ПНИИИС Госстроя СССР

Рекомендации

по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик



Москва 1981

gost.e-ecolog.ru

Производственный и научно-исследовательский институт
по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС)
Госстроя СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ

по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик



Москва Стройиздат 1981

УДК 551.579

Рекомендовано к изданию решением секции гидрогеологии и гидрологии НТС ПНИИИС Госстроя СССР 29 июня 1979 г.

Рекомендации по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик. М.: Стройиздат, 1981. – 44 с. (ПНИИИС Госстроя СССР).

Рекомендации разработаны Производственным и научно-исследовательским институтом по инженерным изысканиям в строительстве (ПНИИИС) Госстроя СССР на основе обобщения опыта гидрологических расчетов максимального стока рек при инженерных изысканиях для различных видов строительства. В Рекомендациях изложены приемы анализа имеющихся рядов многолетних наблюдений при определении расчетных гидрологических параметров, разобраны аналитический и графоаналитический методы расчета параметров, изложены способы поиска дополнительной гидрометеорологической информации. Рассмотрены вопросы генетической и статистической однородности гидрологических рядов. Дана методика выполнения анализа выдающихся максимумов и оценки их вероятности.

Рекомендации предназначены для инженерно-технических работников проектно-изыскательских и научных организаций.

Рекомендации составил кандидат технических наук Ф.В.ЗАЛЕССКИЙ.

Замечания и предложения по содержанию настоящих Рекомендаций просим направлять по адресу: Москва, 105058, Окружной проезд, 18, ПНИИИС.

Табл. 7, ил. 10.

Р $\frac{30213-276}{047(01)-81}$ Инструкт.-нормат., I вып.–88–80. 3202000000

© Стройиздат, 1981

ВВЕДЕНИЕ

Методика определения и вероятностного прогнозирования экстремальных (максимальных и минимальных) значений гидрологических и метеорологических характеристик требует непрерывного совершенствования.

В соответствии с главой СНиП I-1-74* "Система нормативных документов" внесено дополнение в п. 1.6 о том, что рекомендации разрабатываются научно-исследовательскими институтами на основе результатов научных исследований и должны быть направлены на дальнейшее совершенствование проектирования и строительства.

Строительное проектирование выдвигает свои, особые требования к их нормированию. Необходимо обеспечивать достаточную надежность проектируемых сооружений и вводить целесообразные коэффициенты запаса. В предлагаемых Рекомендациях намечаются некоторые решения этой задачи.

Хотя все приведенные в Рекомендациях примеры касаются максимального стока рек, однако предлагаемые исходные положения и методические приемы в той или иной степени могут учитываться при расчетах ряда параметров гидрологии и строительной климатологии; в первую очередь это касается вопросов однородности рядов многолетних наблюдений, роли выдающихся величин, оценки вероятности членов ранжированных рядов, надежности расчетных параметров и др.

Расчет параметров стока на основании проведенных наблюдений является достаточно разработанной областью гидрологии, и все же даже в этом случае методика определения экстремумов еще далека от требуемого уровня, в чем не трудно убедиться из предлагаемых Рекомендаций.

Следует отметить еще одно важное обстоятельство. В эмпирических формулах, полученных для случаев, когда наблюдения отсутствуют, недостатки в методике обработки рядов сказываются на точности определения параметров.

Рекомендации разработаны канд. техн. наук ЗАЛЕССКИМ Ф.В.

1. ОСНОВНЫЕ ИСХОДНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ РАСЧЕТОВ ЭКСТРЕМУМОВ

1.1. Одной из главных задач гидрологических расчетов является определение экстремальных расчетных гидрологических и метеорологических характеристик. От этих характеристик зависят генеральные параметры проектируемых сооружений и их стоимость.

Совершенствование методики расчета экстремальных характеристик способствует повышению достоверности определения их расчетных воздействий, обеспечению нормального функционирования гидротехнических, транспортных, мелиоративных и других сооружений.

Совершенствование указанной методики уменьшает аварийность и приводит к увеличению сроков эксплуатации сооружений, а также сокращению эксплуатационных расходов.

В итоге повышается надежность и срок службы сооружений, т.е. достигается максимальная эффективность капитальных затрат.

1.2. Улучшение методики определения экстремальных характеристик дает возможность уточнить вероятностное прогнозирование так называемых стихийных явлений.

Речные наводнения, катастрофические ливни, морские штормовые нагоны и другие проявления экстремальных гидрометеорологических факторов затрагивают интересы общества, имеют особое значение. Совершенствование методики расчета экстремумов способствует безопасности людей, сохранности материальных ресурсов.

Особенно опасны внезапные экстремумы, обусловленные причинными явлениями, длящимися немногие часы.

1.3. Задачи охраны гидросферы и атмосферы требуют надежных количественных сведений об экстремальных гидрометеорологических явлениях и их повторяемости (вероятности). Только при наличии таких сведений можно будет оптимизировать задачи охраны природной среды.

1.4. Настоящие Рекомендации дополняют методологию инженерной гидрологии современными требованиями, вытекающими из практики проектирования и строительства.

Не вызывает сомнения, что гидрология для строительных целей *может и должна иметь свои, специфические методики. Именно такие* специфические методики должны содержаться в нормативных документах, вносимых на утверждение Госстроя СССР и других ведомств для целей строительства.

Нельзя требовать, чтобы гидрологические расчеты слепо и безоговорочно опирались на материалы измерений в той форме, в какой они получены в результате наблюдений и которые имеются на сегодняшний день. Должны быть допущены обоснованные отступления от этой информации, так как последняя часто не является репрезентативной. Надо учитывать, что в ряде мало изученных районов страны количество информации вообще ничтожно, однако гидрология все равно вынуж-

дена решать свои задачи для обеспечения проектирования и строительства исходными данными.

1.5. Метод построения кривой обеспеченности в строительной гидрологии исходит из основного тезиса – расчетная кривая обеспеченности, предназначенная для строительного проектирования, должна по возможности меньше зависеть от ежегодного изменения параметров, происходящего вследствие непрерывного добавления информации (данных наблюдений). Это достигается путем поиска и учета выдающихся экстремумов.

Наблюдения показывают, что на отрезке времени около 100 лет могут наблюдаться характеристики повторяемостью 200–300 лет. Проектирование и строительство ведутся с расчетом в среднем на одно-два столетия, при этом важно обеспечить сохранность и надежность сооружений в продолжение именно этого периода. Следовательно, расчетная кривая обеспеченности должна проводиться с учетом этих выдающихся характеристик.

Если следовать существующей методике, то обычно поиск выдающихся явлений не выполняется, а при появлении выдающегося максимума приходится увеличивать параметры кривой обеспеченности, увеличивается расчетный расход и проект подлежит переделке.

В отношении таких объемных трудов (около 3500 пунктов), как каталоги ГГИ по максимальному талому и дождевому стоку [14, 23], следует учитывать, что видимо через каждые 3–4 года они в большей своей части будут нуждаться в уточнении или пересмотре, так как приводимые в них параметры кривой обеспеченности меняются в зависимости от добавляющихся данных наблюдений. Такое же положение и с экстремальными величинами строительной климатологии.

1.6. Расчет по методу предельных состояний (глава СНиП II-А.10-71) должен быть распространен и на гидрологические воздействия. Соответствующие разработки являются первоочередной задачей тех институтов, которые являются головными для разных видов сооружений (гидротехнические сооружения – Гидропроект Минэнерго, автомобильные и железные дороги – Союздорпроект и ЦНИИС Минтрансстроя и т.д.).

В главе СНиП II-А.10-71 "Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования" говорится [34], что степень ответственности и капитальности зданий и сооружений, а также значимость последствий наступления тех или иных предельных состояний учитывается в необходимых случаях коэффициентами надежности $K_н$.

Возможное отклонение нагрузок в неблагоприятную сторону от их нормативных значений вследствие изменчивости нагрузок или отступлений от условий нормальной эксплуатации учитывается коэффициентами перегрузки n, устанавливаемыми с учетом назначения зданий и сооружений и условий их эксплуатации.

