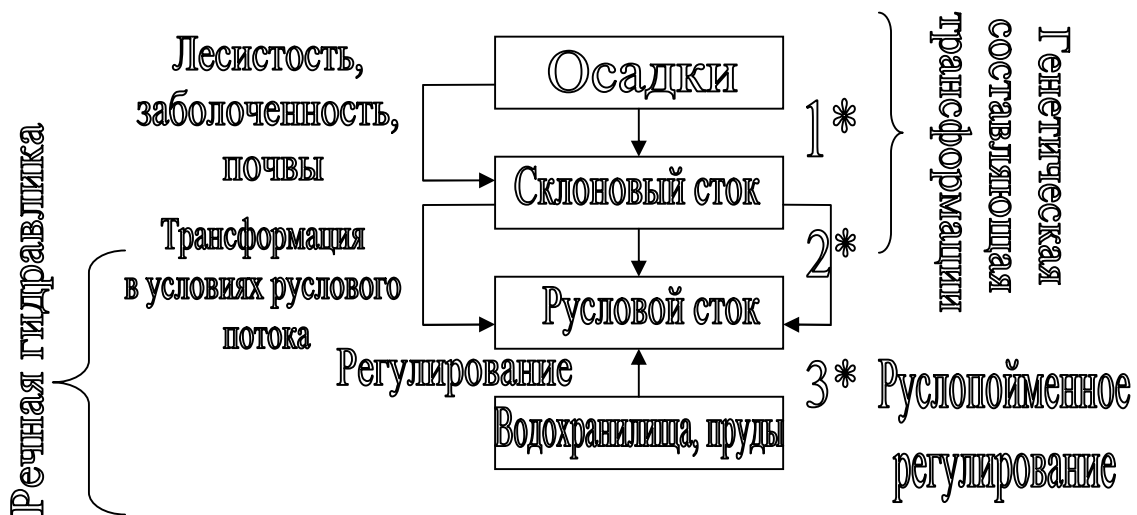


Рис. 1. Схема двухоператорной модели формирования гидрографа паводка.  
 1 \* - склоновый сток, 2 \* - трансформация склонового в русловой, 3 \* - русловая трансформация.

$$1 * - \partial(n+1)y^n \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial t} = h_i;$$

$$2 * - q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; 3 * - q_m = q'_m \Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) q_p \quad (1)$$

$\xi$  - руслопойменное регулирование;  $q_m$  - модуль максимального стока;  $Y_m$  - максимальный слой стока;  $h_i$  - слой склонового стока (эффективные осадки);  $q_p$  - модуль максимального стока заданного паводка соответствующей обеспеченности  $p$ .

Для нормирования расчетных параметров дождевых паводков в пределах Карпато-Подольского региона принята структура:

$$q_p = q'_{1\%} \cdot k_F \cdot \lambda_p \cdot r, \quad (2)$$

где  $q_p$  - максимальный модуль стока дождевого паводка обеспеченностью  $P\%$  (м<sup>3</sup> / с • км<sup>2</sup>);

$q'_{1\%}$  - максимальный модуль склонового притока обеспеченностью  $P = 1\%$  (м<sup>3</sup> / с • км<sup>2</sup>).

$$q'_{1\%} = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%} = k'_0 Y_{1\%}, \quad (3)$$

$Y_{1\%}$  - расчетный слой паводкового стока обеспеченностью  $P = 1\%$  (мм);

$k'_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}$  - коэффициент склоновой трансформации паводкового стока;

$k_F = k_m k_n$  - сборный коэффициент руслового ( $k_m$ ) и русло-пойменного ( $k_n$ ) регулирования;

$\lambda_p$  - коэффициент перехода от опорной обеспеченности  $P = 1\%$  к другим;

$r$  - коэффициент регулирования паводков водохранилищами и прудами.

Коэффициент склоновой трансформации паводков  $k'_0$  - составляющая в уравнении (2) максимального модуля  $q'_{1\%}$ . Он рассчитан по данным 96 водосборов в пределах Карпато-Подольского региона.

Запишем (2) в развернутом виде (при  $P = 1\%$  и  $r = 1,0$ ), а именно:

$$q_{1\%} = q'_{1\%} k_F = k'_0 Y_{1\%} k_F. \quad (4)$$

Если, в первом приближении,  $k_F = 1,0$ , то определение  $k_0$  упрощается, а (4) принимает вид:

$$q'_{1\%} = k_0 Y_{1\%}. \quad (5)$$

Исходя из (5) для всех водосборов:

$$k_0 = \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}}. \quad (6)$$

Но:

$$q_{1\%} = k'_0 Y_{1\%} k_F. \quad (7)$$

Для определения  $k_F$  построений зависимость  $\frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} = f(F)$  (рис. 2).

