

УДК 556.166

Гопченко Е.Д., д.г.н., Бурлуцкая М.Э., к.г.н., Романчук М.Е., к.г.н., Авгайтис С.В.\*

Одесский государственный экологический университет

\*Херсонский гидрометеорологический техникум

## НОРМИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ВЕСЕННЕГО ПОЛОВОДЬЯ В БАССЕЙНЕ Р.СЕВЕРСКИЙ ДОНЕЦ НА БАЗЕ ФОРМУЛ ОБЪЕМНОГО ТИПА

*В статье обосновывается вариант расчетной методики для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья.*

**Ключевые слова:** максимальный сток весеннего половодья, объемные формулы, нормирование расчетных характеристик.

**Введение.** В настоящее время в Украине при расчете характеристик максимального стока весеннего половодья используется структура редуцированного типа [1]. В теоретическом плане она опирается на одномодальный гидрограф и допущение о возможности осреднения по территории продолжительности склонового притока  $T_0$ . Последнее для весеннего половодья вообще, а в пределах Украины, в частности, скорее является исключением, чем правилом.

**Целью статьи,** учитывая сказанное, а также то обстоятельство, что с момента введения в расчетную практику нормативного документа СНиП 2.01.14-83 прошло более 30 лет, является разработка нового варианта государственного стандарта (или совершенствования действующего ныне) с использованием более современных теоретических моделей. Причем в качестве обязательного условия должна быть реализована операторная структура вида "склоновый приток-русловой сток", а не простая эмпирическая увязка характеристик максимального стока только с размерами речных водосборов.

Как вариант, авторами статьи предлагается для этой цели использовать структуру объемных формул. Наиболее полно объемные формулы представлены в работах Д.Л. Соколовского [2]. Базовое уравнение имеет вид

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} (1 + \gamma) f, \quad (1)$$

где  $q_m$  – максимальный модуль стока;

$Y_m$  – слой стока за период половодья;

$T_n$  – продолжительность половодья;

$\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n}$  – соотношение продолжительностей спада ( $t_{cn}$ ) и подъема ( $t_n$ ) половодий;

$f$  – коэффициент, зависящий от формы русловых гидрографов, причем

$$f = \frac{(m_1 + 1)(n_1 + 1)}{(n_1 + 1) + \gamma(m_1 + 1)}, \quad (2)$$

$m_1$  и  $n_1$  – показатели степени в параболических уравнениях подъема ( $m_1$ ) и спада ( $n_1$ ) русловых гидрографов.

На практике формула вида (1) широкого применения не нашла, вследствие отсутствия необходимых данных для обоснования входящих в нее параметров, в частности  $T_n$ ,  $t_{cn}$ ,  $t_n$ ,  $m_1$  и  $n_1$ . Более перспективным можно считать вариант объемной

формулы, предложенный в работе [3]. Как и в модели Д.Л. Соколовского, рассматривается одномодальный гидрограф, но представленный в развертке от максимального значения. Описывается он уравнением

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (3)$$

где  $m$  – показатель степени редукционного гидрографа стока  $\frac{q_t}{q_m} = f\left(\frac{t}{T_n}\right)$ . После интегрирования (3) по  $T_n$  и несложных преобразованиях предложено расчетное уравнение для искомой величины  $q_m$ , т.е.

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_n}, \quad (4)$$

где  $\frac{m+1}{m}$  – коэффициент временной неравномерности руслового стока в течение весеннего половодья. Согласно (4),

$$\frac{m+1}{m} = \frac{q_m \cdot T_n}{Y_m} = \frac{q_m}{q_{T_n}}, \quad (5)$$

$q_{T_n}$  – средний за половодье модуль речного стока.

Если сравнивать между собой формулы (1) и (4), то очевидно, что

$$(1+\gamma) f = \frac{m+1}{m} \quad (6)$$

В ряде работ [3,4] показано, что в отличие от  $(1+\gamma) f$ , параметр  $\frac{m+1}{m}$  не только можно определить, но даже и нормировать путем построения зависимостей вида  $\frac{m+1}{m} = f(F)$ , где  $F$  – площадь водосборов. Более проблемным является вопрос о нормировании  $T_n$ , который по своей природе довольно сложный, т.к.

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (7)$$

где  $T_0$  – продолжительность склонового притока за половодье;

$t_p$  – время руслового добегания волны половодья;

$\Delta t$  – время опорожнения русло-пойменной емкости.

