

УДК 556.166

Ладжель Махмуд, к.г.н.

Университет Сэтиф, Алжир

Гопченко Е.Д., д.г.н., Овчарук В.А., к.г.н.

Одесский государственный экологический университет

## ПРОЕКТИРОВАНИЕ ГИДРОГРАФОВ ДОЖДЕВЫХ ПАВОДКОВ НА УЭДАХ АЛЖИРА

*Предлагается методика проектирования гидрографов дождевых паводков на уэдах Алжира, основанная на модели Д.Л.Соколовского.*

**Ключевые слова:** гидрограф, дождевые паводки, уэд.

**Введение.** Водные ресурсы рек Алжира в основном формируются за счет серии последовательных паводков в период сезона дождей. Характерной особенностью этих паводков является их небольшая продолжительность (до 1 суток). Поэтому стационарные гидрологические измерения не всегда регистрируют прохождение максимумов между сроками наблюдений, особенно на малых и средних реках. В основном гидрографы паводков на рассматриваемой территории можно характеризовать как одномодальные, что упрощает возможности их проектирования.

**Существующие методики проектирования гидрографов стока и их анализ.**

**Метод Д.И.Кочерина.** Он предложил схематизацию гидрографов паводков производить в виде линейных треугольников. В фазах подъема и спада расходы воды выражаются уравнениями [8]

$$Q(t) = Q_{max} \frac{t}{t_n}, \quad (1)$$

и

$$Q(t) = Q_{max} \frac{t_{cn} - t}{t}, \quad (2)$$

где  $Q(t)$  - текущий расход воды;

$Q_{max}$  - максимальная ордината гидрографа;

$t$  - текущее время;

$t_n$  - время подъема;

$t_{cn}$  - время спада.

**Расчетная схема Д.Л.Соколовского.** В развитие идеи Кочерина Д.И., он предложил характеризовать гидрограф паводка формой параболического треугольника с одним пиком и временем подъема  $t_n$  меньшим времени спада  $t_{cn}$ . Ветвь подъема при этом описывается уравнением [4,8]

$$Q(t) = Q_{max} \left( \frac{t}{t_n} \right)^m, \quad (3)$$

спада -

$$Q(t) = Q_{max} \left( \frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^n. \quad (4)$$

Показатель степени  $m$  выражает скорость роста расходов воды в течение фазы подъема, а  $n$  - их убывание в фазе спада. Для небольших водосборов Д.Л. Соколовский рекомендует принимать следующие значения показателей степени:  $m = 2$ , а  $n = 3$ .

**Метод Г.А.Алексеева.** Г.А.Алексеев применил для схематизации одномодальных паводков уравнение кривой распределения Гудрича [1, 8]

$$Q(t) = Q_{max} 10^{-\frac{\lambda(1-x)^2}{x}}, \quad (5)$$

где  $x = \frac{t}{t_n}$  - абсцисса, отнесенная к продолжительности подъема гидрографов;

$\lambda$  - параметр, зависящий от коэффициента формы гидрографа паводка  
 $f = \frac{Q_{max} t_n}{W}$ .

Для определения продолжительности подъема половодья Г.А.Алексеев предложил следующую формулу

$$t_n = \frac{T_0}{3} + \frac{2}{3} t_p, \quad (6)$$

где  $T_0$  - продолжительности водоотдачи,

$t_p$  - время руслового добегания.

**Метод Семагрефа (Франция).** В работе Семагрефа [11], было рекомендовано проектировать гидрограф по следующей формуле

$$Q(t) = \frac{2 Q_m \left(\frac{t}{D}\right)^\alpha}{1 + \left(\frac{t}{D}\right)^{2\alpha}}, \quad (7)$$

где  $Q(t)$ - текущий расход воды;

$Q_m$  - максимальный расход воды;

$\alpha$  - показатель степени значение, которого зависит от максимального расхода  $Q_m$  и от суточного объема стока заданной обеспеченности;

$D$ - характерное время водосбора; это интервал времени, в течение, которого проходит половина максимального расхода  $Q_m$ .

При отсутствии данных наблюдения рекомендует использовать следующую формулу для  $D$

$$\log D = -0.69 + \log F + 2.2 \sqrt{\frac{P_\gamma}{P_{c,10\%} t_\gamma}}, \quad (8)$$

где  $F$  - площадь водосбора, км<sup>2</sup>;

$P_\gamma$  - средние годовые осадки, мм;

$P_{c,10\%}$  - суточные осадки 10% обеспеченности, мм;

$t_\gamma$  - средняя годовая температура, °C.

