

УДК 556.166

Ладжель Махмуд, к.г.н.

Университет Сэтиф, Алжир

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

Одесский государственный экологический университет

МАКСИМАЛЬНЫЙ СТОК ПАВОДКОВ НА УЭДАХ СЕВЕРНОЙ ЧАСТИ АЛЖИРА

Предлагается методика расчета максимального стока дождевых паводков для рек севера Алжира, основанная на теории русловых изохрон.

Ключевые слова: *максимальный сток, уэд, дождевые паводки.*

Введение. Алжир - государство в Северной Африке, занимает центральную часть Атласских гор и пустыни Сахара. Территорию этой страны условно можно разделить на три географические зоны, расположенные с севера на юг: 1) прибрежный Тель – плодородная и интенсивно культивируемая и засеянная зона; 2) территория Атласской горной системы, состоящая из Малого Атласа на севере (наивысшая точка 2308 м) и Большого Атласа (наивысшая точка 2328 м) - на юге, между которыми простирается обширное плоскогорье, засушливое и бесплодное; 3) зона пустыни Сахары, которая располагается далее в глубь материка, с немногочисленными оазисами, переходящими к югу в горный массив Ахаггар с высочайшей точкой Алжира – горой Тахат (2 918м).

Гидрография страны бедна: несколько рек впадает в Средиземное море, в то время как в зоне Сахары часто встречаются лишь пересохшие русла рек и высохшие соленые озера. Все реки Алжира относятся к типу уэдов. Уэды Северного Алжира близки к рекам средиземноморского типа с преобладанием дождевого питания. Лишь в прибрежной зоне сток уэдов направлен в Средиземное море. В остальной части Алжира гидрографическая сеть представлена замкнутыми бассейнами внутреннего стока. Крупнейший уэд – Шелиф (L=700км), остальные редко превышают по длине 100 км (Эль-Хамман, Иссер, Суммам, Эль-Кериб и др.)

В данной работе рассматривается максимальный сток паводков на уэдах северной части Алжира. Это горная территория со сложным и разнообразным рельефом. Амплитуда колебания высот (от 0 до 2328 м) определяет разнообразие климатических зон, почв и растительности, которые влияют на генезис максимального стока прилегающих уэдов.

Состояние вопроса. Дождевые паводки на рассматриваемой территории наблюдаются в холодный период года и формируются в результате выпадения жидких осадков; в высокогорных районах в их формировании также участвуют снегозапасы, накапливающиеся на вершинах. Результатом выпадения дождей часто являются короткие, но довольно высокие наводнения. На уэдах Северного Алжира сооружены плотины, водохранилища и ГЭС. В последние годы были зарегистрированы катастрофические паводки в разных регионах Алжира, в результате действия которых многие гидротехнические сооружения были разрушены, пострадало местное население, в целом стране был нанесен большой экономический ущерб.

Вопрос изучения максимального стока дождевых паводков на малых и средних реках Алжира является весьма актуальным, однако, из-за недостаточности гидрометрических данных определить его величину не всегда возможно. Таким образом, необходимо территориальное обобщение характеристик максимального стока, что позволит количественно оценить максимальные расходы неизученных рек.

Цель работы - разработка методики расчета максимального паводочного стока уэдов северного Алжира, основанной на стандартных гидрометеорологических данных.

Анализ исследований и публикаций. Мировой опыт в области расчета характеристик максимального стока позволяет классифицировать применяемые на практике методы по нескольким группам:

1. Так называемые формулы предельной интенсивности или «рациональные формулы»;
2. Объемные формулы;
3. Эмпирические, чаще всего редуцированные формулы;
4. Методология «максимума максимумов»;
5. Формулы, основанные на теории русловых изохрон.

В первом случае устанавливается эмпирическая зависимость между максимальной интенсивностью осадков за некоторый расчетный интервал времени и максимальными модулями стока.

