

¹ Е. Д. Гопченко, доктор геогр. наук, проф.

¹ В. А. Овчарук, канд. геогр. наук, доцент

² Ладжель Махмуд, канд. геогр. наук, доцент

¹ кафедра гидрологии,

Одесский гос. экол. университет

ул. Львовская, 15, Одесса-16, 65016, Украина

² кафедра естественных наук,

университет Сэтиф, Алжир

РАСЧЕТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА ПАВОДКОВ НА РЕКАХ СЕВЕРНОЙ ТЕРРИТОРИИ АЛЖИРА

Проведен статистический анализ исходной информации по максимальному стоку паводков на уездах севера Алжира и обоснованы расчетные характеристики региональной формулы максимального стока.

Ключевые слова: гидрология, сток, паводки, анализ, редукционные формулы, уэдды Алжира.

Введение

На протяжении нескольких лет авторами данной статьи, в рамках международного сотрудничества между университетом Сэтиф (Алжир) и Одесским государственным экологическим университетом, проводятся исследования максимального стока рек севера Алжира [2, 3, 5]. Все реки Алжира (уэдды) имеют дождевое питание и в сухое время года пересыхают. Для них характерны резкие колебания расходов воды — от 0–2 до 1000 м³/с и более в период дождей [4]. На уездах сооружаются плотины, водохранилища и ГЭС. Воды уэддов используются для водоснабжения и орошения.

Алжир относится к странам с недостаточным водообеспечением. Обеспеченность водными ресурсами в Алжире при численности населения в 32818 тыс. чел. достигает лишь 460 м³/год на одного человека, что соответствует «высокому» уровню дефицита водных ресурсов [9], так же, как в Тунисе, Египте, Ливии. Соотношение же основных источников водоснабжения составляет: 54 % за счёт поверхностных вод и 36 % — за счёт подземных. Острая необходимость решения проблемы водоснабжения населения стран Африки, особенно Северной Африки, расположенных в наиболее засушливой части континента, отмечается в плане действий «Группы восьми» по Африке [6], в ряде решений ООН, ЮНЕСКО и других международных организаций [10]. В этой связи тема данной статьи является *актуальной*.

Цель данного исследования — это разработка региональной методики расчета максимального стока, которая должна быть оптимальной в условиях недостаточности данных по стоку.

Материалы исследований

Для обоснования расчетных характеристик максимального стока рек исследуемой территории использовались данные 43 водосборов с диапазоном изменения площадей от 77 до 8735 км², средние высоты водосборов колеблются в диапазоне от 278 до 1340 м. Максимальная продолжительность наблюдений — 26 лет.

Методика исследований и моделирование

При статистической обработке гидрологических данных используются несколько методов расчета оценок параметров распределения. Нормативными документами, как ранее действовавшими (СН437, СНиП 2.01.14–83), так и утвержденными на сегодняшний день для стран СНГ (СП 33–101–2003), рекомендуется использовать два метода — моментов и наибольшего правдоподобия [7, 8]. Оба метода получили широкое распространение в практике гидрологических расчетов. В то же время нужно иметь в виду, что оценки дисперсии, коэффициентов вариации и асимметрии при использовании метода моментов имеют отрицательную смещенность. Это приводит к тому, что при больших значениях коэффициентов вариации ($C_v > 0,5$) достоверность моментных оценок существенно снижается, а введение поправочных коэффициентов становится малоэффективным. Поэтому при $C_v > 0,5$ рекомендуется использовать метод наибольшего правдоподобия. При $C_v < 0,5$ методы наибольшего правдоподобия и моментов приводят практически к одинаковым результатам.

Одним из основных требований к статистическим рядам является их случайность. Характеристикой случайности любого ряда может служить коэффициент его внутрирядной связности или автокорреляции r (1). По результатам статистической обработки в целом рассматриваемые ряды обладают незначимыми коэффициентами автокорреляции — от $-0,001$ до $0,29$, однако в некоторых случаях r (1) достигают значений, близких к $0,50$. В таких случаях для значений статистических параметров введены соответствующие поправки.