**Методика проектирование гидрографов, предлагаемая и реализованная авторами для уэдов Алжира.**

Для проектирования расчетных высоких гидрографов стока принята параболическая модель одномодального паводка, т.е она совпадает со схемой Д.Л.Соколовского. По этой схеме необходимо определить основные характеристики гидрографов: продолжительность подъема ( $t_n$ ), расчетный максимальный расход ( $Q_{max}$ ) и продолжительность спада ( $t_{cn}$ ) паводков. Также необходимо располагать данными о показателях степени ветвей подъема ( $m$ ) и спада ( $n$ ). Основными проблемными и пока

нерешенными остаются вопросы, связанные с учетом генетических типов паводков. Статья авторов посвящена проектированию гидрографов дождевых паводков, опираясь на модель трансформации склонового стока в русловой.

**Определение продолжительности паводка.** Продолжительность паводка  $T_n$  состоит из двух составляющих: времени подъема  $t_n$  и спада  $t_{cn}$ .

Между собой эти две величины можно связать соотношением  $t_{cn} = \gamma t_n$ . Выразим продолжительность паводка  $T_n$  в зависимости от времени подъема  $t_n$ , т.е.

$$T_n = (\gamma + 1)t_n. \quad (9)$$

Параметр  $\gamma$  авторами рекомендуется нормировать в зависимости от площади водосбора  $F$ . С этой целью обосновано уравнение вида

$$\gamma = 0.03(F + 1)^{0.65} + 1.0. \quad (10)$$

**Определение времени подъема.** Русловой сток является результатом трансформации склонового притока русловой системой. Рассмотрим два различных случая:

Первый случай: когда продолжительность руслового добегания меньше продолжительности склонового притока, т. е.  $t_p < T_0$ , а максимальная ордината паводка образована слоем склонового притока за время  $t_p$ . Максимальный расход паводка наблюдается до конца склонового притока. Тогда, время подъема  $t_n$  будет больше продолжительности руслового добегания  $t_p$  [10]. Теоретически, время подъема меняется от  $T_0/2$  до  $T_0$ . Гидрологический анализ некоторых наблюдаемых высоких паводков на различных водосборах, расположенных на севере Алжира, позволил проверить зависимость между относительным временем подъема  $\left(\frac{t_n}{T_0}\right)$  и относительным временем руслового добегания  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ , как это показано на рис. 1.

Эта зависимость аналитически описывается следующим уравнением:

$$t_n = \frac{T_0}{2} \left[ 1 + \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^{1/2} \right]. \quad (11)$$

При стремлении времени руслового добегания к нулю, время подъема  $t_n$  стремится к своему нижнему пределу  $T_0/2$ .

Второй случай: При соотношении  $t_p > T_0$  максимальный расход паводка формируется за счет всего слоя склонового притока, но только с части водосбора. В результате русло-пойменого регулирования максимальный расход наступает после окончания склонового притока.