Объемные и редуцированные формулы в своей основе опираются на одномодальные паводки, причем общим решением является только объемная структура, поскольку вариант редуцированной формулы представляет собой всего лишь частный случай, когда по территории мало изменяется продолжительность притока воды со склонов в русловую сеть. Реализовать объемную структуру для нормирования характеристик максимального стока оказалось делом весьма сложным, т.к. продолжительность паводков зависит не только от размера водосборов, но также от факторов склонового зарегулирования стока (под влиянием залесенности и заболоченности) и русло-пойменного зарегулирования паводков. По этой причине формулы объемного типа широкого распространения в мировой практике не получили. Наоборот, весьма простые приемы обобщения данных в структуре редуцированных формул и методология «максимума максимумов» на многие годы вытеснили развитие современной теоретической базы для нормирования характеристик максимального стока.

Метод исследований. Авторами предлагается вариант расчетной схемы, реализующий принципиальную модель формирования стока, показанную на рис.1.

Рассматривая рис.1, легко прийти к выводу, что идея построения формул предельной интенсивности («рационального метода») в теоретическом отношении не состоятельна, так как в модели «осадки – русловый сток» упускается из виду оператор

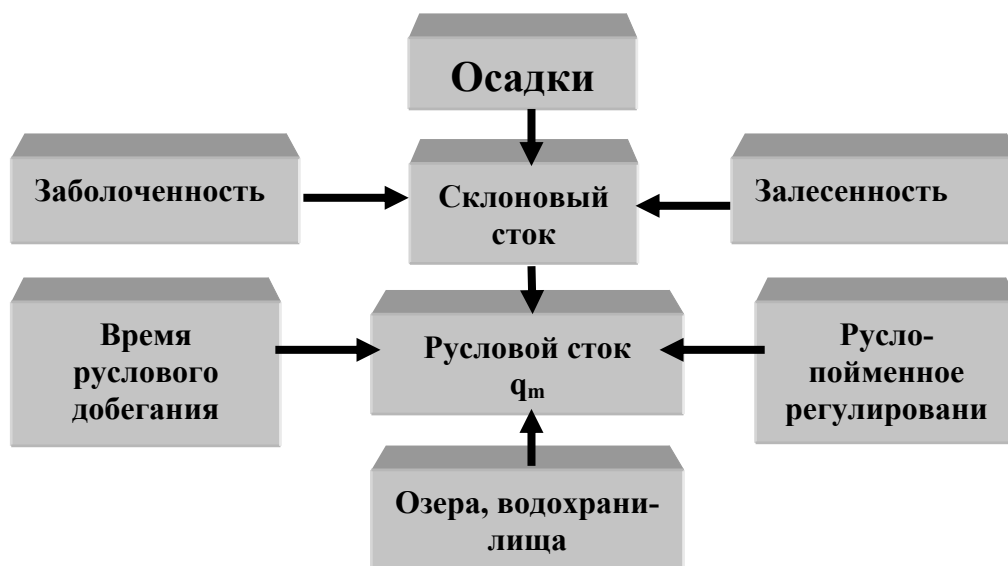


Рисунок 1 - Схема формирования руслового стока.

трансформации осадков в склоновый сток. Процесс формирования руслового стока, очевидно, должен описываться двумя операторами: «осадки – склоновый приток» и «склоновый приток – русловой сток». Именно такой должна быть теоретическая и методическая база при решении задач, связанных, например, с прогнозированием гидрографов руслового стока по атмосферным осадкам. Однако в практике гидрологических расчетов большой интерес, при решении целого ряда задач, представляет не весь гидрограф руслового стока, а только его максимальная ордината, причем редкой вероятности превышения.

В этом случае проблема построения теоретической базы может быть значительно упрощена. В частности, можно ограничиться только рассмотрением оператора «склоновый приток – русловой сток», который по исследованиям [2,3], описывается балансовым уравнением

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{\varepsilon_F} \frac{\partial \omega}{\partial t} = q'_t B_t, \quad (1)$$

где Q – расход воды;

ε_F - коэффициент русло-пойменного регулирования;

ω - суммарная площадь водного сечения в плоскости изохроны руслового добегания;

q'_t - произвольная функция притока воды со склонов в русловую сеть;

B_t - ширина водосбора по изохронам руслового добегания в момент времени t .