В настоящее время при проектировании вводится система коэффициентов запаса. При проектировании морских причалов над расчетным уровнем принимается запас 1 м; при проектировании подходных насыпей к мостам возвышение насыпи над расчетным уровнем принимается с запасом 0,5 м и т.д.

Общий коэффициент запаса равен

$$K_{общ} = K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \ldots \cdot K_n.$$

Предлагается на стадии построения кривой обеспеченности ввести некоторый запас и снизить какой-то другой коэффициент с тем, чтобы $K_{общ}$ остался прежним. Вопрос этот должен решаться конкретно, применительно к каждому виду сооружений.

1.7. В современной гидрометеорологии вопрос о подходе к оценке генетической и статистической однородности нуждается в уточнении. Стремление к исследованию однородности вызвано тем, что в гидрометеорологических явлениях всегда наблюдается или подразумевается выдающийся экстремум. Он может проявиться за период наблюдений, чаще он может быть зафиксирован в историческом прошлом.

Очевидна важность наличия выдающихся экстремумов, так как они дают возможность получения расчетных параметров, обеспечивающих надежность возводимых сооружений. Без учета таких экстремумов расчетные параметры получаются заниженными.

Однако в практике гидрологических расчетов в ряде случаев необходимость совместной обработки выдающихся величин и остальных членов ряда подвергается сомнению. Более того, иногда эти выдающиеся величины при статистической обработке наблюдений вовсе не принимаются во внимание. Подобно тому, как в области выпуска деталей и контроля производства исключаются "подозрительные" величины, так и в отношении гидрометеорологических величин почему-то применяют аналогичный подход [2]. Некоторые исследователи стремятся считать отскакивающую величину ошибочной. Если это можно доказать, то такая величина должна быть исключена.

Экстремальные гидрометеорологические величины не могут быть "чужеродными" и "подозрительными", а являются реальностями, необходимыми для обоснованного расчета. При выпуске изделий надо бороться с этими отскакивающими величинами, устранять их, строить производственный процесс так, чтобы их не было. Наоборот, при обработке гидрометеорологических рядов такие отскакивающие величины являются ценнейшей информацией, основой расчета и игнорирование таких величин недопустимо.

Исключить экстремумы, опираясь только на качественные генетические признаки, трудно, поэтому современная гидрология призвала на помощь статистические критерии. Вопрос тем самым перешел из плоскости генетической в плоскость статистической однородности.

Математическая статистика располагает богатым арсеналом критериев статистической однородности, применяемых для целей, не имеющих ничего общего с гидрометеорологическими явлениями. Все эти критерии, как правило, имеют целью контроль качества выпускаемой продукции. Поэтому и специальные работы по математической статистике [17, 31, 39] трактуют однородность применительно к контролю качества продукции. Иногда встречающиеся в этих работах ссылки на природные явления (рассматриваемые нами) являются чисто формальными. Например, работа [17] так и называется "Статистические методы контроля качества" и в ней даются правила такого контроля: из партии изделий берутся 10 выборок по 5 изделий каждая, всего 50, иногда больше. "Подозрительной" считается точка вне 2σ-границ, "крайне подозрительной" – точка вне 3σ-границ. Устраняются любые "крайне подозрительные" точки, снова определяют σ и наносят новые границы.

Описанные приемы неприменимы к гидрометеорологическим рядам. Чтобы показать, насколько разрабатываемые в математической статистике подходы к однородности непригодны для рядов экстремальных гидрометеорологических величин, приведем выдержки из работы [31]: "Например, на основании выборки нам нужно принять статистическое решение, а "сорные" наблюдения противоречат условиям, которым должно отвечать это решение. В этой ситуации сохранение всех 100% наблюдений вообще не позволяет решить эту задачу". И далее: "Во многих случаях главное — не выявить и устранить "сорные" наблюдения, а уменьшить по возможности их влияние, если они присутствуют".

Нужны ли еще какие-нибудь доказательства неприменимости такого подхода к гидрометеорологическим рядам? В этих рядах все обстоит наоборот, здесь логичнее не уменьшать, а увеличивать влияние выдающихся величин, так как именно они вносят основной вклад в величину стандартного отклонения, а тем самым в надежность кривой обеспеченности. Там сохранение всех 100% наблюдений "не позволяет решить задачу", здесь, наоборот, только при помощи учета всех наблюдений задача приобретает свою правильную постановку. Сам факт наличия рассуждений о выбрасывании выдающихся экстремумов противоречит задачам инженерной гидрометеорологии. До тех пор, пока не будет пересмотрен этот взгляд, население и народное хозяйство нашей страны будут терпеть лишения и убытки от стихийных бедствий.

Пример 1. Рассмотрим критерии У.Диксона для проверки различных отношений размахов:

а) проверка одного сомнительного наблюдения:

$$r_{10} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_n};$$

б) проверка одного сомнительного наблюдения x_1, не зависящего от противоположного крайнего наблюдения x_n.

$$r_{11} = \frac{x_1 - x_2}{x_1 - x_{n-1}};$$

в) проверка сомнительного наблюдения x_1, не зависящего от следующего по величине x_2:

$$r_{20} = \frac{x_1 - x_3}{x_1 - x_n};$$

г) проверка сомнительного наблюдения x_1, не зависящего от наблюдений x_2 и x_n:

$$r_{21} = \frac{x_1 - x_3}{x_1 - x_{n-1}};$$

д) проверка сомнительного наблюдения x_1, не зависящего от наблюдений x_2, x_n и x_{n-1}:

$$r_{22} = \frac{x_1 - x_3}{x_1 - x_{n-2}}$$

Графическое изображение критериев Диксона дано на рис. 1.

Известны также критерии Стьюдента, Вилькоксона, Фишера, Сигеля и Такея и др. Разнообразие критериев свидетельствует о богатом воображении их авторов. Каждый считает, что именно его критерий оптимален с некоторой точки зрения [31]. В работе [29] говорится, что многочисленные критерии однородности приводят к одним и тем же выводам, так как они во многом взаимозависимы.

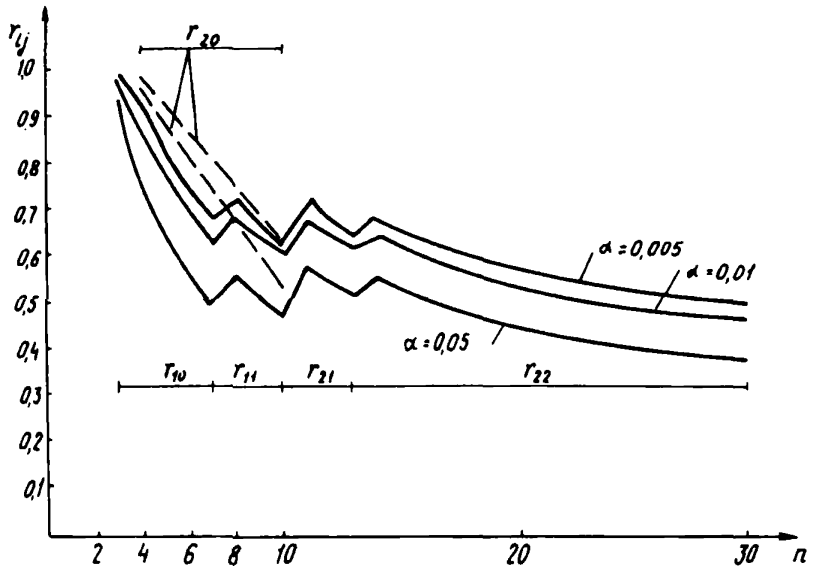


Рис. 1. Коэффициенты r_{ij} Диксона (α – уровень значимости)

Напомним, что параметрические критерии требуют знания параметров генеральной совокупности (среднее, дисперсия) в отличие от непараметрических, которые не опираются на генеральные параметры. При обработке гидрометеорологических рядов мы не располагаем знанием параметров генеральной совокупности, поэтому пользование параметрическими критериями затруднительно. Что касается непараметрических критериев, то следует иметь в виду, что они разработаны для иных целей.