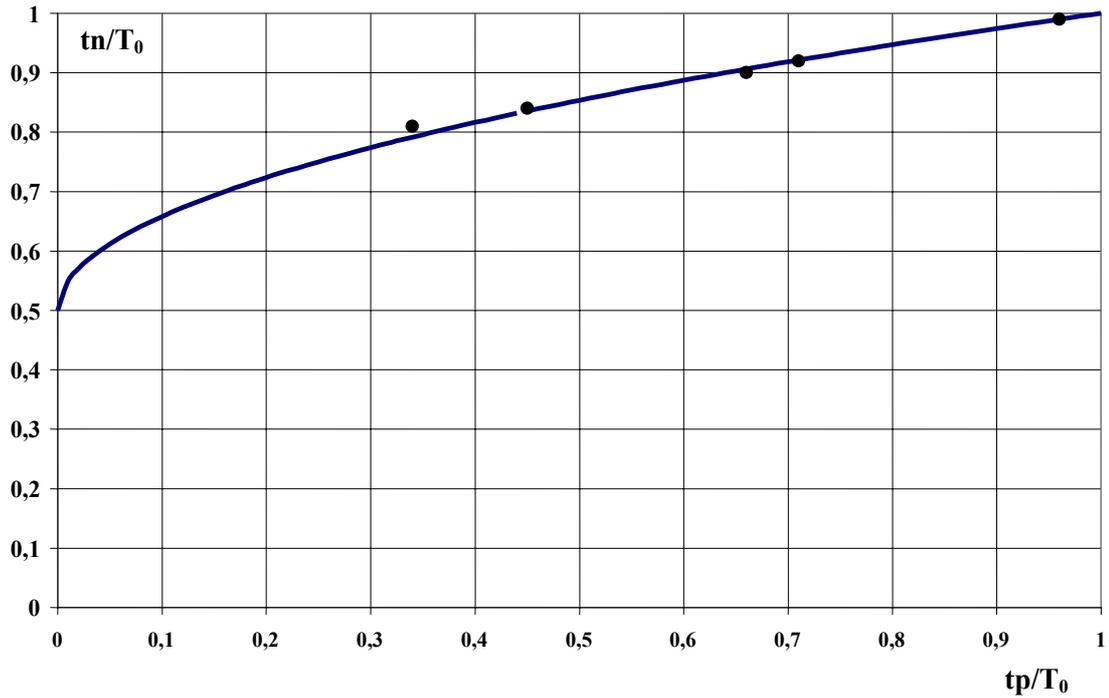


Рис. 1- Зависимость  $t_n/T_0 = f\left(t_p/T_0\right)$ .

Таким образом, время подъема  $t_n$  будет меньше времени руслового добега  $t_p$ , но больше или равно продолжительности склонового притока  $T_0$  [9,10].

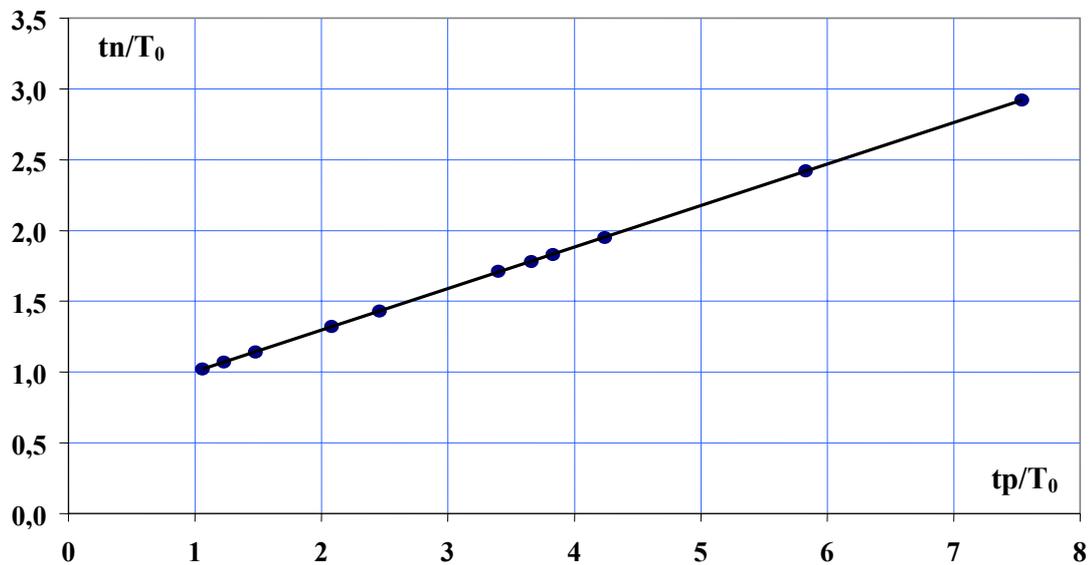


Рис. 2- Зависимость  $t_n/T_0 = f\left(t_p/T_0\right)$ .

На материалах наблюдаемых высоких паводков установлена зависимость между относительным временем подъема  $\left(\frac{t_n}{T_0}\right)$  и относительной продолжительностью временем руслового добегания  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ , как это показано на рис. 2.

Эта зависимость аналитически описывается линейным уравнением

$$t_n = 0.7T_0 + 0.3t_p \quad (12)$$

**Определение продолжительности склонового притока.** Методика определения продолжительности притока  $T_0$  для уездов Алжира подробно описана в работах [5,6]. В целом эта характеристика подчиняется географической зональности и представлена в виде карты. Максимальные значения  $T_0$ , близкие к пяти часам, наблюдаются на побережье, в то время как минимальные значения (менее одного часа) - в регионе Сахарского Атласа [6].

**Определение показателей степени.** Проектирование гидрографов дождевых паводков в виде параболических треугольников требует определения показателей степени обеих их ветвей:  $m$  и  $n$ .

Для показателя степени  $m$ , в результате численных экспериментов, были получены следующие уравнения:

а) при  $t_p < T_0$

$$m = \frac{1}{n_1} + \frac{t_p}{T_0}; \quad (13)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$m = \frac{1}{n_1} + 1, \quad (14)$$

где  $n_1$  – показатель степени в уравнении склонового притока [3].