Если в рамках уравнения (1) решается задача только относительно максимального расхода Q_m , то, согласно [2,3] функции q'_t и B_t можно представить в развертке от максимального значения, т.е.

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (2)$$

а

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right], \quad (3)$$

где q'_m - максимальный модуль склонового притока;

B_m - максимальная ширина водосбора по изохронам руслового добегания;

T_0 - продолжительность склонового притока;

t_p - время руслового добегания волн паводков и половодий;

n и m – показатели степени в уравнениях склонового притока и изхрон, соответственно.

Выражая расход воды Q через скорость руслового добегания V и площадь водного сечения ω , и, подставляя (2) и (3) в (1), получим

$$V \frac{\partial \omega}{\partial x} + \frac{1}{\varepsilon_F} \frac{\partial \omega}{\partial t} = q'_m B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n + \frac{t^{n+m}}{T_0^n t_p^m} \right]. \quad (4)$$

Интегрирование (4) при условии, что $t_p < T_0$, приводит к выражению

$$q_m = \frac{Q_m}{F} = q'_m \left[1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \varepsilon_F. \quad (5)$$

При обратном соотношении, т.е. когда $t_p \geq T_0$,

$$q_m = \frac{Q_m}{F} = q'_m \frac{T_0}{t_p} \frac{n}{n+1} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \varepsilon_F. \quad (6)$$

Из (5) и (6) видно, что в их правые части входят модули склонового притока q'_m и коэффициенты русло-пойменого регулирования ε_F , а также трансформационные функции $\psi(t_p/T_0)$, которые соответственно равны

а) при $t_p < T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n; \quad (7)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \quad (8)$$

Объединяя (5) и (6), с учетом (7) и (8), можно записать обобщенное уравнение для q_m

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) \varepsilon_F. \quad (9)$$

Если в бассейнах рек имеются озера или водохранилища проточного типа, то в правую часть (9) необходимо ввести коэффициент озерного (или водохранилищного) регулирования $r \leq 1.0$, т.е.

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) \varepsilon_F r. \quad (10)$$

В (10) параметром, определяющим верхнее предельное значение максимального стока на водосборе, является модуль склонового притока q'_m , который на основе интегрирования (2) равен

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (11)$$

где $(n+1)/n$ – коэффициент неравномерности склонового притока во времени;
 Y_m – слой склонового притока.

Очевидно, что q'_m представляет собой комплексную характеристику, которая увязывается с другими элементами склоновых гидрографов: их формой – через $(n+1)/n$,

объемом – через Y_m и продолжительностью притока через T_0 . С другой стороны, будучи характеристиками склонового притока, T_0 и Y_m позволяют учесть регулирующее влияние таких местных ландшафтно-гидрологических факторов, как залесенность, заболоченность и др. [2,3,5,6,7]

Материалы исследований. Для обоснования расчетных параметров операторной модели максимального стока паводков рек Алжира использовались данные 43 гидрометрических станций Национальной Гидрометеорологической Службы. Площади водосборов исследуемых рек колеблются в пределах от 77 км² до 8735 км². Период наблюдений на рассматриваемых водосборах – с 1967 по 1997гг; самый короткий ряд имеет 9 лет наблюдений (уэд Ксоб-Меджез), наиболее продолжительный – 29 лет (уэд Бу-Хандан –Меджез Амар).

Следует отметить также, что в большинстве случаев максимальные расходы определялись по экстраполяции кривых расходов $Q=f(H)$ и проверялись гидравлическим расчетом по следам высоких паводочных волн.

Результаты исследований. Авторами настоящей статьи реализована операторная модель для расчета максимального стока паводков уэдов северной части Алжира. Определены все параметры, входящие в расчетную формулу (10).