Пример 2. Рассмотрим ряд уровней ленинградских наводнений. Допустим, что наблюдения здесь начаты в 1935 г., но имеются надежные данные об известном наводнении 1824 г. Можно утверждать, что, имея только эти данные, уровень 1824 г. был бы по статистическим критериям признан неоднородным и явился бы кандидатом для исключения. Возьмем теперь имеющийся ряд с 1691 г. [30]:

1824 г..... 423 см	1955 г..... 273 см
1924 г..... 357 см	1890 г..... 249 см
1691 г..... 340 см	1937 г..... 243 см
1777 г..... 320 см	

Если принять во внимание наблюдения за последние 40 лет и выдающийся уровень 1824 г., то получится ряд 423, 273, 243 и т.д. Применяя любой критерий статистической однородности, уровень 423 будет признан подлежащим исключению. Когда же мы берем почти 300-летний ряд (с 1691 г.), то здесь между значениями 423 и 273 имеются величины

357, 340 и 320, т.е. численная последовательность упорядочена, и этот ряд уже не считается неоднородным. Имеется гидрологическое обоснование проекта ленинградской дамбы, составленное группой институтов, в котором всякие предположения о неоднородности ряда отсутствуют. Не возникает никаких сомнений и относительно какой-то особой синоптической обстановки.

В настоящее время на гидрологической станции Темрюк (Азовское море) имеется ряд нагонных уровней за 56 лет, причем один уровень составляет 400 см, а 55 остальных – от 75 до 150 см. И опять возникает вопрос о неоднородности и особенностях синоптической обстановки.

В свете только что разобранного ряда уровней ленинградских наводнений следует считать, что "вакуум" между выдающимся экстремумом и всеми остальными с течением времени заполняется. В непродолжительных рядах наличие выдающегося экстремума создает кажущуюся неоднородность.

1.8. При определении расчетных гидрометеорологических величин требуется наличие выделяющихся по величине экстремумов, одного или нескольких, являющихся обязательной и весьма ценной информацией, способствующей более надежному расчету гидрологического (климатического) параметра, который будет положен в основу проекта сооружения. Эти экстремумы могут находиться в рядах наблюдений, вне рядов или быть обнаружены в историческом прошлом. По мнению С.Н.Крицкого [20], "Совершенствование методов выражения колебания стока должно в основном заключаться в уточнении представлений о повторяемости редко наблюдающихся экстремумов стока, в особенности максимального".

Определить повторяемость редких экстремумов крайне трудно. Поэтому в этом вопросе следует принять какую-то основную предпосылку. Такой предпосылкой должна быть надежность проектируемых сооружений. Критерием повторяемости расхода является его приемлемость и обоснованность при строительном проектировании.

Нет и не может быть никаких оснований для риска – принимать без специального гидрологического обоснования тысячелетним тот расход, который наблюдался в течение, например, 40 лет наблюдений.

1.9. Для обеспечения надежности следует предусматривать необходимость назначения расчетных параметров, определяющих работу сооружения.

Степень надежности определяет класс того или иного вида сооружения и запасы, применяемые в сооружении.

При назначении степени надежности исходят из того материального и морального ущерба, который может быть нанесен народному хозяйству и обществу. Поэтому назначение расчетных гидрологических параметров следует считать логической необходимостью.

1.10. В тех случаях, когда имеющиеся натурные измерения в рассматриваемом пункте недостаточны и требуется их дополнение или проверка, применяются методы:

объединения наблюдений по нескольким пунктам (годопункты);

привлечения аналогов с более длительным рядом наблюдений, если этот аналог имеет выдающийся экстремум;

композиционный, основанный на установлении генетической связи рассматриваемого параметра с обусловливающими факторами.

Метод годопунктов был эффективно применен в работе [8] для анализа и обоснования формы обобщенных кривых обеспеченности северного полушария. Следовательно, метод годопунктов может применяться для изучения теоретических законов распределения гидрометеорологических характеристик.

Однако для получения расчетных параметров конкретного водного объекта применение метода годопунктов встречает следующее затруднение. Если на данной территории изучено 10 водных объектов, то при объединении их объект A будет иметь одни параметры. Если через несколько лет на той же территории будет изучено 30 водных объектов, то при объединении их тот же объект A будет иметь другие параметры. В действительности объект A имеет параметры, никак не зависящие от изученности соседних объектов.

Метод годопунктов принципиально противоречит методам расчета экстремальных характеристик для конкретных строительных объектов. Дальнейшее уточнение экстремальных параметров водных объектов должно быть направлено на получение их индивидуальных свойств, а не к нивелированию их, тем более что длительность одиночных рядов непрерывно нарастает. Поэтому надо признать, что метод годопунктов вряд ли может быть перспективным в будущем.

Привлечение дополнительной информации должно осуществляться не путем расчета по годопунктам, а путем поиска экстремальных характеристик, в том числе исторических. Хорошим методическим примером такого поиска является, например, работа [16].

Если говорить о конкретных географических регионах, то метод годопунктов можно пытаться применить только на незначительной части территории нашей страны – на юге Украины и в некоторых районах Казахстана.

И еще один аспект этого метода. Часто употребляют выражение годосооружения. Считают, что если есть сведения, например, о паводках на 100 малых сооружениях на каком-то участке дороги за 20 лет, то наибольший из наблюденных паводков имеет вероятность $p = \frac{1}{100 \times 20} = \frac{1}{2000}$. Такое рассуждение неправомерно, так как 100 малых сооружений расположены на длине 50 км и все они синхронно связаны и не являются независимыми. На всех сооружениях паводок может быть следствием одного и того же дождя и вероятность наибольшего будет не $\frac{1}{2000}$, а $\frac{1}{20}$.

Что касается метода аналогии, то он должен применяться с крайней осторожностью. В настоящее время метод аналогии является доминирующим в гидрологических расчетах. Считается, что применение этого метода почти всегда правомерно, хотя рассчитывается вместо одной реки другая с поправками, вычисляемыми весьма условным способом.

Под приведением короткого ряда к длительному периоду в настоящих Рекомендациях понимается поиск выдающегося экстремума.

Ряд-аналог можно использовать только в тех случаях, когда он содержит выдающийся экстремум. При этом надо учитывать, что экстремумы в каждом пункте формируются неповторимым путем.

Метод композиции является перспективным, но для его применения

в расчетах требуются еще значительные гидрометеорологические исследования.

2. РАСЧЕТЫ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКА РЕК ПРИ НАЛИЧИИ НАБЛЮДЕНИЙ

2.1. Расчеты экстремальных гидрологических величин рассматриваются в настоящих Рекомендациях на примере максимального стока рек.

Расчетные значения максимального стока определяются по биномиальной кривой обеспеченности или по кривой трехпараметрического гамма-распределения, параметры которых — среднее многолетнее значение расхода Q_0, коэффициент изменчивости C_v и коэффициент асимметрии C_s — устанавливаются по расчетному ряду наблюдений.

2.2. По данным многолетних наблюдений формируются ряды ежегодных экстремальных значений стока, отдельно для расходов талых вод и дождевых паводков. В случаях, когда такое разделение невозможно (например, для северных районов с поздними половодьями в период дождей, для некоторых горных районов и др.), формируется один ряд наибольших годовых экстремумов.

2.3. В качестве критерия при назначении величины расчетной характеристики в настоящих Рекомендациях принята ежегодная (однократная) вероятность этой величины.

Примечание. В литературе можно встретить разнообразные употребления понятия "вероятность". Так, в волновой теории вероятность определяется "в системе волн" (СНиП II-57-75). Наибольшая из 100 волн считается имеющей вероятность 1%. Если период волнения $T = 12$ с, то 100 волн проходят за 20 мин. Таким образом, выражение "вероятность 1%" относят и к повторяемости один раз в 100 лет, и к повторяемости один раз в 20 мин.