Еще одно обязательное требование к рядам стока — это их временная однородность. Для всех рядов с продолжительностью наблюдений более 20 лет были рассчитаны значения параметрических критериев (Стьюдента и Фишера) и непараметрического — критерия Вилкоксона.

Результаты и их обсуждение

Анализ однородности исходной информации показал, что в целом рассматриваемые ряды однородны на 5 %-м уровне значимости, и лишь в некоторых случаях — на 2 %-м уровне значимости. Неоднородными оказались три ряда, их хронологические графики показаны на рис. 1–3. Как видно из этих рисунков, в хронологической последовательности стока дождевых паводков на этих постах наблюдаются направленные изменения или

тренд, как в положительную, так и в отрицательную сторону (с коэффициентами корреляции от 0,61 до 0,56). Для дальнейшего расчета по этим рядам необходимо производить пересчет значений по соответствующим уравнениям тренда.

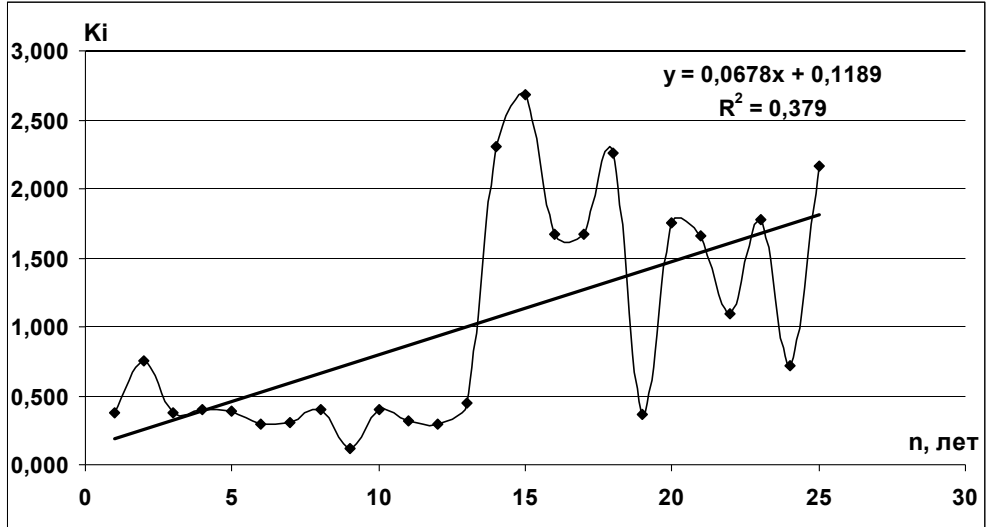


Рис. 1. Хронологический график хода модульных коэффициентов максимального паводочного стока на реке O, Sly-Ouled Ben Abdelkader