Слой стока паводков 1%-ой обеспеченности представлен в виде карты изолиний (рис.2). Характер распределения изолиний по территории достаточно сложный, что в основном связано с рельефом местности, в частности, расположением горных хребтов по отношению к направлению основного влагопереноса. В целом значения $Y_{1\%}$ закономерно уменьшаются в направлении с севера на юг от 64 до 24мм. Наибольшие значения (52-64мм) наблюдаются на прибрежной, хорошо увлажненной территории,

что соответствует физико-географическому районированию. Тем не менее, на северо-востоке прибрежного Теля возможно снижение слоя паводочного стока до 32мм, которое можно наблюдать в тех случаях, когда равнинная пониженная территория окаймляется хребтами. По мере продвижения на юг, в зону Атласских гор, сток уменьшается и достигает минимума (24мм) на территории внутренних засушливых котловин (рис.2).

На основе анализа литературных источников, а также учитывая многолетние исследования авторов по определению коэффициентов формы склонового гидрографа и продолжительности притока паводковых вод в русловую сеть для различных территорий [1,2,4], эти параметры для рек Алжира предлагается осреднить и принять равными $(n+1)/n = 3.5$ и $T_0 = 3$ ч.

Подтверждением правильности принятых значений, в частности $(n+1)/n = 3.5$, могут служить исследования одного из авторов данной статьи [8]. На основе анализа параметров объемных формул Ладжель Махмуд предлагает использовать эмпирическую зависимость между коэффициентом формы руслового гидрографа $(m+1)/m$ и площадью водосбора, которая имеет вид

$$Lg\left(\frac{m+1}{m}\right) = a' - b'Lg(F+1), \quad (12)$$

где $a' = Lg\left(\frac{n+1}{n}\right)$.