2.4. Основной задачей при статистической обработке ряда многолетних наблюдений является определение расчетных значений параметров кривой распределения (обеспеченности) — Q_0, C_v и C_s.

Динамика изменения этих параметров должна подвергаться тщательному анализу. При добавлении в каждом новом году максимального расхода в ряд наблюдений параметры Q_0, C_v и C_s изменяются. В большей или меньшей степени это происходит ежегодно; при появлении же выдающихся величин параметры изменяются настолько значительно, что выбор их расчетного значения, особенно параметра C_v, становится основной проблемой расчета.

Анализ динамики изменения параметров выполняется при помощи составления графика их ежегодного изменения (п.2.5.).

2.5. Построение графика ежегодного изменения параметров выполняется следующим образом.

Пусть имеется хронологический ряд ежегодных максимальных расходов воды. Из этого ряда формируются от начала наблюдений хронологические ряды продолжительностью 10 и более лет. Продолжительность рядов увеличивается каждый раз на один последующий год. Получается серия рядов длительностью 10, 11, 12 лет за периоды, например, 1901–1910; 1901–1911; 1901–1912 гг. и т.д. Общее число i таких рядов будет равно $i = n - 9$. Так, при числе лет наблюдений $n = 45$ лет получаем 36 рядов.

Полученные 36 рядов следует подвергнуть статистической обработке с вычислением среднего значения Q_0, коэффициента изменчивости C_v и коэффициента асимметрии C_s. Вычисления выполняются на ЭВМ*.

По результатам обработки таких рядов строятся графики, где по оси абсцисс отложено время (продолжительность сформированных рядов), а по оси ординат – значения параметров.

Изложенный метод построения, который условно назван "методом определения ежегодного изменения параметров", дает возможность выявить тенденции изменения параметров Q_0, C_v и C_s, а следовательно, приблизиться к определению их расчетной величины. Употребляя *выражение "ежегодное", имеется в виду подчеркнуть непрерывное* изменение их во времени.

Ниже даются примеры построения таких графиков.

Пример 3. Построение графика ежегодного изменения параметров кривой обеспеченности (рис. 2).

Река Чир у станицы Обливской (бассейн Дона). Площадь водосбора 8470 км^2, период наблюдений 1924–1975 гг., выдающийся расход 1956 г. – 3200 м^3/с. Таблица расходов дана в прил. 1.

На графике показаны:

1. Ежегодные максимальные расходы воды.

2. Средние расходы Q_0, начиная с ряда продолжительностью 10 лет.

3. Величина коэффициентов изменчивости C_v и асимметрии C_s вычислена методом моментов по формулам :

$$C_v = \sqrt{\frac{\Sigma (K_i - 1)^2}{n-1}}\ ; \qquad (1)$$

$$C_s = \frac{n}{(n-1)(n-2)} \cdot \frac{\Sigma (K_i - 1)^3}{C_v^3}\ . \qquad (2)$$

4. Величина коэффициентов C_v и C_s вычислена методом наибольшего правдоподобия по формулам :

$$\lambda_2 = \frac{\Sigma \ell g\, x_i / x}{n-1}\ ; \qquad (3)$$

$$\lambda_3 = \frac{\Sigma x_i/\bar{x}\ \ell g\, x_i/\bar{x}}{n-1} \qquad (4)$$

и по номограмме для вычисления параметров трехпараметрического гамма-распределения C_v и C_s методом приближенно наибольшего правдоподобия.

Из графика видно, что выдающийся расход Q = 3200 м^3/с прошел в 1956 г., на 26-м году наблюдений. До 1956 г. за 25 лет наблюдений коэффициент C_v изменялся в пределах 0,85-1,0 при подсчете по методу моментов и 0,88-1,08 – по методу наибольшего правдоподобия.

После появления в 1956 г. расхода 3200 м^3/с коэффициент C_v резким скачком увеличился до 1,37 по одному методу и до 1,4 – по второму.

В последующие 19 лет (1956–1975 гг.) коэффициент C_v не снижался, что следовало бы ожидать, а колебался в сравнительно небольших преде-

* Расчеты на ЭВМ для данных Рекомендаций выполнены в Лаборатории математических методов ПНИИИС инж. Клюхиной Е.В.

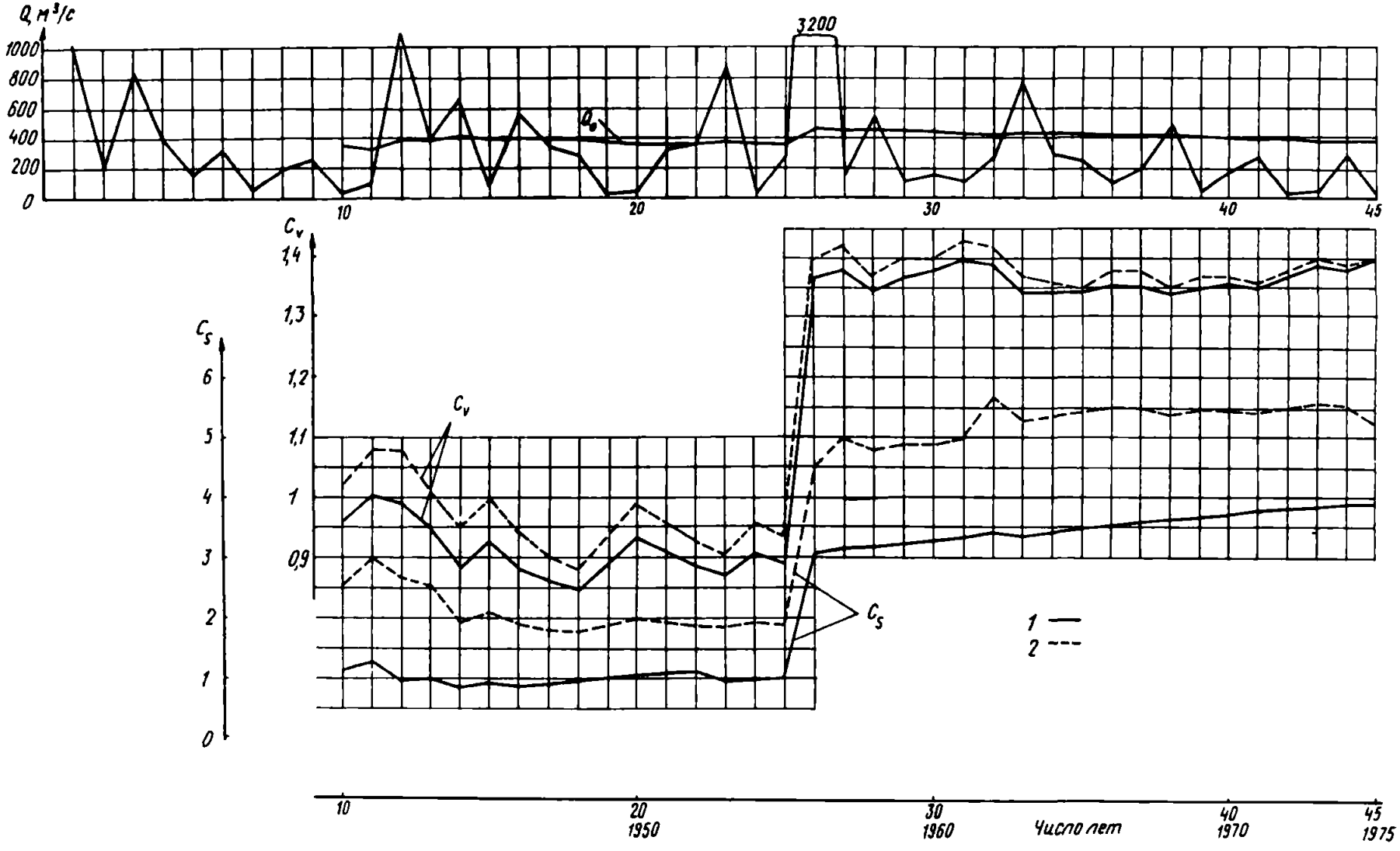


Рис. 2. График ежегодного изменения параметров Q_0, C_v, C_s на р. Чир-Обливская: *1* – метод моментов; *2* – метод наибольшего правдоподобия

лах 1,35–1,43. Можно заметить, что различия в величине C_v, вычисленной двумя методами, постепенно уменьшаются; к последнему году наблюдений их значения совпали ($C_v = 1{,}4$).