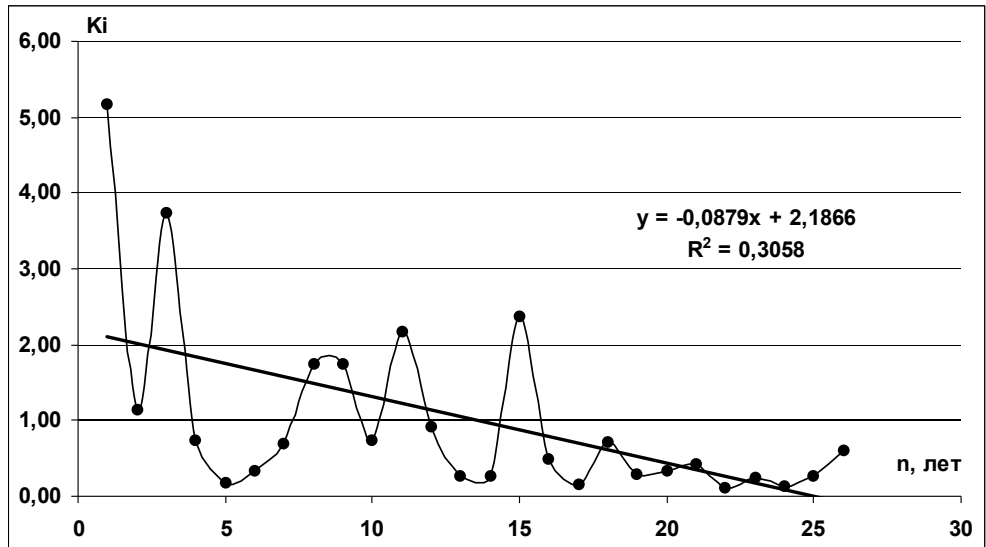


Рис. 2. Хронологический график хода модульных коэффициентов максимального паводочного стока на реке O, El Abda-Ain Hamara

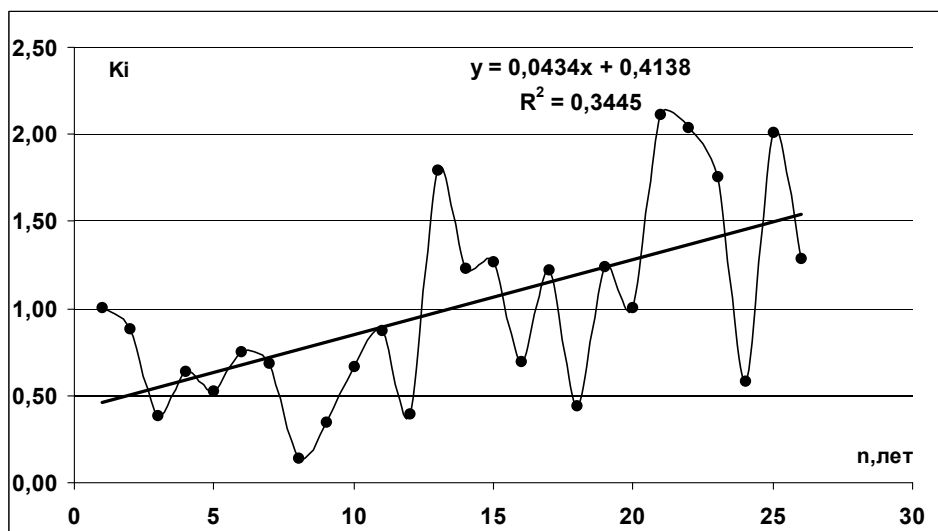


Рис. 3. Хронологический график хода модульных коэффициентов максимального паводочного стока на реке O, Kebie Est-Ain Al Assel

Далее были рассчитаны основные статистические параметры по методам моментов и наибольшего правдоподобия. Полученные по методу моментов коэффициенты вариации колеблются в диапазоне от 0,44 до 2,25, а рассчитанные по методу наибольшего правдоподобия — в пределах от 0,44 до 2,87.

С целью сравнения полученных нами значений построен график, показанный на рис. 4. Как можно видеть, при значениях $C_V \leq 1,0$ оба метода дают практически одинаковые результаты, а в диапазоне $C_V > 1,0$ — значения, полученные по методу наибольшего правдоподобия, — выше в среднем на 11 %. Кроме коэффициентов вариации, рассчитаны также и коэффициенты асимметрии C_S . Их соотношение с коэффициентами вариации (C_S / C_V) является весьма важным показателем. Как уже отмечалось, продолжительность наблюдений на исследуемой территории не превышает 25 лет, а как известно [1, 7], для достоверной оценки уже третьего центрального момента (следовательно, и C_S) необходимы выборки в несколько сотен членов. Поэтому на практике вместо выборочных значений коэффициентов асимметрии рекомендуется использовать районное соотношение C_S / C_V . Такие соотношения подсчитаны как для параметров, полученных по методу моментов, так и для наибольшего правдоподобия.