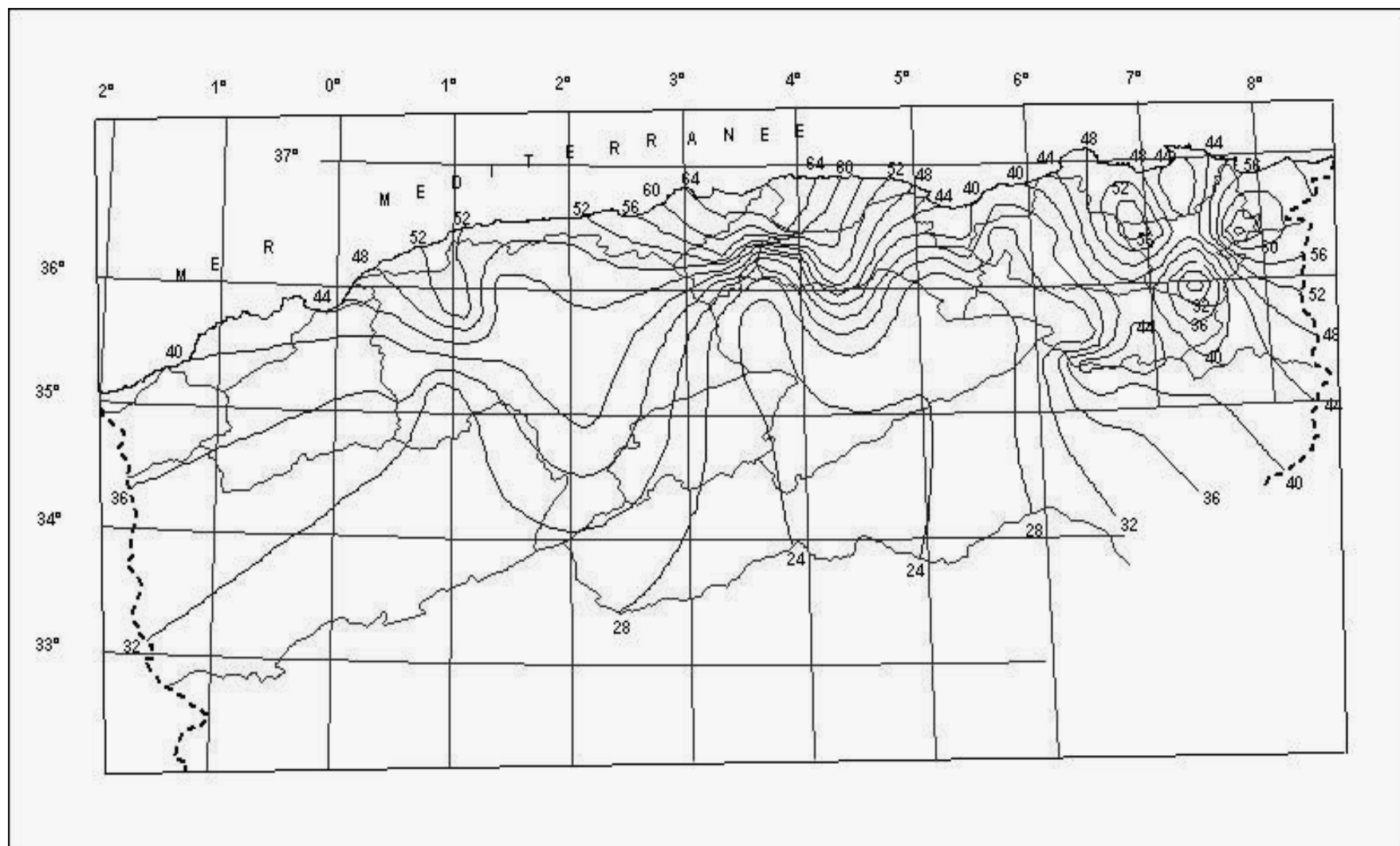


Рисунок 2 – Карта-схема распределения максимальных слоев стока паводков 1%-ой обеспеченности для рек Алжира, мм

Величина $\frac{n+1}{n}$ является предельным значением $\frac{m+1}{m}$ при $F=0$, т.е. коэффициентом формы склонового гидрографа. Для уездов северного Алжира величина $a' = 0.55$ (рис.3), откуда $\frac{n+1}{n} = 3.55$, что хорошо согласуется с принятым нами значением $\frac{n+1}{n} = 3.5$.

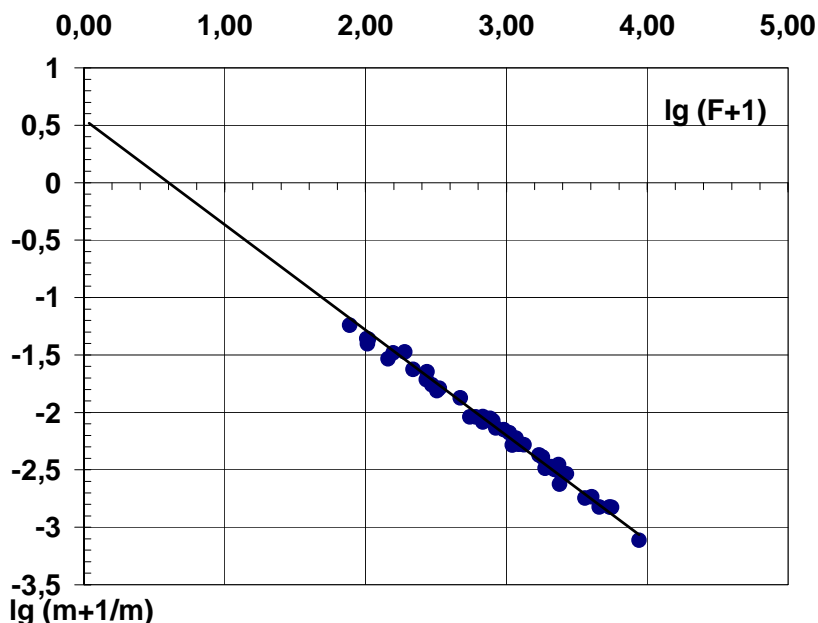


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента формы руслового стока от площади водосборов для уездов севера Алжира.

Расчетные максимальные модули склонового притока $q'_{1\%}$ для рассматриваемой территории изменяются в диапазоне от $20.3 \text{ м}^3/\text{с км}^2$ - в северной, прибрежной части, до $7.3 \text{ м}^3/\text{с км}^2$ – на юге.

Трансформационная функция $\psi(t_p/T_0)$ может быть рассчитана по уравнениям (7) и (8) в зависимости от соотношения t_p и T_0 . Для определения t_p необходимо располагать данными о площадях водосборов, длинах и уклонах рек, т.к.

$$t_p = \frac{L}{V_\partial}, \tag{13}$$

где L - длина реки ,км;
 V_∂ - скорость руслового добегаания ,км/ч.