Поскольку  $T_0$  и  $\Delta t$  в принципе величины неизмеряемые, авторами [4] рекомендован следующий методический прием. Числитель и знаменатель в правой части (4) домножается на  $(T_0 + t_p)$ , в результате чего

$$q_m = \frac{m+1}{m} \cdot \frac{Y_m}{T_0 + t_p} \cdot k_n, \quad (8)$$

где  $k_n$  – коэффициент, учитывающий эффекты русло-пойменного регулирования, причем

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n}, \quad (9)$$

Из (8) видно, что в нем неизвестными являются  $k_n$  и  $T_0$ . В [4] приводится разработанный итерационный алгоритм, позволяющий путем наложения ограничений на  $T_0$  и  $k_n$ , в несколько этапов обосновать оба искомого параметра и тем самым расчетную схему довести до практического применения. И тем не менее, несмотря на успешное решение (8), в нем не реализуется имеющий место в природе оператор трансформации “склоновый приток-руслевой сток”. С другой стороны, не совсем четко интерпретируется параметр  $k_n$ , т.к. в (9) не выделены в отдельные категории составляющие распластывания и русло-пойменного регулирования.

**Предлагаемая структура расчетной схемы для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья.** Как отмечалось выше, авторы своей целью поставили построение такой методики, в которой реализуется математическая модель “склоновый приток-руслевой сток”. При этом склоновый гидрограф описывается уравнением [3]

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (10)$$

а русловой – уравнением (3), где:  $q'_t$  – максимальный модуль редуцированного гидрографа склонового притока, а  $q'_m$  – соответственно его максимальное значение. В результате интегрирования (3) и (10), соответственно по  $T_0$  и  $T_n$ , получим

$$q_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n} \cdot q'_m \frac{T_0}{T_n}, \quad (11)$$

где  $\frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}$  - коэффициент трансформации формы гидрографов руслового стока (по отношению к склоновому).

Введем обозначения  $\frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n} = k_m$  и  $\frac{T_0}{T_n} = k_F$ .

Исследования ряда авторов [4,5,6] показали, что  $k_m$  своим верхним пределом имеет единицу (при  $F = 0$ ), а в дальнейшем убывает с ростом размеров водосборов. Более сложной является структура параметра  $k_F$ , поскольку он равен (в развернутом виде) отношению

$$k_F = \frac{T_0}{T_n} = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}} \quad (12)$$

Из (12) следует, что являясь редуцированным, коэффициент  $k_F$  включает в себя две составляющие – распластывания (5 – при помощи соотношения  $t_p / T_0$ ) и русло-пойменного регулирования половодий (при помощи  $\Delta t / T_0$ ). Так как обе составляющих зависят от размеров водосборов, то естественным является их объединение в один комплексный параметр  $k_F$ , который назовем коэффициентом распластывания половодий под влиянием времени руслового добега и русло-пойменного регулирования. Таким образом, вместо (11) запишем его расчетный вариант

$$q_m = q'_m \cdot k_m \cdot k_F \cdot r, \quad (13)$$

где  $q'_m$  – максимальный модуль склонового притока, который равен, после интегрирования (10) по  $T_0$ ,

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot Y_m, \quad (14)$$

$r$  – коэффициент зарегулирования максимальных модулей проточными озерами и водохранилищами.

Блок-схема расчетного варианта (13) представлена на рис.1

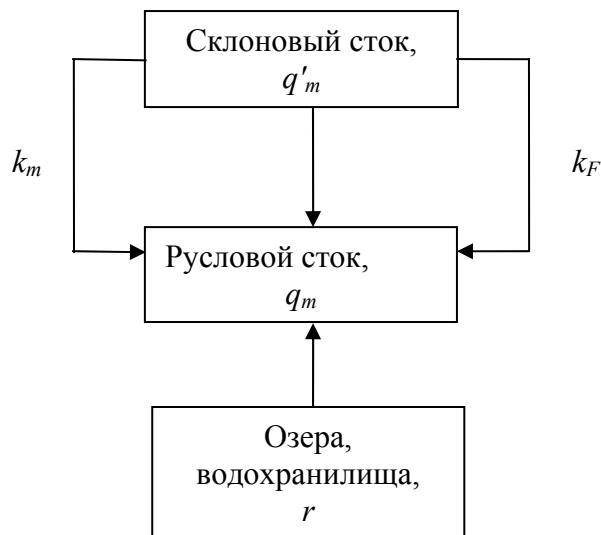


Рис.1 - Принципиальная схема трансформации склонового притока русловой сетью.