В целом по исследованной территории соотношение C_S / C_V изменяется в диапазоне от 1,19 до 3,95 (по методу моментов) и в диапазоне от 0,20 до 5,40 — по методу наибольшего правдоподобия. Для сравнения значений, полученных разными методами, построена соответствующая зависимость, представленная на рис. 5. Видно, что на графике разброс точек довольно большой, но в среднем значения, полученные по методу наибольшего правдоподобия, больше, чем моментные оценки, на 32 %. Осредненные значения C_S / C_V составляют: для метода моментов — 1,5, а для наиболь-

шего правдоподобия — 2,3. В качестве расчетных предлагается использовать статистические характеристики, полученные по методу наибольшего правдоподобия. Получается, что выявлены индивидуальные значения C_V и средненное соотношение $C_S / C_V = 2,3 \approx 2,5$.

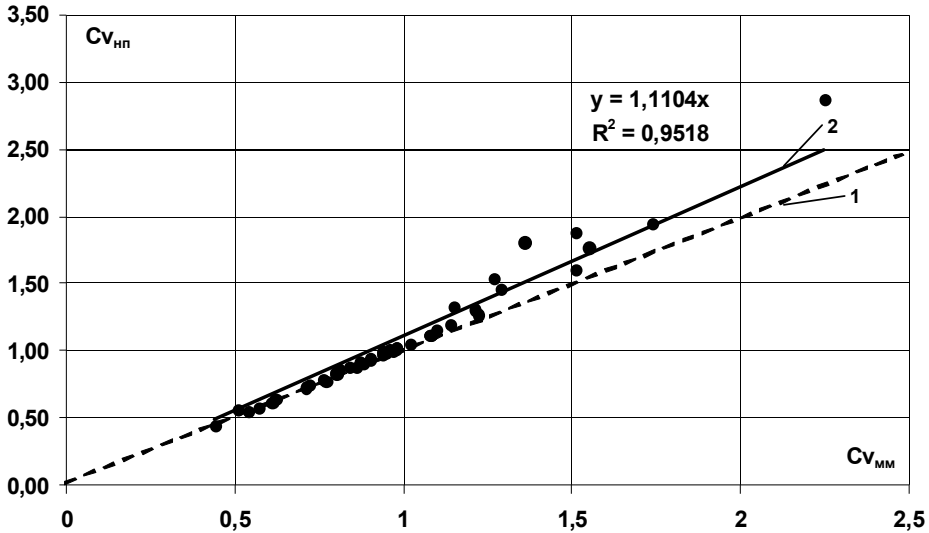


Рис. 4. Сравнение коэффициентов вариации, рассчитанных по методам моментов (ось абсцисс) и наибольшего правдоподобия (ось ординат): 1 — линия равных значений; 2 — линия тренда