Что касается коэффициента асимметрии C_s, то здесь расхождения вычислений по методам моментов и наибольшего правдоподобия, естественно, больше. Однако к последнему году наблюдений и здесь обнаруживается некоторая тенденция к снижению различий.

Пример 4. Построение графика ежегодного изменения параметров кривой обеспеченности (рис. 3).

Река Арканзас, США. Площадь бассейна 11 750 км^2. Выдающийся расход 1921 г. – 2 880 м^3/с. Таблица расходов дана в прил. 2.

На графике показаны:

1. Ежегодные максимальные расходы.

2. Параметры Q_0, C_v и C_s, вычисленные методом моментов для рядов продолжительностью 10, 11, 12 и до 65 лет (продолжительность наблюдений).

Выдающийся расход на реке Арканзас прошел в 1921 г., на 27-м году наблюдений. При этом средний расход Q_0 возрос от 260 до 360, т.е. на 38%.

Коэффициент C_v резким скачком увеличился с 0,55 до 1,45, после чего на протяжении 40 лет снижался от 1,45 до 1,28. График наглядно показывает всю трудность проблемы нахождения расчетного коэффициента C_v. Совершенно ясно, что существовавшая до выдающегося паводка величина $C_v = 0{,}55$ занижена, а величина $C_v = 1{,}45$ является завышенной. Расчетное значение лежит в огромном диапазоне $0{,}55 < C_v < 1{,}45$, и, чтобы его найти, требуется тщательный разносторонний анализ.

Таблица 1

Изменения параметров на р.Арканзас

	За период до паводка, 1895–1920 гг.	В год паводка, 1895–1921 гг.	За период после паводка, 1895–1922–1960 гг.
Q_0	280–260	260–360	360–282
C_v	0,66–0,55	0,55–1,45	1,45–1,28
C_s	1,80–2,50	2,50–4,25	4,25–6,30
C_s/C_v	2,7–4,5	4,5–2,9	2,9–4,9

Расходы вероятностью, например, 1% выглядят так (берем крайние случаи):

после 26 лет наблюдений (период 1895–1920 гг.):

$Q_0 = 260$; $C_v = 0{,}55$; $C_s = 2{,}50$; $Q_{1\%} = 805$ м^3/с;

после 27 лет наблюдений (период 1895–1921 гг.):

$Q_0 = 360$; $C_v = 1{,}45$; $C_s = 4{,}25$; $Q_{1\%} = 2660$ м^3/с.

2.6. При статистической обработке многолетних рядов максимальных расходов воды следует учитывать, что не всякий ряд (даже продолжительностью 50 лет, см. примеры 5, 6, 7) пригоден для определения расчетных параметров кривой обеспеченности. Ряды, пригодные для определения параметров, назовем условно расчетными. Одно из необходимых условий расчетного ряда – наличие в ряду или вне его одного или более выделяющегося расхода (критерий выделяющегося расхода дан в п.2.8.).

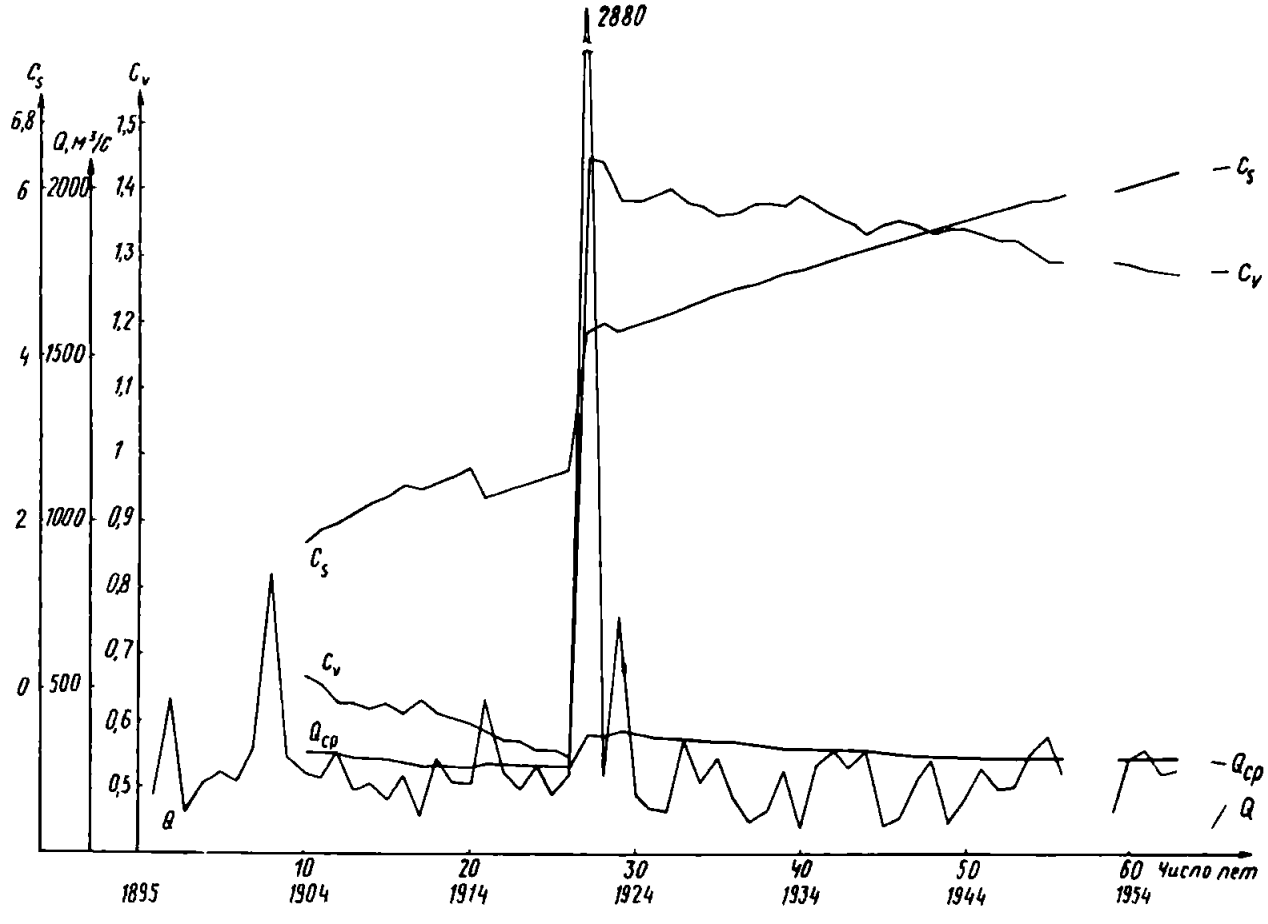


Рис. 3. График ежегодного изменения параметров Q_0, C_v, C_s на р. Арканзас (США), определенных по методу моментов

Что касается необходимой продолжительности расчетного ряда, то общие указания здесь дать затруднительно. Полезно проследить, как изменялись взгляды на этот вопрос. В 1948 г. в ГОСТ 3999–48 рекомендовался период 15 лет, в 1957 г. в СН 2-57 – уже 20 лет, в Указаниях СН 435-72 – от 25 до 50 лет (по физико-географическим зонам). Учитывая примеры 5, 6, 7, надо думать, что возрастание требуемого периода будет продолжаться. Очень многое зависит от наличия в ряду выдающихся величин, поэтому вопрос о необходимой продолжительности ряда нельзя уложить в стандартные периоды. Очевидно, по этой причине в проекте новых Указаний СН 435 вообще не дается никаких рекомендаций на этот счет.