Для определения показателя степени в уравнении кривой спада  $n$  предлагается использовать уравнение, полученное в результате анализа структуры объемной формулы Д.Л.Соколовского [8]. После некоторых преобразований, получаем

$$n = \frac{k \gamma (m+1)}{(m+1)(\gamma+1) - k} - 1, \quad (15)$$

где  $k = \frac{m_1 + 1}{m_1}$  - коэффициент неравномерности стока паводка;

$m_1$  - показатель степени в уравнении гидрографа руслового стока [3].

Минимальное значение коэффициента  $m_1$ , равное значению  $n_1$ , имеет место при стремлении площади водосбора к нулю [3]. Многие исследования экспериментально показали, что значение коэффициента  $n_1$  очень близко к 0.5 [2,7].

Показатель степени формы  $m_1$  зависит от площади водосбора. Поэтому его можно выразить следующим образом

$$m_1 = n_1 (F + 1)^{\zeta}. \quad (16)$$

Эмпирическая проверка этого выражения для уэдов севера Алжира дала среднее значение  $\zeta \approx -0.20$ .

Запроектированные по изложенной методике гидрографы паводков показаны на рис.3 и 4.

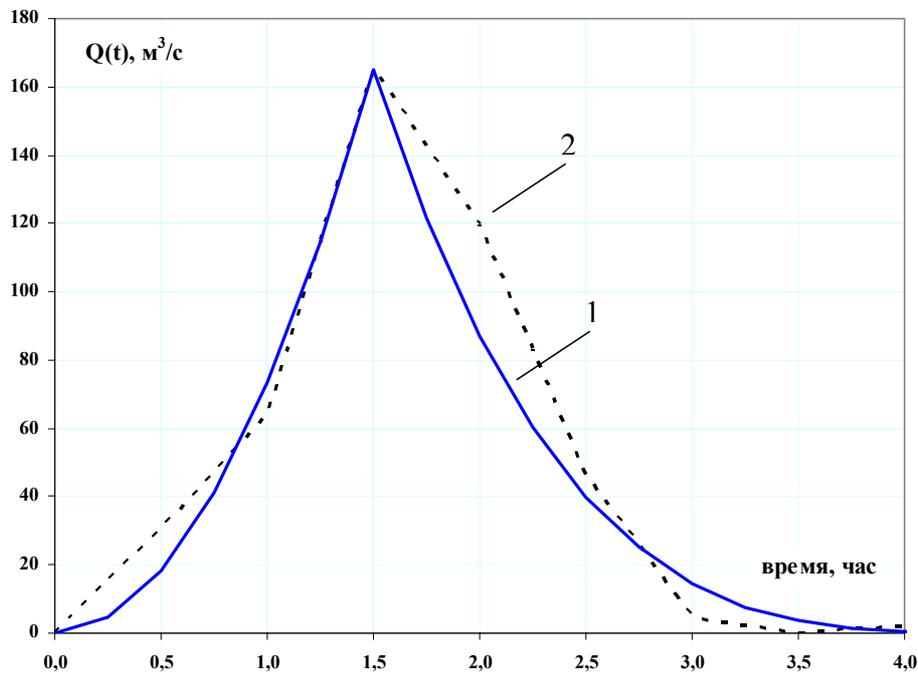


Рис.3 - Паводок 27.09.1969г. на Уэде Рэбуа-Рэбна :

1 - запроектированный по модели авторов, 2 – фактический гидрограф.