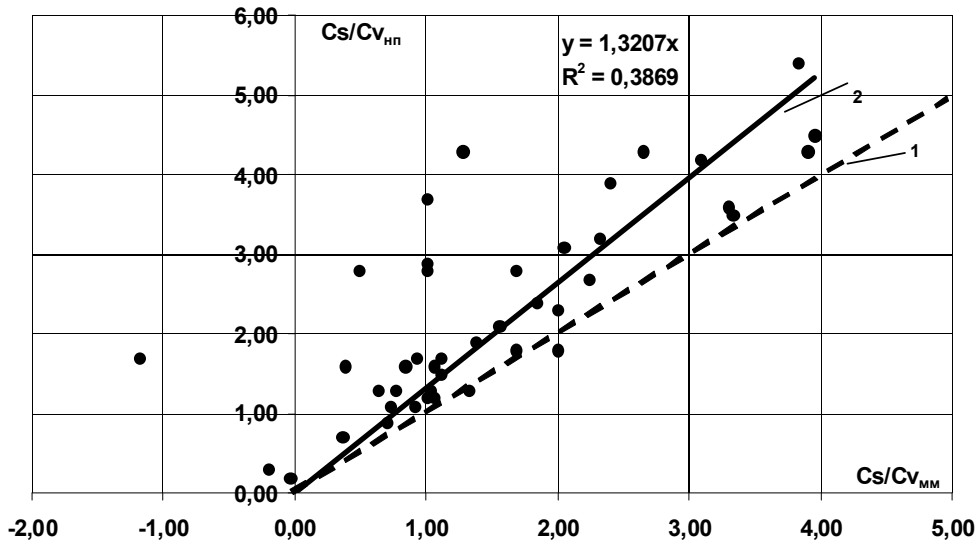


Рис. 5. Сравнение соотношений C_S/C_V , рассчитанных по методам моментов (ось абсцисс) и наибольшего правдоподобия (ось ординат): 1 — линия равных значений; 2 — линия тренда

Уточнение статистических характеристик методом совместного анализа

В последнее время всё большее распространение получают методические подходы, связанные с анализом наблюдений по коллективам гидрологических объектов, возмещающих недостаточность непосредственной информации, представленной гидрологическими рядами по отдельным пунктам.

Идея метода совместного анализа, разработанного С. Н. Крицким и М. Ф. Менкелем [7], заключается в том, что полная дисперсия раскладывается на случайную и географическую составляющие. Сравнивая составляющие дисперсии между собой, можно сделать вывод о возможности объединения между собой данных различных пунктов в один район, а в дальнейшем, на основании средних районных значений, произвести уточнение данных и по отдельным пунктам. Для всех 43 рассматриваемых пунктов наблюдений на реках Алжира было произведено уточнение статистических характеристик $0 (\bar{Q}_m, C_v, C_s / C_v)$ по методу совместного анализа, которые и использованы в дальнейших расчетах. Величины C_v и C_s / C_v удалось осреднить для всей территории, как это показано в табл. 1.

Таблица 1

Значения случайной и географической составляющих дисперсии

Дисперсия	Кол-во постов	$\sigma^2_{\text{полн}}$	$\sigma^2_{\text{случ}}$	$\sigma^2_{\text{геогр}}$	Среднее
C_v	43	0,128	0,2015	-0,087	1,011
$C_s / C_v = 2,5$					

Методика расчета максимального стока паводков

В работах [2, 3, 5] авторов данного исследования показаны возможности применения и обоснованы параметры формул операторного вида и предельной интенсивности для расчета максимального стока рек севера Алжира. С другой стороны, структуры редукционных формул, нашедшие широкое распространение во многих странах мира, в том числе и в Алжире, могут быть получены непосредственно из модели русловых изохрон [1]. В обобщенной редакции они могут быть представлены уравнениями вида

$$q_m = \frac{k_0 y_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (1)$$

или

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (2)$$

где k_0 — коэффициент трансформации склонового стока, Y_m — слой стока за половодье или паводок, q'_m — максимальный модуль склонового притока; F — площадь водосбора; n_1 — показатель степени редукции.

С другой стороны, формулу (1.2) следует считать, по существу, обобщенным вариантом одномодальной геометрии гидрографов паводков и полово-

дий, но лишь для случая, если изменчивость продолжительности притока вод со склонов T_o по территории в целом невелика и ее допустимо усреднить. При этих условиях q'_m равен:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y_m = k_o Y_m, \quad (3)$$

где $\frac{n+1}{n}$ — коэффициент временной неравномерности склонового притока.

Согласно модели русловых изохрон

$$q_m = q'_m \Psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F. \quad (4)$$

Сопоставляя (1) и (2), с одной стороны, (4), с другой, а также принимая во внимание (3), можно показать, что

$$\Psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right) \varepsilon_F = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}, \quad (5)$$

где $\Psi \left(\frac{t_p}{T_o} \right)$ — трансформационная функция, ε_F — коэффициент русло-пойменного водообмена и регулирования.