Принадлежность ряда к расчетному определяется при помощи графика ежегодного изменения параметров. Соответствующие примеры приводятся ниже.

Пример 5. Анализ того, является ли расчетным ряд максимальных расходов на реке Аракс у Карадонлы. Площадь бассейна 96700 км^2. Выдающийся расход 1969 г. – 2800 м^3/с. Таблица расходов дана в прил. 3.

1. Допустим, что расчет выполняется в 1968 г., т.е. до выдающегося паводка 1969 г. (из практики работы Бакинского отделения Гидропроекта).

Параметры ряда по методу моментов за период 1912–1968 гг.:

$Q_0 = 993$; $C_v = 0{,}33$; $C_s = 0{,}26$; $C_s/C_v = 0{,}8$.

Несмотря на полученную незначительную величину коэффициента C_s, было назначено обычное соотношение $C_s/C_v = 3$. Кривая обеспеченности дана на рис. 4*а*. Отметим, что по этой кривой повторяемость расхода 1969 г. равна 1250 лет.

2. Допустим, что расчет выполняется в 1969 г. после выдающегося паводка 1969 г. (такой расчет также выполнялся Бакинским отделением Гидропроекта).

Параметры ряда за период 1912–1969 гг.:

$Q_0 = 1030$; $C_v = 0{,}40$; $C_s = 1{,}55$; $C_s/C_v = 3{,}9$.

Кривая обеспеченности при $C_s/C_v = 3$ дана на рис. 4*б*. При этой кривой повторяемость расхода 1969 г. равна 300 лет.

3. Анализ пригодности ряда для определения параметров кривой обеспеченности.

Построим график ежегодного изменения параметров (рис. 5). Обращает на себя внимание то, что асимметрия на протяжении всего периода наблюдений близка к нулю или незначительна, чего никогда не бывает в рядах максимальных расходов. В 1968 г. прошел наибольший паводок за весь предшествующий период $Q_{1968} = 1820$ м^3/с, и все-таки асимметрия оставалась незначительной $C_s = 0{,}8\,C_v$. Это уже указывало на то, что ряд ограниченно пригоден. Только при появлении расхода $Q_{1969} = 2800$ м^3/с асимметрия стала равной $C_s = 1{,}55$ и $C_s/C_v = 3{,}9$, т.е. параметры получили обычные соотношения.

До паводка 1969 г. первые 9 членов ранжированного ряда имели следующие значения: 1820, 1610, 1591, 1568, 1512, 1420, 1369, 1360, 1346 м^3/с, т.е. различия соседних членов ничтожны. За исключением расхода 1820 остальные 8 наблюдались за период 50 лет, т.е. один раз в 6 лет. Тогда можно принять, что расход 1820 наблюдается никак не реже одного раза в 20–25 лет. Это типичный пример того, что $M_1 < n$ (п.2.7), т.е. что расход 1820 не может стоять во главе 50-летнего ряда.

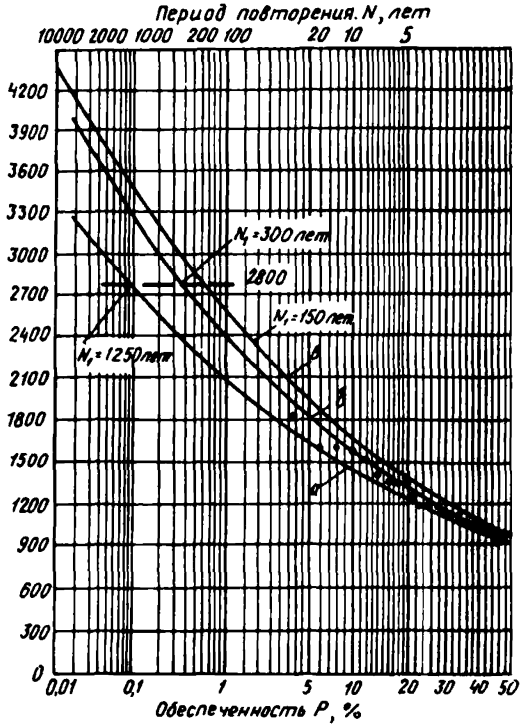


Рис. 4. Кривые обеспеченности по р. Аракс-Карадонлы:
а – по существующей методике до паводка 1969 г.;
б – то же, после паводка 1969 г.; *в* – предлагаемая кривая

Можно сделать вывод, что ряд максимальных расходов р.Аракс у Карадонлы до паводка 1969 г. не мог служить основой для определения параметров кривой обеспеченности. Описание расчетов кривой обеспеченности, выполненных в Бакинском отделении Гидропроекта, имеется в работах [36, 37].

4. Рекомендуемый расчет параметров для р.Аракс с.Карадонлы.

Основной вопрос – как оценить повторяемость (вероятность) расхода 1969 г.

Бакинское отделение Гидропроекта приняло в 1971 г. эту повторяемость равной $N_1 = 73$ года. Когда по существующей методике построили кривую обеспеченности, получили $N = 270$ лет. Здесь сразу нарушается основное требование инженерного расчета – те величины, которые принимаются в начале расчета, должны быть равны получаемым в результате расчета. Методы моментов и наибольшего правдоподобия не могут выполнить это требование. Следовательно, расчет надо выполнять графоаналитическим методом.

По последним сведениям, Бакгидропроект (1979 г.) принимает повторяемость расхода 1969 г. N_1 = 110 лет. Мы полагаем, что следует принимать N_1 = 150 лет. Тогда кривая будет иметь вид, показанный на рис. 4,*в*.

5. Следует выполнить поиск данных о ранее наблюдавшихся выдающихся паводках на реке Аракс, в частности, имеются сведения о таком паводке в 1877 г.

Пример 6. Река Волга у г.Куйбышева. Площадь бассейна 1 210 000 км^2. Имеются наблюдения с 1881 г.

Первые 15 расходов таковы:

1.	63 900	6.	49 000	11.	46 300
2	50 700	7.	48 000	12.	46 100
3.	50 200	8.	47 700	13.	45 500
4.	49 600	9.	46 900	14.	45 400
5.	49 400	10.	46 800	15.	45 300

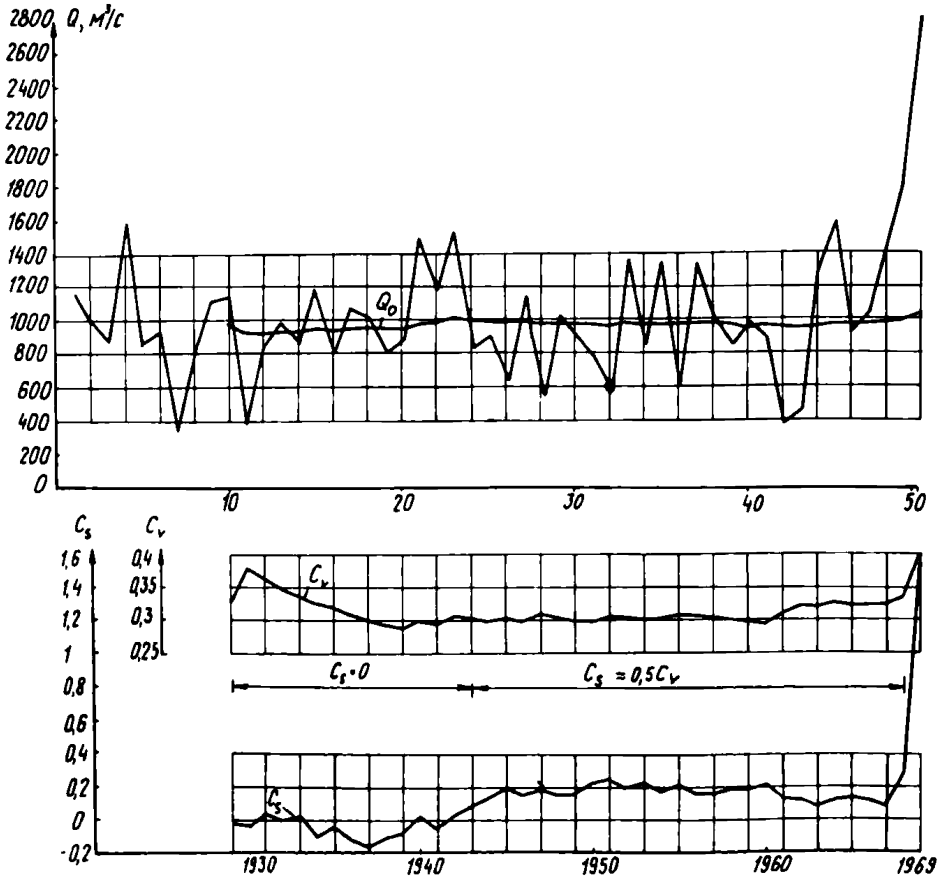


Рис. 5. График ежегодного изменения параметров Q_0, C_v, C_s на р. Аракс-Карадонлы, определенных по методу моментов

