

Статистические параметры максимальных расходов воды и слоев паводочного стока для рек горного Крыма

Одесский государственный экологический университет, г. Одесса,
e-mail: lenochka.todorova@mail.ru, valeri.o@mail.ru

Аннотация. В статье приводятся результаты статистического анализа характеристик максимального стока теплого периода рек Горного Крыма, полученные на основе современной базы данных.

Ключевые слова: статистические параметры, однородность.

Введение

Реки Горного Крыма характеризуется частыми дождевыми паводками. Формирование паводков дождевого происхождения связано с выпадением осадков ливневого характера, которые охватывают сравнительно небольшие по площади водосборы. После выпадения большого количества осадков реки превращаются в бурные потоки с расходами, во много раз превышающими среднегодовые значения, что может привести к катастрофическим последствиям, как для гидротехнических сооружений и окружающей территории, так и для населенных пунктов, расположенных на берегах рек.

Последнее официальное издание, в котором приводятся расчетные характеристики максимального стока рек рассматриваемой территории, датируется 1973 годом (монография «Ресурсы поверхностных вод» [1]). Таким образом, расчет параметров максимального стока с учетом данных последних 40 лет можно считать весьма актуальной задачей. Целью данной работы является статистический анализ современной исходной информации по максимальному стоку дождевых паводков для горных рек Крыма.

Материалы и методы

Для характеристики максимального стока дождевых паводков – слоев стока и максимальных расходов воды для рек Горного Крыма использованы материалы режимных изданий за многолетний период наблюдений (с начала наблюдений по 2010 включительно) по данным 56 гидрологических постов. Диапазон изменения площадей на них - от 0,32 до 3540 км², средние высоты водосборов колеблются в диапазоне от 340 до 980 м. Максимальная продолжительность наблюдений – 82 года.

Применение теоретических кривых распределение для описания статистических совокупностей, строго говоря, возможно в том случае, если эти совокупности сформированы из качественно однородных и независимых элементов. В связи с этим выяснение статистической однородности изучаемых совокупностей и случайности формирования выборок выступает в качестве важного элемента оценки достоверности статистических обобщений.

В теории вероятностей известно много критериев однородности, используя которых можно определить однородность выборочных значений параметров распределения, в частности средних значений и дисперсий, или непосредственно установить принадлежность нескольких выборок к одной и той же генеральной совокупности [2].

Для проверки однородности гидрологических рядов используются критерии двух типов: параметрические и непараметрические. В параметрических критериях при построении анализируемой статистики используют выборочные оценки параметров распределения. При этом считается, что исходная выборка относится к генеральной совокупности с известным типом распределения.

Непараметрические критерии базируются на использовании непараметрических характеристик. Наряду с термином «непараметрический» используется более точный: «свободный от распределения». Хотя непараметрические критерии часто менее эффективны, чем стандартные (параметрические), потеря эффективности в этом случае компенсируется более широкими возможностями их применения [3].

В гидрологических расчетах в основном используют критерии Стьюдента, Фишера и Уилкоксона. Критерий Стьюдента - для проверки значимости различия средних значений двух выборок, а Фишера - равенства двух дисперсий. Критерии Стьюдента и Фишера относятся к категории стандартных критериев и рекомендуются в большинстве нормативных документах в качестве официального теста на однородность [4].

Для проверки гипотезы однородности дисперсий чаще всего за все используют критерий Фишера (F) в виде [2]

$$F = \frac{\sigma_x^2}{\sigma_y^2} \quad (1)$$

где σ_x и σ_y – средние квадратические отклонения, вычисленные по рядам, в отношении которых делается предположение, что они подчинены нормальному закону распределения.

Распределение Фишера зависит от числа степеней свободы $k_1 = n_1 - 1$ и $k_2 = n_2 - 2$, где n_1, n_2 – число членов в каждом из рассматриваемых рядов.

В случаях, когда в распоряжении исследователя сравнительно короткие ряды наблюдений используется критерий Стьюдента, который записывается в виде [2]

$$t = \frac{\bar{y} - \bar{x}}{\sqrt{n_x \sigma_x^2 + n_y \sigma_y^2}} \sqrt{\frac{n_x n_y (n_x + n_y - 2)}{n_x + n_y}} \quad (2)$$

где \bar{y} и \bar{x} – средние значения двух рядов;

σ_x^2 ; σ_y^2 – дисперсии рядов;

n_x ; n_y – продолжительность сравниваемых рядов.