В работе [1] указывается, что формулы вида (1) и (2) являются частным случаем, соответствующим незначительной изменчивости q_m по территории T_o . Одним из вариантов обобщения по территории T_o является его картирование. Более того, если наблюдается изменение в одном направлении и T_o , и Y_m , то тогда редукционная формула упростится до уровня (2). При этих условиях параметр q'_m и степенной показатель n_1 могут быть получены при помощи простой графической корреляции. Для этого достаточно прологарифмировать (2) и построить зависимость $q_m = f(F)$.

Основные итоги исследования

Для получения расчетных характеристик формулы (2), по данным 43 водосборов севера Алжира, построена зависимость (рис. 6). Здесь следует отметить, что поскольку величины коэффициентов вариации и соотношения их к коэффициенту асимметрии усреднены по территории, как показано выше, то дальнейшему обоснованию поддавались не максимальные модули заданной обеспеченности, а их средние многолетние значения q_0 . Как видно из рис. 6, зависимость среднемноголетних модулей стока паводков от площади водосборов выражена достаточно четко, с довольно высоким коэффициентом корреляции ($r_k = 0,74$). В итоге для рассматриваемой территории можно принять показатель степени редукции $n_1 = 0,53$. Опираясь на (2), вычленим теперь из него q'_0 , т. е.

$$q'_0 = q_0 \cdot (F+1)^{0,53}, \quad (6)$$

где q_0 — средние многолетние значения модулей склонового притока паводков.

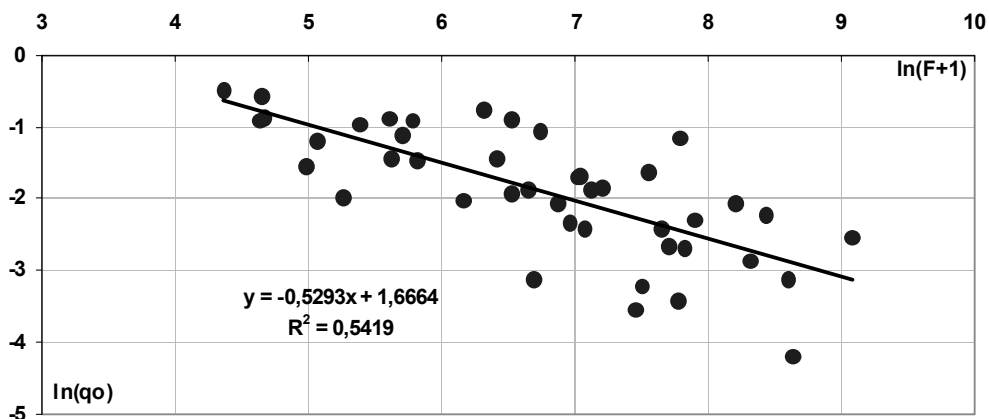


Рис. 6. Зависимость средних многолетних модулей стока паводков от площадей водосборов уэдов севера Алжира

Поскольку на исследуемой территории составляющие параметра q'_0 — это продолжительность притока T_0 и слой стока Y_m , как показано в [3, 5], подчиняются географической зональности и закономерно уменьшаются в направлении с севера на юг, то логично предположить, что и сама величина q'_0 будет изменяться в том же направлении. Действительно, как показано на рис. 7, значения q'_0 с увеличением широты местности возрастают, что является основанием для картографирования данной величины.