Не повторяя подробный анализ, проведенный по реке Аракс, можно сделать вывод, что если бы не было расхода Q_1 (1926 г.), то ряд, несмотря на свою длительность, был бы ограниченно пригоден для определения параметров кривой обеспеченности, так как все последующие расходы почти не различаются.

Пример 7. Анализ того, является ли расчетным ряд максимальных расходов на реке Сочи у с.Пластунка. Площадь бассейна 238 км^2. Выдающийся расход 1978 г. – 613 м^3/с. Таблица расходов – см. прил. 4.

Строим график ежегодного изменения параметров (рис. 6), из которого видно, что отношение C_s / C_v колеблется от 0 до 0,5, только однажды, на 41-м году наблюдений, достигая 1. Такие соотношения C_s/C_v *не свойственны максимальным расходам, особенно дождевого происхождения.* Только на 51-м году наблюдений появился расход, поднявший отношение C_s / C_v до 2 (для дождевых паводков это еще мало).

Следовательно, до появления расхода 1978 г. ряд, имея длину 50 лет, не мог служить основой для определения расчетных параметров.

Пример 8. Выбор расчетного периода для определения параметров при помощи графика ежегодного изменения.

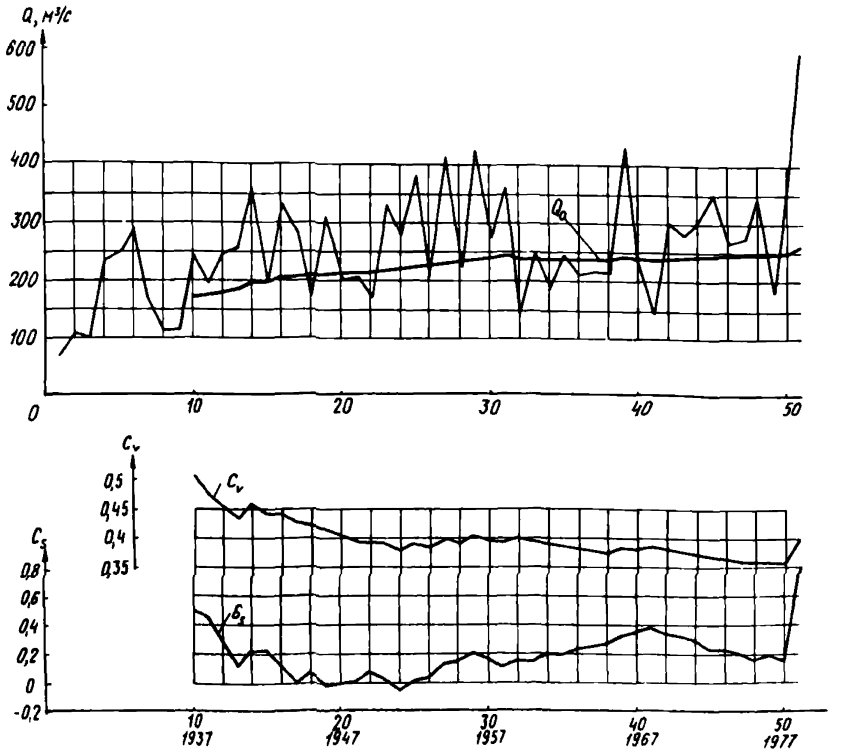


Рис. 6. График ежегодного изменения параметров Q_0, C_v, C_s на р. Сочи-Пластунка, определенных по методу моментов

На рис. 7 показана кривая изменения коэффициента C_v на реке Чирчик. При каждом появлении выделяющегося максимума происходят перепады величины C_v. Приемлемая для строительного проектирования величина C_v получается где-то в районе ряда "а", приблизительно при n = 34 года (или в диапазоне 30–40 лет). Очевидно одно, что ряд "б" продолжительностью 56 лет хотя и является более длительным, дает менее надежную величину C_v.

2.7. Ряды наблюдений имеют соотношение либо $N_1 > n$, либо $N_1 < n$ (N_1 – повторяемость первого члена в годах, n – число лет наблюдений). Случай, когда $N_1 = n$, является частным исключением, хотя именно на такой случай ориентирована существующая методика.

1. $N_1 > n$. Этот случай описывается большим числом формул, имеющих общий вид

$$P_m = \frac{m - a}{n + 1 - 2a}, \qquad (5)$$

где P_m – оценка вероятности члена, занимающего m-е место в ранжированном ряду длиной n.

Параметр a принимает следующие значения: если ориентироваться на математическое ожидание искомой вероятности, то a = 0; при медианном значении вероятности a = 0,3; при a = 0,5 вероятность отнесена к середине отрезков, на которые ряд разбит. Соответствующие формулы даны в табл. 2.

Таблица 2

Вероятность первого члена ряда P_1 по формуле (5)

	Величина a		
	0	0,3	0,5
Вид формулы (5)	$\frac{m}{n+1}$	$\frac{m-0,3}{n+0,4}$	$\frac{m-0,5}{n}$
Вероятность первого члена P_1	$\frac{1}{n+1}$	$\frac{1}{1,43n}$	$\frac{1}{2n}$

Выше приведена трактовка параметра a с точки зрения математической статистики. Инженерная интерпретация этого параметра – поиск *коэффициента запаса. Наиболее осторожна 1-я формула, наименее – 3-я.* Однако за пределы $P_1 = \frac{1}{2n}$ ($N_1 = 2n$) не выходит ни одна из них.

В реальных рядах, мобилизуя архивные, исторические данные, получают величину N_1, равную нескольким сотням лет, во много раз больше продолжительности наблюдений. Поэтому очевидно, что для первых членов ряда указанные формулы непригодны. Вероятность выдающихся величин должна определяться путем гидрологического анализа и соответствующим образом наноситься на клетчатку (п.2.12).