Аппроксимировано:

$$k_0 = k'_0 e^{-0.61 \lg(F+1)}, \quad r = 0,61, \quad (8)$$

откуда

$$k_F = \frac{k_0}{k'_0} = e^{-0.61 \lg(F+1)}. \quad (9)$$

Теперь, исходя из (7), и используя уравнение (9) для всех водосборов вычислено  $k'_0$ , как

$$k'_0 = \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} / k_F. \quad (10)$$

Величины  $k'_0$  изменяются в широком диапазоне - от 0,009 до 0,074 и почти не зависят от высотного положения водосборов и их залесенности. Взаимные коэффициенты корреляции между  $k'_0$ , с одной стороны, и высотой водосборов  $H_{ср}$  и их залесенность  $F_{л}$ , с другой, незначительны. Поэтому величину  $k'_0$  районировано с помощью всего комплекса статистических параметров временных рядов максимального расхода и максимального слоя стока.

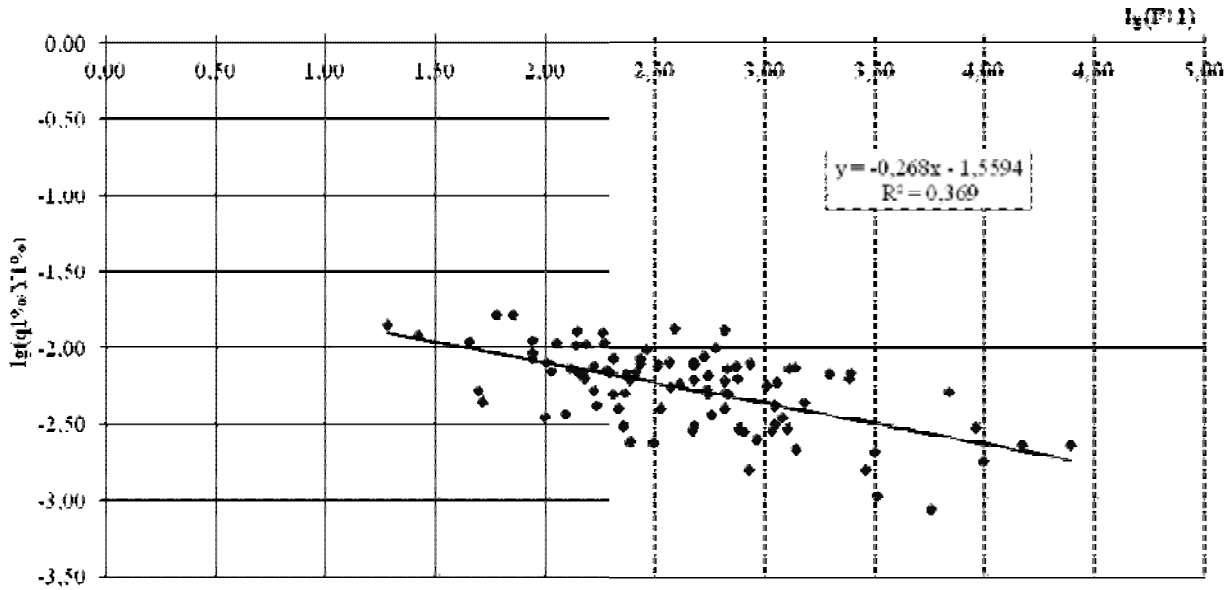


Рис. 2. Зависимость коэффициентов склоновой трансформации паводка от площади водосборов.

Пространственное обобщение  $Y_{1\%}$  осуществлено с учетом высотного положения водосборов  $H_{cp}$  и аппроксимируется уравнением:

$$Y_{\%} = 0,195(H_{cp} - 300) + 79,8; \quad r = 0,66 \quad (11)$$

Коэффициент влияния высотного положения водосборов на расчетные слои стока  $Y_{1\%}$ :

$$k_H = 1 + 2,44 \cdot 10^{-3}(H_{cp} - 300) \quad (12)$$

С целью исследования влияния залесенности водосборов на  $Y_{1\%}$ , все данные по слоям стока, обеспеченность  $P = 1\%$  были приведены к условной высоты  $H_{cp} = 300$  м, причем

$$(Y_{1\%})_{H=300} = Y_{1\%} / k_H \quad (13)$$

где  $(Y_{1\%})_{H=300}$  - слои паводкового стока  $Y_{1\%}$ , приведены в условной высоты  $H_{cp} = 300$  м.