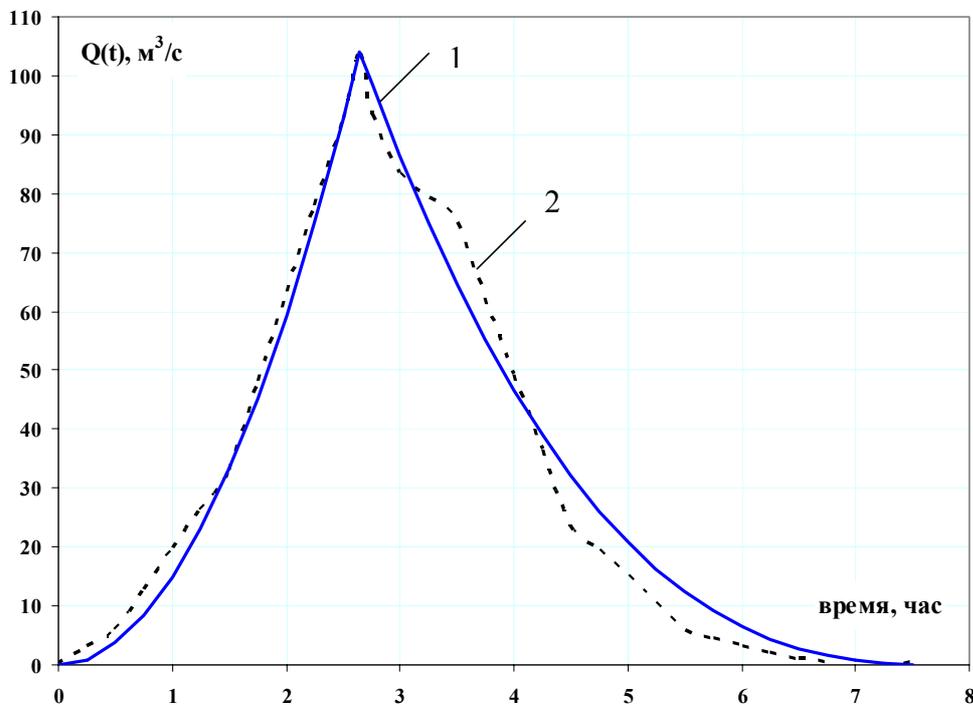


Рис.4 - Паводок 07.12.1987 г. на Уэде Субелла- Сиди Уадах :

1 - запроектированный по модели авторов, 2 – фактический гидрограф.

## Выводы:

- Применение параболической модели гидрографов паводков для уэдов Севера Алжира, с показателями степени  $m = 2$  и  $n = 3$ , показало, что они не в полной мере соответствуют реальным гидрографам.
- Показатель степени ветви подъема паводка  $m$  зависит от формы гидрографов склонового притока.
- Показатель степени ветви спада  $n$  зависит от формы гидрографа паводка и показателя степени в уравнении редукционного гидрографа руслового стока.
- Сравнение расчетных гидрографов, запроектированных по методике авторов, с наблюдаемыми показало, что предложенный метод в целом обеспечивает удовлетворительный результат.

**Задачей дальнейших исследований** является массовая проверка адекватности предложенной схемы проектирования гидрографов по данным о паводках на реках Севера Африки.

## Список литературы

1. Алексеев Г. А. О применении кривой распределения Гудрича к гидрологическим расчетам.// Тр. НИУ ГУГМС, 1946.-сер. IV, вып. 29.- С.91-112.
2. Бефани А. Н. Вопросы региональной гидрологии. Паводочный сток. УМК ВО, Киев, 1989.- 131с.
3. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. ТЭС, Одесса, 2002.- 110с.
4. Клибашев К. П., Горошков И. Ф. Гидрологические расчеты. Гидрометеиздат, Л., 1970.-459с.
5. Ладжель М., Гопченко Е. Д., Овчарук В.А. О расчете продолжительности притока воды со склонов в период дождевых паводков на уэдах Севера Алжира.// Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Одеса. Екологія, 2008. – вип.50. - ч.2.- С.84-92.
6. Ладжель М. Методика оцінки тривалості схилового притоку. II міжнародна конференція «Актуальні проблеми водного господарства та природокористування», 21-22 листопада 2007 року, Рівне.
7. Мольчак Я.А. Дождевой сток зоны избыточного увлажнения Украины (Исследования и расчеты). Вища школа, Львов, 1984.- 101 с.
8. Соколовский Д. Л. Речной сток. Гидрометеиздат, Л., 1968.- 540с
9. Ladjel M. A propos de l'application de la formule de calcul du débit maximum des crues pluviales. Séminaire National d'Hydraulique, SNHYC08, Chlef, Algérie, 2008. -С 5.
10. Ladjel M., Gacem A. Caractérisation analytique de l hydrogramme de la crue pluviale. Séminaire National d'Hydraulique 2008, SNHYC08, Chlef, Algérie, 2008. -С 6.
11. Petits Barrages « recommandations pour la conception, la réalisation et le suivi ». Cemagref, 2002.- С 34.

### Проектування гідрографів дощових паводків на уедах Алжиру.

**Ладжель Махмуд, Гопченко Є.Д., Овчарук В.А.**

*Пропонується методика проектування гідрографів дощових паводків на уедах Алжиру, заснована на моделі Д.Л.Соколовського.*

**Ключові слова:** гідрограф, дощові паводки, уед.

### Designing of flood hydrograph on wades of Algeria.

**Ladjel Mahmoud, Gopchenko E., Ovcharuk V.**

*The technique of designing flood hydrograph on wades of Algeria based on models D.L.Sokolovskiy is offered.*

**Key words:** hydrograph, flood, wade.