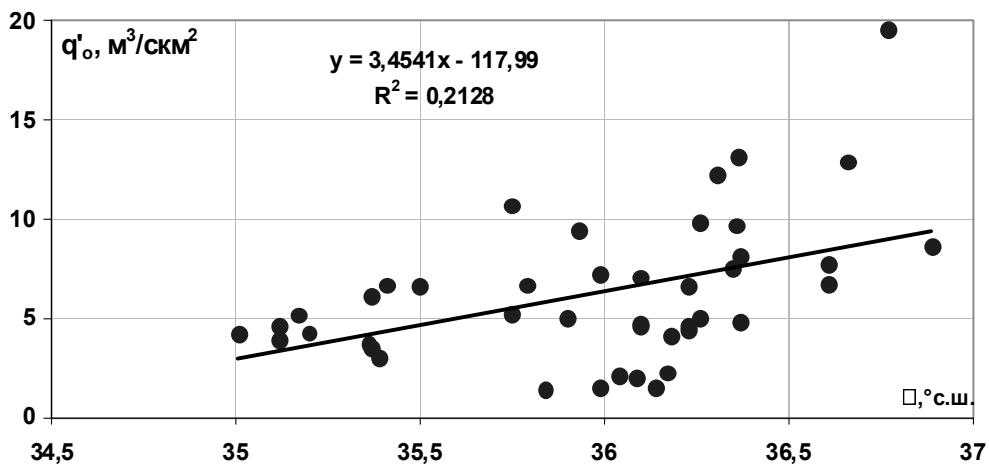


Рис. 7. Зависимость средних многолетних модулей стока паводков от центров тяжести водосборов уэдов севера Алжира

На рис. 8 приводится карта значений q'_0 . Анализируя ее, можно отметить, что значения q'_0 изменяются в довольно широких пределах — от $2,0 \text{ м}^3/\text{скм}^2$ на юге до $18 \text{ м}^3/\text{скм}^2$ — на севере региона. Наибольшие значения приурочены к прибрежной, хорошо увлажненной территории. На северо-

востоке прибрежного Теля наблюдается некоторое снижение величины q'_0 , и далее, по мере продвижения на юг на территорию Атласских гор, сток уменьшается и достигает минимума в пределах внутренних засушливых котловин.

Порядок расчета по предлагаемой методике следующий:

С карто-схемы (рис. 8) по координатам центров тяжести водосбора снимается расчетное значение q'_0 .

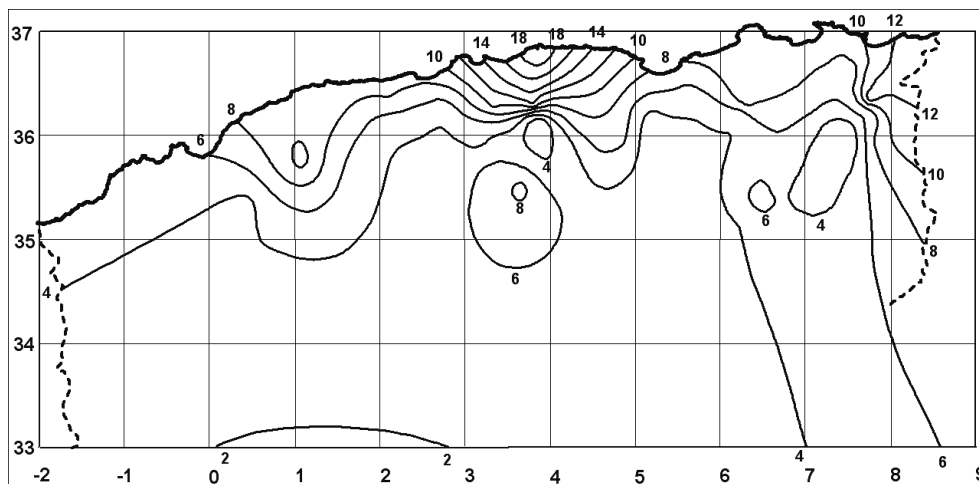


Рис. 8. Карта-схема распределения средних многолетних модулей стока паводков по территории севера Алжира, $\text{м}^3/\text{км}^2$

Затем полученные значения умножаются на модульный коэффициент k_p , который при $C_v = 1,011$, $C_s / C_v = 2,5$ и $P = 1\%$, согласно таблиц трехпараметрического гамма-распределения С. Н. Крицкого и М. Ф. Менкеля [7], равен 4,78. Расчетные значения $q'_{1\%}$ равны:

$$q'_{1\%} = q'_0 \cdot k_{1\%} = 4,78 \cdot q'_0. \quad (7)$$

Получаем, что максимальный модуль расчетной обеспеченности $P = 1\%$ равен:

$$q_{1\%} = \frac{q'_{1\%}}{(F+1)^{0,53}} = \frac{4,78 \cdot q'_0}{(F+1)^{0,53}}. \quad (8)$$

Проверочные расчеты на данных 43 объектов показали, что точность методики составляет $\pm 23,9\%$, что в общем соответствует точности исходной информации ($\pm 23,3\%$).