**Практическая реализация расчетной схемы (13).** В качестве объекта исследования рассматривается бассейн реки Северский Донец. Наиболее крупные левобережные его притоки берут начало на юго-восточных и восточных склонах Среднерусской возвышенности, менее значительные левые притоки стекают с западных, северных и восточных склонов Донецкого кряжа. По характеру почв бассейн Северского Донца разделяется на три существенно различные части [7]: верхнюю (северную) – лесостепную; среднюю правобережную кряжевую (Донбасс) и среднюю левобережную (задонецкую). По растительному покрову выделяют [7] две зоны – лесостепную и степную. Температурный режим в пределах бассейна реки неустойчивый. Разность между средними многолетними температурами в северных и южных регионах территории достигает 5°C и больше. Основное питание реки и её притоков связано с весенним снеготаянием. Причем, снежный покров распределяется крайне неравномерно. Наибольшая высота снежного покрова и продолжительность снеготаяния отмечаются в северной части территории. Средние из максимальных запасов снега достигают здесь 80-90 мм, постепенно уменьшаясь в южном направлении до 40-50 мм (с колебаниями от 30 до 85 мм). Что касается южных регионов, то здесь снеготаяния вообще невелики из-за неустойчивости снежного покрова.

Водный режим рек характеризуется хорошо выраженным весенним половодьем и летне-осенней меженью, которая часто нарушается дождевыми паводками. В многоводные годы на долю весеннего половодья приходится до 70-80% годовой суммы, в средние – до 60-70%, а в маловодные – до 50-60%.

При обосновании параметров расчетной схемы (13) использованы данные по максимальному стоку весеннего половодья на 32 гидрологических постах. Они охватывают водосборные площади от 189 (р.Лопань-Казачья Лопань) до 73200 км<sup>2</sup>

(р.Северский Донец-Кружиловка), а периоды наблюдений изменяются от 31 (р.Бахмут-Артемовск) до 75 лет (р.Северский Донец-Лисичанск).

Статистическая обработка временных рядов слоев стока и максимальных расходов весеннего половодья выполнена с использованием методов моментов и наибольшего правдоподобия. Установлено, что слои стока опорной обеспеченности (при  $P = 1\%$ )  $Y_{1\%}$  изменяются в довольно широком диапазоне, но характеризуются хорошо выраженной зависимостью от широтного положения водосборов, т.е.

$$Y_{1\%} = (Y_{1\%})_{\varphi=50} + 25,9 (\varphi^\circ - 50), \quad (15)$$

где  $\varphi^\circ$  - широта геометрических центров водосборов, град. с.ш.;

$(Y_{1\%})_{\varphi=50}$  – слой стока  $Y_{1\%}$  при широте  $\varphi = 50^\circ$  с.ш.

Параметр  $k_m$ , представляющий собой отношение

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}, \quad (16)$$

был определен по данным гидрологической сети постов. С этой целью на основе (5) были рассчитаны сначала коэффициенты временной неравномерности  $\frac{m+1}{m}$ , а затем осуществлено их обобщение в зависимости от площади водосборов  $F$ , причем

$$\frac{m+1}{m} = 7,5 - 1,06 \lg(F+1); r = 0,69. \quad (17)$$

Для получения расчетного параметра  $k_m$  достаточно (17) представить следующим образом

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ 7,5 = 1 - 0,14 \lg(F+1), \quad (18)$$

где 7,5 – значение коэффициента временной неравномерности склонового притока  $\frac{n+1}{n}$ . Он является базовым не только в уравнении (18), но также и при установлении максимального модуля склонового притока  $q'_{1\%}$ .

Что касается продолжительности склонового притока  $T_0$ , то как неизмеряемый параметр, она находилась обратным расчетом, опираясь на выражение (8). В бассейне Северского Донца финальные значения  $T_0$  изменяются в пределах от 261 (р.Казенный Торец-пгт.Райское) до 144 час (р.Айдар-с.Новоселовка). Проверка пространственного ряда  $T_0$  на нормальность показывает, что  $T_0$  в общем имеет случайное распределение и следовательно подлежит осреднению (в рассматриваемом регионе  $\bar{T}_0 = 189$  час).

Располагая  $Y_{1\%}$ ,  $T_0 = 189$  час и  $\frac{n+1}{n} = 7,5$ , не представляет сложности вычисление максимальных модулей склонового притока  $q'_{1\%}$ , т.к. согласно (14)

$$q'_{1\%} = 0,28 \cdot 7,5 \cdot \frac{Y_{1\%}}{189} = 0,011 Y_{1\%} \quad (19)$$

В бассейне Северского Донца модуль склонового притока  $q'_{1\%}$  в среднем изменяется от 0,98 (при  $\varphi = 48,2^\circ$  с.ш.) до 1,92 м<sup>3</sup>/с·км<sup>2</sup> (при  $\varphi = 51,5^\circ$  с.ш.), подчиняясь в общем широтной закономерности, т.е. увеличиваясь с юго-востока на северо-запад. Неизвестный в уравнении (14) параметр  $k_F$  может быть установлен в результате обратных расчетов, поскольку

$$k_F = \frac{T_0}{T_n} = (q_{1\%}/q'_{1\%}) \bigg/ k_m \quad (20)$$

В дальнейшем  $k_F$  подлежит пространственному обобщению в виде построения зависимости  $k_F = f(F)$ , которая показана на рис.2.