Этот критерий подчиняется распределению Стьюдента с числом степеней свободы, равным $k = n_x + n_y - 2$. При проверке нулевой гипотезы $\bar{x} = \bar{y}$ с использованием критерия Стьюдента следует, определяется критическая область при $q\%$ -ном уровне значимости как область больших по абсолютному значению отклонений $|t| > t_{q,k}$.

Критерий Уилкоксона используется для проверки нулевой гипотезы о том, что две независимые выборки принадлежат к совокупностям, которые имеют идентичные функции распределения. Критерий Уилкоксона относится к категории непараметрических критериев и не подразумевает непосредственного расчета выборочных параметров функции распределения. Достоинством критерия является то, что он не требует обязательной принадлежности выборок к нормальным совокупностям [3].

Важнейшим элементом статистического анализа является оценка параметров распределения, принимаемых для описания рассматриваемой совокупности случайных величин. При решении гидрологических задач используются следующие методы определения оценок параметров распределения:

- 1) метод моментов;
- 2) метод наибольшего правдоподобия.

Метод моментов получил наибольшее распространение в практике гидрологических расчетов. Сущность его заключается в том, что искомые параметры распределения выражаются через моменты, в качестве оценок которых принимают значения моментов эмпирического распределения обычно с поправками на ликвидацию смещения. Число эмпирических моментов, определяемых по материалам наблюдений, равно числу параметров рассматриваемого закона распределения. Как уже отмечалось, что достоверность эмпирической оценки моментов с возрастанием их степени при данном объеме совокупности резко снижается. Поэтому в гидрологии обычно не применяются распределения, зависящие более чем от трех параметров.

Оценки параметров, полученные способом моментов, применительно к законам распределения, используемым в гидрологии, являются состоятельными для случая внутрирядно несвязанных величин. Смещение оценок невелико и может быть устранено с помощью простых поправок.

Метод наибольшего правдоподобия придает больший вес тем выборочным значениям случайной величины, которым соответствуют большие значения вероятностей. Это свойство метода наибольшего правдоподобия в большей мере проявляется в ассиметричных распределениях. В методе же статистических моментов, наоборот, придается большой вес крайним членам выборки и меньший – средним. Поэтому метод наибольшего правдоподобия приводит к более устойчивым оценкам параметров, чем метод моментов.

Применительно к закону нормального распространения оценки, получаемые методом наибольшего правдоподобия, совпадают с моментными оценками. Для других распределений эти методы дают, как правило, различные результаты [2,3].

Результаты и обсуждение

Определение статистических параметров проводилась, как уже отмечалось выше, на основе 56 рядов наблюдений за максимальными расходами и слоями стока дождевых паводков для рек Горного Крыма.

Анализируя полученные результаты по оценке однородности, следует отметить, что характеристики максимального стока дождевых паводков для Крымских рек в большинстве случаев однородны во времени. Проверка на однородность проводилась для рядов с продолжительностью наблюдений более 40 лет с использованием трех критериев - Фишера, Стьюдента и Уллокосона. По максимальным расходам воды дождевых паводков они однородны в 21 случае из 23 по трем критериям, то есть 91,3% рядов являются однородными. Подобная ситуация наблюдается и для рядов слоев стока дождевых паводков – они однородны в 20 случаях из 22 по трем критериям (91%). В целом по территории информацию по максимальному стоку дождевых паводков следует считать однородной.

Для анализа возможных временных трендов в рядах максимального стока паводков теплового периода построены хронологические графики связи $Y_m = f(T)$ и $Q_m = f(T)$, с помощью которых можно определить характер и тенденции многолетних колебаний слоев стока и расходов воды (рис.1-3).

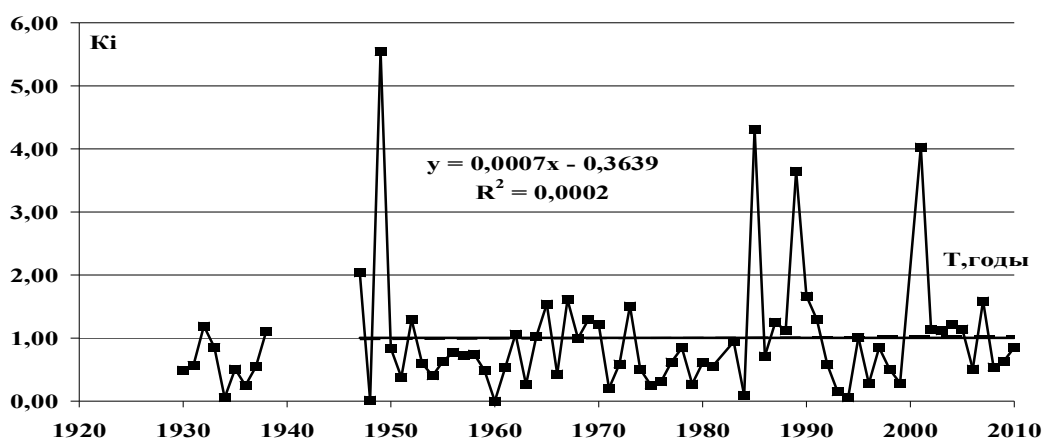


Рис.1. Хронологический график хода максимальных расходов воды р.Черная-с.Родниковское