В дальнейшем  $(Y_{1\%})_{H=300}$  поставлены в зависимость от залесенности водосборов Фл. Оказалось, что она является незначимой.

Как уже отмечалось, редуционный коэффициент  $k_F$ , входящий в базовое уравнение (2), в интегральном виде учитывает эффекты трансформации паводковых волн под влиянием продолжительности руслового добега и русло-пойменного регулирования

Исходя из структуры обратным путем в расчетной схеме был установлен  $k_F$ , причем:

$$k_F = \frac{k_0}{k'_0} = f(F), \quad (14)$$

где  $k_0 = \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}}$  - коэффициент склоновой трансформации паводков при условии, что в (2)  $k_F = 1,0$ . В дальнейшем  $k_F$  были обобщены в зависимости от размера водосборов (2) и описаны уравнением:

$$k_F = e^{-0,611 \lg(F+1)}. \quad (15)$$

Верхний предел величины  $k_F$  - единица (при  $F = 0$ ), - при увеличении размеров водосбора он убывает.

Расчетные характеристики дождевых паводков в рассматриваемом регионе относятся к опорной обеспеченности  $P = 1\%$ . С целью перехода к другим обеспеченностям

печенностям при определении максимальных модулей паводкового стока в методике предусмотрены коэффициенты  $\lambda_p$ .

$$\lambda_p = \frac{q_{p\%}}{q_{1\%}} \quad (16)$$

где  $q_{1\%}$  - максимальный модуль паводкового стока при  $P = 1\%$ .

По описанной схеме вычислено максимальные модули паводкового стока обеспеченностью  $P = 1\%$  для всех 96 речных водосборов.

Среднее отклонение расчетных модулей стока соответствует точности исходных величин и находится на уровне  $\pm 14\%$ . Это в полной мере соответствует точности определения по статистической обработке временных рядов максимальных расходов воды дождевых паводков рек Карпато-Подолья ( $\sigma_{q_{1\%}} = 17.0\%$ ).

Предложенная методика рекомендуется для практического использования при расчете характеристик максимального стока дождевых паводков незначительных рек различной обеспеченности в пределах Карпато-Подольского региона.

### Список литературы

1. Бефани А.Н. Теория формирования дождевых паводков и методы их расчета / А.Н.Бефани // Международный симпозиум по паводкам и их расчетам.-1969.-Т.1.-с.44-58.
2. Гопченко Е.Д. Расчет максимального стока дождевых паводков рек Закарпатья / Е.Д.Гопченко, М.Е.Романчук, А.С.Харитоновна // Вестник Одесского государственного экологического университета. В-2010. - №.10.-С.181-186.
3. Рождественский, А.В. Современная проблема инженерных гидрологических расчетов по обобщению гидрологической информации в России и пути ее решения / АВ Рождественский, А.Г. Лобанова // Метеорология и гидрология.-2011. - №7.-С. 81-94.
4. Свод правил по проектированию и строительству. СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик.-М.: Госстрой России, 2003.-73с.
5. Строительные нормы и правила. СНиП 2.01.14-83.Определение расчетных гидрологических характеристик / Госстрой СССР. - М.: Стройиздат, 1985. - 36с.
6. Явкин В.Г. Детерминированная модель дождевых паводков в горах / В.Г. Явкин // Материалы V Всесоюз. Гидрологич. Съезд. Т.б. "Теория и методология гидрологических расчетов". - Л.: Гирометеоиздат, 1989. - С. 289-293.
7. Явкин В.Г. Оценка модулей максимального стока в бассейнах подольских приток Днестра удлиненными рядами наблюдений / В.Г.Явкин, А.А.Мельник // Гидрология, гидрохимия и гидроэкология: Научн.сборник, - Т.3 (24). - К.: БГЛ «Обрій», 2011. - С.50-58 (на украинском языке)
8. Evaluation of National Guides on Methods of Hydrological Computations. / JW van der Made (ed.). - Paris, UNESCO, IHP-III Project 2.1, 1989, 48 p.
9. Svensson C. Trends in flood and low flow hydrological time series / C.Svensson, ZWKundzewicz, T.Maurer WMO / TD-No. 1241,2004. - 44 pp.