Скорость руслового добегаания V_∂ предлагается рассчитывать по региональной формуле, которая разработана для рек степной зоны

$$V_\partial = 1.19F^{0.14}I^{0.33}, \tag{14}$$

где F – площадь водосбора реки, км^2 ;
 I – средневзвешенный уклон реки, ‰.

С учетом того, что для рек данной территории сток практически во всех случаях формируется по типу замедленного ($t_p > T_0$), и принимая $m=1$, можно записать следующее расчетное уравнение для $\psi(t_p/T_0)$ при $(n+1)/n=3.5$ и $T_0=3$ ч

$$\psi(t_p / T_0) = \frac{0.855}{t_p} \left[2.0 - \frac{1.74}{t_p} \right]. \quad (15)$$

В случае $t_p \leq T_0$

$$\psi(t_p / T_0) = 1 - 0.59 \left(\frac{t_p}{3} \right)^{0.4}. \quad (16)$$

Анализируя полученные по 43 водосборам значения $\psi(t_p/T_0)$, можно отметить, что они изменяются в довольно широком диапазоне – от 0.05 до 0.52 (рис.3). Наибольшие значения $\psi(t_p/T_0)$ соответствуют малым водосборам с площадями примерно до 350 км², а наименьшие – водосборам с площадью более 4000 км². Верхней предельной величиной $\psi(t_p/T_0)$ является единица, соответствующая $t_p/T_0=0$ или $F=0$.

Последний параметр, входящий в расчетную формулу, - коэффициент русло-пойменного регулирования ε_F . При известных q'_m и $\psi(t_p/T_0)$ его величина может быть рассчитана обратным путем из уравнения (10). Полученные значения ε_F обобщены в виде зависимости от площади водосборов F , которая представлена на рис.4. На этом же рисунке также представлены кривые общей редукции максимального стока $q_{1\%}/q'_{1\%}$ и трансформационная функция $\psi(t_p/T_0)$. Экстраполяция всех трех кривых в области малых площадей проведена с учетом их физического предела, равного 1.0.