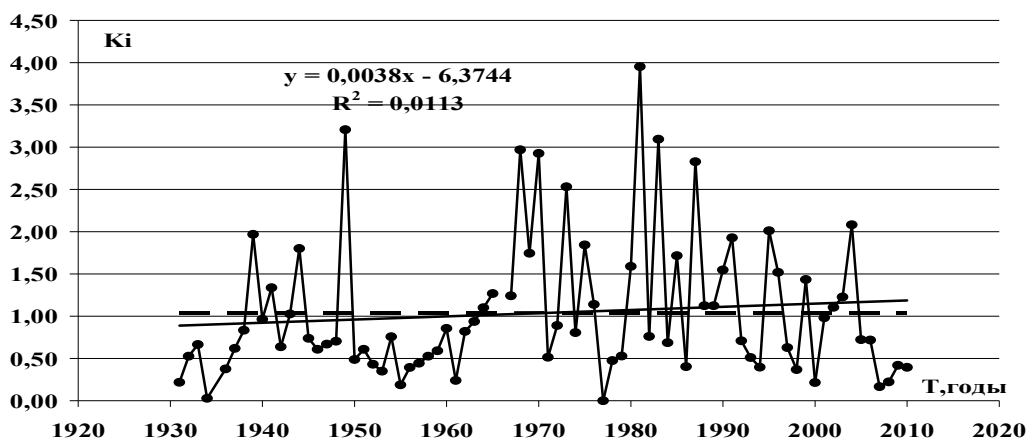


Рис.2. Хронологический график хода максимальных расходов воды р.Дерекойка – г.Ялта

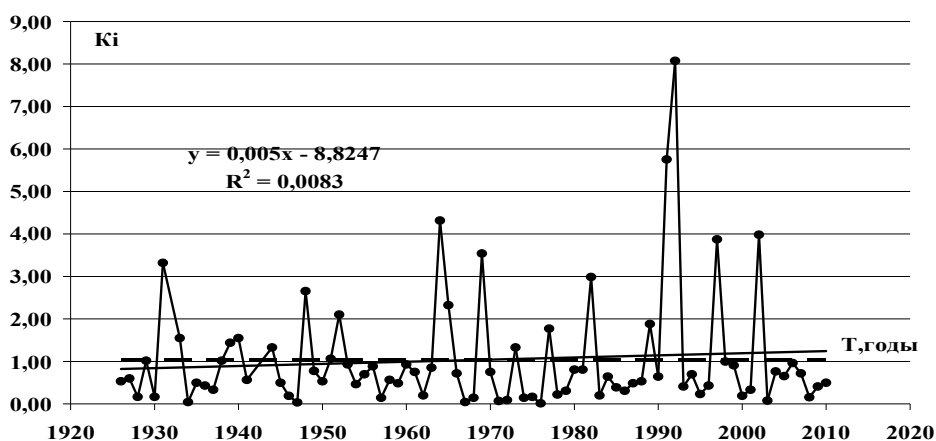


Рис.3. Хронологический график хода слоев паводочного стока воды р.Су-Индул-с.Тополевка

Анализируя полученные графики, можно отметить, что на исследуемых реках Горного Крыма тренд практически отсутствует, что подтверждают не значимые коэффициенты корреляции (от 0,014 до 0,10).

Для характеристики цикличности колебаний максимальных расходов и слоев паводочного стока построены также разностные интегральные кривые для рек Горного Крыма в зависимости от экспозиции склона (рис.4-5). Как хорошо иллюстрирует рис.4, в многолетнем ходе максимальных расходов паводков можно выделить следующие фазы водности:

- Для рек северо-западного склона Крымских гор - с 1949 по 1980 и 1999-2010 маловодная; с 1981 по 1998- многоводная.
- Для рек северо-восточного склона Крымских гор - с 1946 по 1986 и 2007-2010- маловодная; с 1986 по 2006 - многоводная.
- Для Южного берега Крыма - с 1952 по 1986 маловодная; с 1986 по 2010- многоводная.