Выводы

Алжир относится к странам с недостаточной обеспеченностью водными ресурсами, и поэтому вопросы оценки и расчета водного потенциала его рек являются весьма актуальными.

Исходная информация по максимальному стоку рек рассматриваемой территории весьма ограничена и не может быть существенным образом увеличена.

Для определения расчетных характеристик максимального стока паводков на уездах Алжира предлагается формула редукционного типа, полученная непосредственно из модели русловых изохрон.

Точность предлагаемой методики находится на уровне точности исходной информации и, следовательно, ее можно рекомендовать в качестве региональной для уэдов севера Алжира.

Литература

1. Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. — Одесса: ТЭС, 2002. — 110 с.
2. Гопченко Е. Д., Ладжель М., Овчарук В. А. Расчет максимального стока паводков на уездах Алжира с использованием формулы предельной интенсивности // Украинский гідрометеоролог. журнал. Екологія. — 2008. — № 3 — С. 178–188.
3. Гопченко Е. Д., Ладжель М., Овчарук В. А. Максимальный сток паводков на уездах северной части Алжира // Вісник Одеського державного екологічного університету. — 2007. — Вип. 4. — С. 287–296.
4. Горнунг М. Б. Алжирия. Физико-географическая характеристика. — Москва: Географгиз., 1958. — 288 с.
5. Ладжель М., Гопченко Е. Д., Овчарук В. А. О расчете продолжительности притока воды со склонов в период дождевых паводков на уездах Севера Алжира // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. — Одеса: Екологія, 2008. — Вип. 50. ч. 2. — С. 84–92.
6. План дійствий «Групи Восьми» по водним ресурсам (2003). (Франція, 2 июня 2003 г.). Бюллетень «Использование и охрана природных ресурсов в России», НИИ-Природа. Спецвыпуск, № 9–10. — М., с. 145–147.
7. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик. — Л.: Гидрометеопиздат, 1984. — 448 с.
8. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. — Москва: Госстрой России, 2003. — 74 с.
9. *Groundwater Resources of the World and Their Use* // Editors: Igor S. Zektser & Lorne G. Everette: UNESCO, 2004. — 346 p.
10. *United Nation Environment Program for Africa: 2025* (<http://www.allafrica.com/specials/water>)

¹Гопченко Є. Д., ¹Овчарук В. А., ²Ладжель Махмуд

¹кафедра гідрології,

Одеський гос. екол. університет

вул. Львівська, 15, Одеса-16, 65016, Україна

²кафедра природничих наук,

університет Сетиф, Алжир

РОЗРАХУНКОВІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ПАВОДКІВ НА РІЧКАХ ПІВНОЧІ АЛЖИРУ

Резюме

Проведено статистичний аналіз вихідної інформації по максимальному стоку паводків на уеддах півночі Алжиру і обґрунтовано розрахункові характеристики регіональної формули максимального стоку.

Ключові слова: гідрологія, стік, повінь, аналіз, редукційні формули, уедди Алжиру.

Gopchenko E. D., Ovcharuk V. A., Ladzhel' Makhmud

State Hydromet. Institute of Odessa,

Hydrology Department,

Lvovskaya St. 2, Odessa-16, 65016, Ukraine

CALCULATION DESCRIPTIONS OF MAXIMAL RUNOFF OF FLOODS ON THE RIVERS OF NORTH OF ALGERIA

Summary

The statistical analysis of initial information is conducted on the maximal runoff of floods on wed of north of Algeria and calculation descriptions of regional formula of maximal runoff are grounded.

Key words: hydrology, runoff, flood, analyses, reduction formulas, wedds of Algeria.