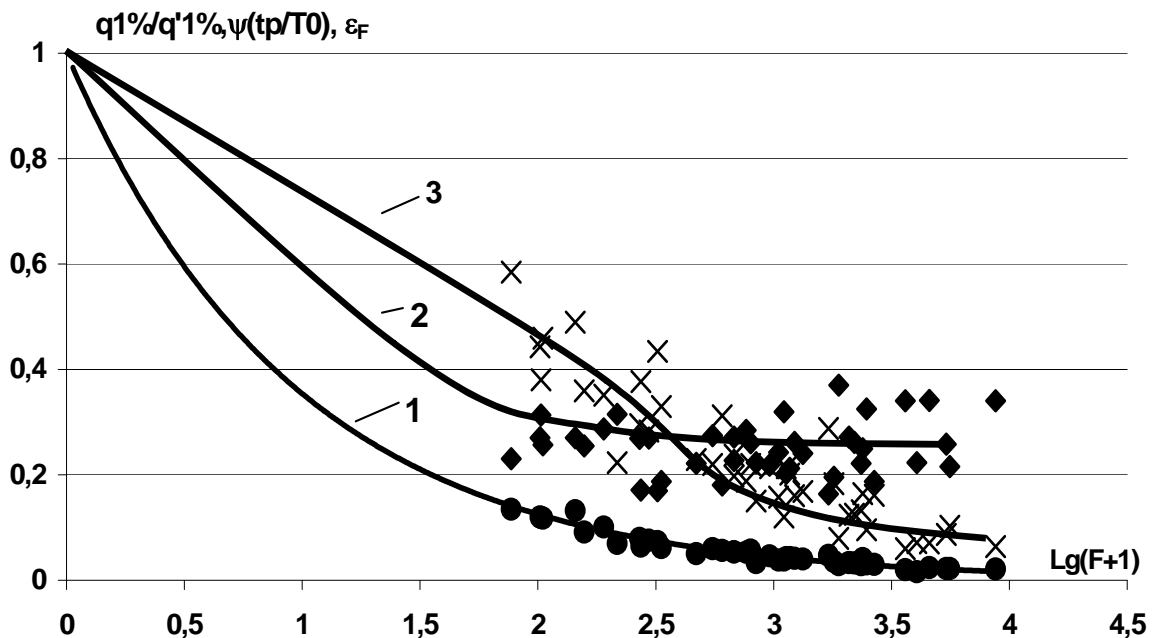


Рисунок 4 - Зависимость коэффициентов общей редукции (1), русло-пойменного регулирования (2) и русловой трансформации (3) от площади водосборов уездов северного Алжира.

Анализируя рис.4, можно отметить, что для рек с площадью водосборов приблизительно до 350 км², русло-пойменное регулирование играет ведущую роль, а для более крупных водосборов трансформация происходит в основном за счет времени руслового добега t_p .

Для удобства пользования коэффициент ε_F может быть представлен в виде таблицы, представленной ниже (табл.1).

Таблица 1 – Коэффициенты русло-пойменного регулирования ε_F максимального модуля стока паводков уэдов северного Алжира

F, км ²	0	10	25	50	100	500	1000	5000 и более
ε_F	1.0	0.65	0.45	0.35	0.33	0.32	0.31	0.30

Проверочные расчеты показали, что точность методики составляет $\pm 15,7\%$. Учитывая то, что точность исходных данных по максимальному стоку рек рассматриваемой территории составляет $\approx 20\%$, можно считать результаты хорошими.

Выводы:

- при активном гидротехническом строительстве, ведущемся в последнее время, расчет максимального стока паводков для уэдов Алжира является весьма актуальной задачей;
- для расчета максимального стока рек Алжира предлагается двухоператорная генетическая модель трансформации осадков в русловой сток, которая, по мнению авторов, наиболее полно учитывает все стокоформирующие факторы;
- для рассматриваемой территории определены и обобщены все параметры, входящие в предлагаемую схему;
- проверочные расчеты показали хорошую сходимость фактических и расчетных модулей максимального стока и, следовательно, методика может быть рекомендована для практического применения.

Перспективы дальнейших исследований. Предлагаемая теоретическая модель может быть применена для разработки методики расчета максимального стока паводков в пределах территории Алжира.

Список литературы

1. Андреевская Г.М., Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть // Метеорология, климатология и гидрология. 1996. – вып.33. – С.106-111.
2. Бефани А.Н. Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958. – Ч.II. – Вып. XIV. – 305с.
3. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР: обзорная информация. Сер. Гидрология суши. – Обнинск: ВНИИГИ, МЦД, 1981. – вып.2.- 60с.
4. Вишневський П.Ф. Зливи та зливовий стік. – Київ:”Наукова думка”, 1964. – 291с.

5. Гопченко Е.Д., Казанкова Т.А., Романчук М.Е. Обоснование расчетной схемы максимального стока, опирающейся на теорию русловых изохрон // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. 1999. - вип.36. – С. 170-180.
6. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины.– Одесса: «ТЭС», 2002. – 110с.
7. Eugene Gopchenko, 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 – Vol.72. – Springer, 2006. – P.91-99.
8. *Ladjel Mahmoud.* Formule de calcul des débits maximums des crues pluviales « Bejaïa'2000 », Journées portes ouvertes sur la spécialité d'hydraulique, le 24, 25 et 26 avril 2000, Université Abderrahmane Mira, Bejaïa.

Максимальний стік паводків на уедах північної частини Алжира. Ладжель Махмуд, Гопченко Е.Д., Овчарук В.А.

Пропонується методика розрахунку максимального стоку паводків для річок північної частини Алжира на підставі теорії руслових изохрон.

Ключові слова: максимальний стік, уед, дощові паводки.

The maximal runoff of flood on wades of northern part of Algeria. Ladjel Mahmoud, Gopchenko E., Ovcharuk V.

The technique of account the maximal runoff of flood for the rivers of northern part of Algeria based on the theory of channel isochrones is offered.

Key words: the maximal runoff, wade, floods.