Описывается зависимость уравнением

$$k_F = e^{-0,49 \lg(F+1)} \quad (21)$$

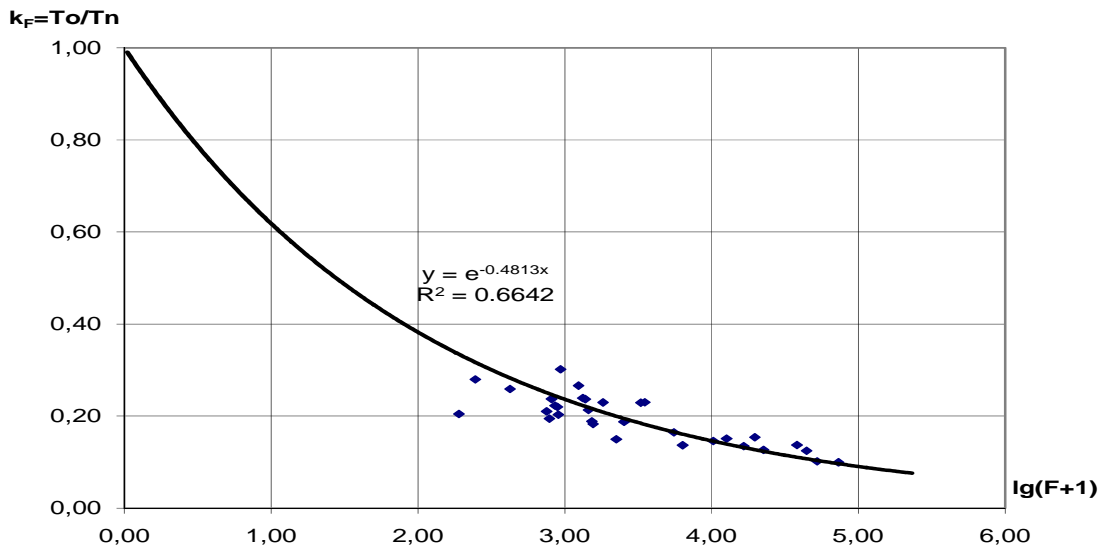


Рис.2 - Зависимость коэффициента русло-пойменного зарегулирования максимальных модулей весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец.

**Выводы:** Анализ структуры объемных формул показывает, что они могут быть преобразованы к операторному виду трансформации «склоновый приток-руслевой сток». В качестве базовой характеристики в предлагаемом варианте расчетной схемы используется модуль склонового притока  $q'_{1\%}$ , который является потенциальным предельным региональным значением максимального стока весеннего половодья.

Рекомендуемая методика для нормирования характеристик максимального стока весеннего половодья в бассейне р.Северский Донец доведено до практического применения. Ее точность в пределах этого объекта находится на уровне точности исходной информации по максимальному стоку.

#### Список литературы

1. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л., Гидрометеиздат, 1984. - 448 с.
2. Соколовский Д.Л. Речной сток. Л., Гидрометеиздат, 1968. - 538 с.
3. Гопченко Е.Д. О редуцированных формулах максимального стока. Тр. Укр. НИГМИ, вып. 175, 1980. - с.85-94.
4. Гопченко Е.Д., Сербов Н.Г. Метод расчета максимального стока весеннего половодья рек Западно-Сибирской равнины. Метеорология и гидрология, №5, 1990. - с.79-85.
5. Гопченко Е.Д. Анализ структуры объемных формул. Метеорология, климатология и гидрология, вып. 12, 1976. - с.84-90.
6. Гопченко Е.Д., Симонова Т.А. О расчете максимальных расходов весеннего половодья в бассейне р.Оки. Водные ресурсы, №6, 1981. - с.54-61.
7. Ресурсы поверхностных вод СССР. Л., Гидрометеиздат, т.6, вып. 3, 1964. - 490 с.

**Нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець на базі формул об'ємного типу.** Гопченко Є.Д., Бурлуцька М.Є., Романчук М.Є., Авгайтис С.В.

*В статті обґрунтовується варіант розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку весняного водопілля.*

**Ключові слова:** максимальний стік весняного водопілля, об'ємні формули, нормування розрахункових характеристик.

**Setting of norms of descriptions of maximal runoff of spring flood in a river basin Severskiy Donets on the base of formulas of volume type.** Gopchenko E.D., Burlutskaya M.E., Romanchuk M.E., Avgaitis S.V.

*The variant of calculation method for setting of norms of descriptions of maximal runoff of spring flood is grounded in the article.*

**Keywords:** maximal runoff of spring flood, by volume formulas, setting of norms of calculation descriptions.