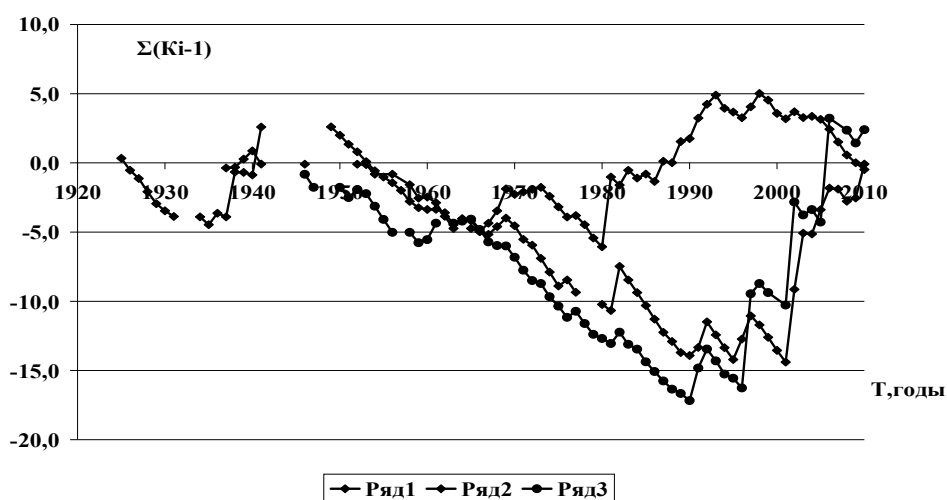


Рис.4. Разностные интегральные кривые максимальных расходов воды дождевых паводков для рек Горного Крыма: ряд 1 – р. Бельбек – пгт. Куйбышево (северо-западный склон Крымских гор); ряд 2 – р. Таракташ – г. Судак (Южный берег Крыма); ряд 3 – р. Кучук-Карасу – с. Богатое (северо-восточный склон Крымских гор)

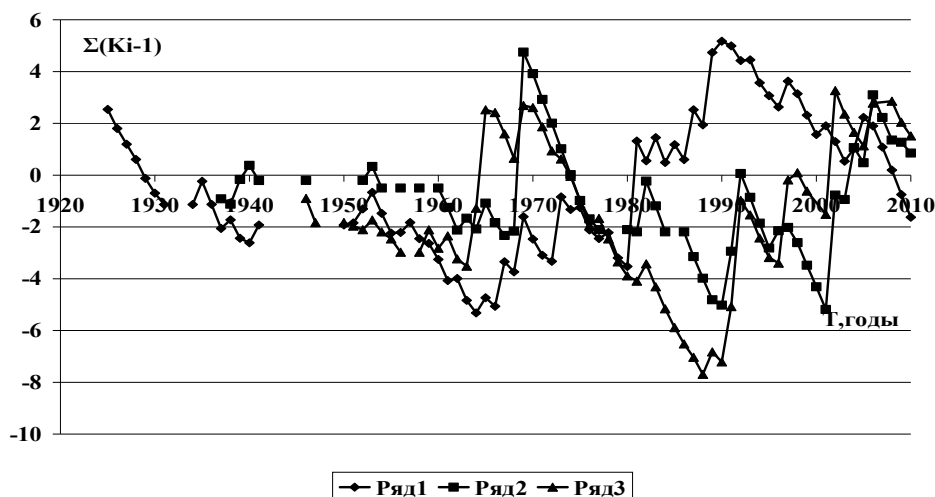


Рис.5. Разностная интегральные кривые слоев паводочного стока дождевых паводков для рек Горного Крыма: ряд 1 – р. Бельбек - пгт. Куйбышево (северо-западный склон Крымских гор); ряд 2 – р. Таракташ – г. Судак (Южный берег Крыма); ряд 3 – р. Кучук - Карасу – с. Богатое (северо-восточный склон Крымских гор)

В целом можно сказать, что фазы водности максимальных расходов Крымских рек практически совпадают, а несовпадения в ходе стока могут быть объяснены различной экспозицией склонов по отношению к влагонесущим воздушным массам и особенностями подстилающей поверхности (например, наличием карста).

На рис. 5 представлены разностные интегральные кривые слоев паводочного стока исследуемых рек Крыма. В отличие от максимальных расходов, здесь довольно сложно выделить четкие границы фаз водности. Тем не менее, можно отметить, что колебания слоев стока рек северо-восточного и южного склонов Крымских гор, так же как и в случае максимальных расходов, носят синхронный характер, а колебания стока рек северо-западного склона им синхфазны.

Таким образом, анализ, как хронологических графиков, так и разностных интегральных кривых показал наличие полных циклов водности и отсутствие значимых трендов в ходе максимального стока дождевых паводков теплого периода года рек Горного Крыма, а также подтвердил результаты относительно однородности исходной информации.

Поскольку исходная информация по максимальному стоку рек исследуемого региона может считаться однородной и стационарной, то к исходным рядам могут быть применены стандартные методы статистической обработки, описанные выше.

Статистическая обработка максимальных расходов воды паводков теплого периода проводилась по 56 гидрологическим постам, расположенным на территории Горного Крыма. Полученные по методу моментов коэффициенты вариации изменяются в широких пределах - от 0,39 до 2,99, аналогичные коэффициенты по методу наибольшего правдоподобия колеблются в диапазоне от 0,39 до 3,26. Соотношение C_s/C_v можно осреднить на уровне 3,0.

Статистическая обработка временных рядов слоев паводочного стока выполнена также методами моментов и наибольшего правдоподобия. Коэффициенты вариации Крымских рек, рассчитанные по методу моментов, колеблются в пределах от 0,59 до 2,57; по методу наибольшего правдоподобия - от 0,61 до 2,78. Соотношение C_s/C_v равно 2,5.

Поскольку коэффициенты вариации в обоих случаях больше 0,5, то согласно рекомендациям [4], в качестве расчетных приняты статистические параметры, полученные по методу наибольшего правдоподобия. На их основе рассчитаны расходы и слои стока различной обеспеченности ($P=1,3,5,10\%$) при $C_s/C_v=3,0$ и $C_s/C_v=2,5$, соответственно. Наибольшее значение модуля стока 1%-ной обеспеченности наблюдается на р.Биюк-Карасу-с.Карасевка - $8,88 \text{ м}^3/\text{скм}^2$ ($F=3,5 \text{ км}^2$, $H_{cp}=390 \text{ м}$), а минимальный равен $0,01 \text{ м}^3/\text{скм}^2$ для р.Салгир-с.Двуречье ($F=3540 \text{ км}^2$, $H_{cp}=490 \text{ м}$). Что касается слоев стока 1%-ой обеспеченности дождевых паводков, то они колеблется от 10 мм (р.Салгир-с.Двуречье, $F=3540 \text{ км}^2$, $H_{cp}=490 \text{ м}$) до 1238 мм (приток р.Кучук-Узеньбаш, $F=2,46 \text{ км}^2$, $H_{cp}=530 \text{ м}$). Такой значительный диапазон изменений величин максимального стока паводков обусловлен сложным сочетанием факторов под влиянием которых он формируется, в частности высотной и широтной зональности, а также карста.

Задачей дальнейших исследований является обобщение расчетных характеристик максимального стока по территории Горного Крыма и обоснование параметров методики для определения стока неизученных рек.

Выводы и рекомендации

1. В гидрологическом отношении реки Горного Крыма изучены весьма хорошо, наличие информации 56 гидрологических постов дает возможность рассчитать статистические параметры максимального стока рек.
2. Проверка на однородность наиболее продолжительных рядов наблюдений показала, что в целом по территории информацию по максимальному стоку дождевых паводков следует считать однородной.
3. Наличие полных циклов водности и отсутствие значимых трендов на реках исследуемой территории позволяет использовать статистические методы для определения расчетных параметров максимального стока дождевых паводков.
4. Получены основные статистические параметры максимального стока, которые в дальнейшем будут использованы для обоснования региональной методики расчета максимального стока дождевых паводков в теплый период на реках Горного Крыма.

Литература

1. Ресурсы поверхностных вод СССР. / Крым - Л. : Гидрометеиздат., 1973. Т. 6. вып.4 - 848 с.
2. Рождественский А. В. Статистические методы в гидрологии / А. В. Рождественский, А. И. Чеботарев - Л. : Гидрометеиздат, 1974. - 423 с.
3. Сикан А. В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации / Сикан А. В. - Санкт - Петербург, 2007. - 278с.
4. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.- Л. :Гидрометеиздат,1984. -448 с.

Анотація. В. А. Овчарук, О. І. Тодорова *Статистичні параметри максимальних витрат води і шарів паводочного стоку для рік гірського Криму* У статті наводяться результати статистичного аналізу характеристик максимального стоку теплого періоду річок Гірського Криму, отримані на основі сучасної бази даних.
Ключові слова: статистичні параметри, однорідність.

Abstract. V .A. Ovcharuk, E. I.Todorova *Statistical parameters maximum water discharge and layers peak flow rivers of mountain Crimea.* The results of the statistical analysis of the characteristics of the warm period floods on the Crimean Mountains Rivers, obtained on the basis of modern databases.

Keywords: statistical parameters, homogeneity.

Поступила в редакцію 24.01.2014 г.