Нельзя согласиться с тем, что в двух одинаковых по объему выборках вероятности первых номеров одинаковы, несмотря на то, что рас-

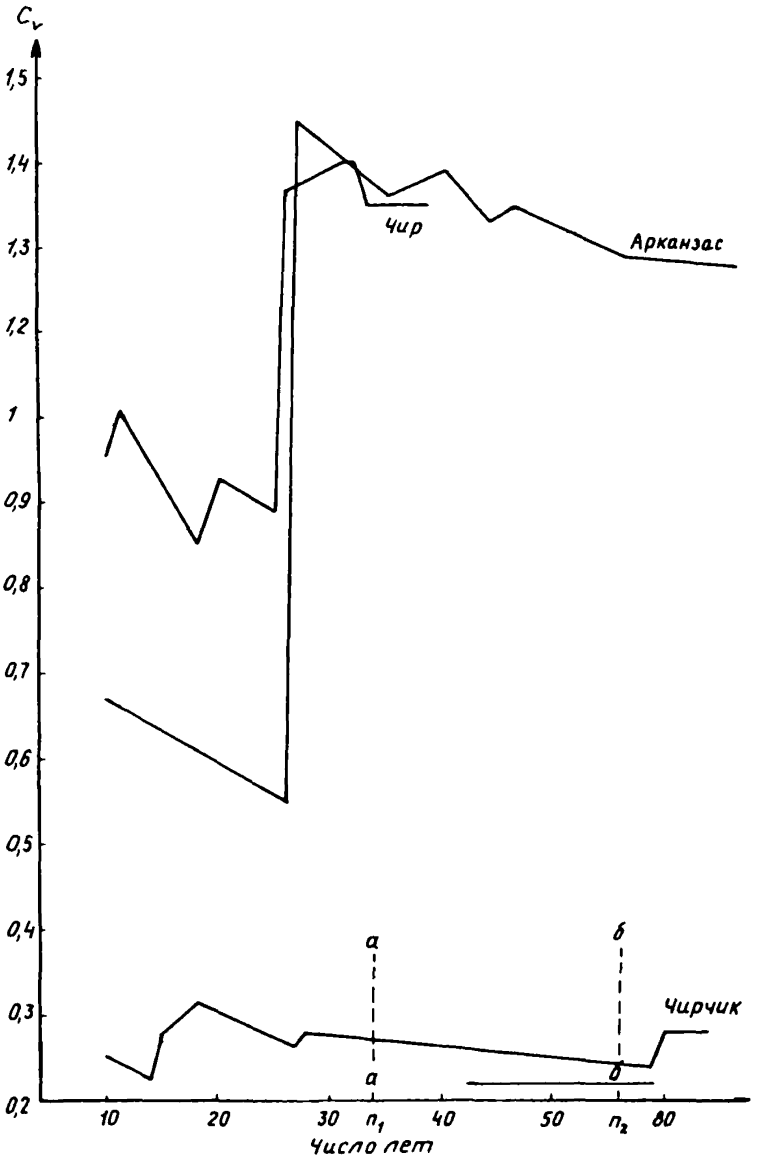


Рис. 7. Сравнение рядов продолжительностью n_1 и n_2 на р. Чирчик

ход первого номера в одной из них превышает расход второго, например, на 10000 м³/с, а во второй выборке всего на 5 м³/с. При этом средние расходы в выборках примерно одинаковы [3].

В работе [22] сделаны новые предложения по этому вопросу, рассмотренные в п.2.10.

2. $N_1 < n$. Этот случай не рассматривается в гидрологической литературе. Очевидно, считается, что такого явления не существует. К сожалению, этот случай встречается часто и является наиболее опасным с точки зрения надежности расчета.

Можно утверждать априорно, что если комбинация случайных величин может быть такой, что $N_1 > n$, то также возможна такая комбинация случайных величин, когда $N_1 < n$.

Для анализа этого явления следует глубоко изучать структуру первых членов ранжированного ряда. Ниже приводится соответствующий пример.

Пример 9. Река Пышма – с.Богандинское (бассейн Тобола). Площадь бассейна 18 600 км². Наблюдения ведутся с 1895 г.

Первые три расхода ранжированного ряда таковы [26, 27]:

1970 г. – 929 м³/с; 1946 г. – 900 м³/с; 1941 г. – 890 м³/с.

Как видно, все три расхода почти одинаковы, отсутствует хоть сколько-нибудь выделяющийся расход, типичный для рядов максимального стока. Неизбежно приходим к выводу, что расход 929 "не имеет права" возглавлять столь длительный ряд, что его повторяемость меньше, чем период 1895–1979 гг.

Если взять каталог ГГИ [23], то там расход 1941 г. составляет уже не 890, как в Ресурсах, а 1220 , такой расход, на 32% превышающий последующий (1220 и 929), уже "имеет право" располагаться на первом месте.

2.8. Максимум следует считать выделяющимся в том случае, если при обработке рядов продолжительностью $n \leq 50$ лет будет определено, что он имеет повторяемость не менее 100 лет ($P \leq 1\%$). Тогда минимальные модульные коэффициенты этого максимума будут иметь ориентировочные значения, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Минимальные модульные коэффициенты первого номера для рядов $n \leq 50$ лет

Отношение C_s/C_v	Коэффициент изменчивости C_v					
	0,3	0,5	0,8	1,0	1,2	1,5
2	1,82	2,51	3,71	4,60	5,53	7,08
3	1,90	2,66	3,96	4,87	5,79	7,21

Для рядов продолжительностью $n > 50$ лет максимум надо считать выделяющимся в случае, если он имеет повторяемость $N_1 > 2n$.

2.9. Вероятность выдающегося максимума определяется путем:

генетического и статистического (п.2.17) анализа структуры исследуемого ряда;

рассмотрения и анализа всей имеющейся метеорологической информации, особенно в случаях, когда метеорологической информации больше, чем гидрологической;

анализа величин отклонения выдающегося максимума от последующих, а также от среднего максимума (пример 1);

сопоставительных сравнений с другими пунктами, содержащими выделяющиеся величины;

применения метода экспертных оценок.

При расчетах расходов дождевых паводков можно рекомендовать метод, примененный в работе [25, табл. 90], где величина паводков характеризуется предшествующим периодом по пяти категориям: 1 — паводок на спаде половодья; 2 — паводок на шлейфе половодья; 3 — данному паводку предшествовали другие паводки; 4 — паводку предшествовали осадки; 5 — предшествовала межень.

При назначении вероятности выдающегося максимума следует предусматривать повышенную надежность ответственных сооружений, имеющих большую народнохозяйственную значимость (помимо того, что надежность определяется расчетной вероятностью, определяемой технико-экономическим обоснованием).

Согласно работе [19], изменчивость складывается из случайной и географической составляющих. Первую из них можно назвать временной, вторую — пространственной. При определении вероятности выдающегося максимума следует пытаться выделить и учесть географическую составляющую.

Определение вероятности выдающегося максимума является трудной и ответственной задачей и требует творческого подхода. Не следует полагать, что этот вопрос можно решить стандартным способом, без индивидуального анализа.

2.10. При оценке вероятностей превышения членов ранжированных выборок в гидрологической литературе имеются попытки учесть индивидуальную численную структуру ряда. М.А.Мамедов [22] предлагает эту оценку производить по формуле

$$P_m = \frac{m}{n+1+K_m^z}, \qquad (6)$$

где P_m — то же, что в формуле (5); K_m — модульный коэффициент m-го члена; z — показатель степени, подбираемый эмпирическим путем.

Очевидно, что подбор степени z должен опираться на первые члены в ранжированном ряду, причем решающее значение будет иметь первый член. Чем ближе к среднему значению, тем быстрее значение K^z приближается к единице, т.е. влияние этого добавочного члена в знаменателе не будет сказываться в сравнении с n. Основное влияние оказывает K_1. Так, на Чире (пример 3) $K_1 = 8$ и $K_1^3 = 512$ (автор метода рекомендует $z = 3$). Если ряд длиной $n = 50$, то K_1^3 оказывается в десять раз больше, чем n.

К сожалению, формула (6) не может быть рекомендована; перепишем ее в следующем виде:

$$K_m = \left[\frac{m}{P_m} - (n+1)\right]^{\frac{1}{z}}. \qquad (7)$$

Как видно, модульный коэффициент K_m выражен в функции только вероятности P_m, тогда как в действительности K_m есть функция двух величин

$$K_m = f(P_m, C_v). \qquad (8)$$

Значительный модульный коэффициент выдающегося максимума может быть следствием большой изменчивости рассматриваемого ряда и тогда его повторяемость будет самой обычной. С другой стороны, максимум может иметь очень редкую повторяемость, а изменчивость ряда может быть небольшой. Вся проблема определения повторяемости выдающегося максимума зависит от возможности оценить вклад каждого из указанных факторов.

2.11. В целях обеспечения надежности расчета предлагается установить, что повторяемость выдающегося экстремума может приниматься равной не более 500 лет. Для принятия $N_1 > 500$ лет требуется специальное гидрологическое обоснование.

Кривую обеспеченности часто проводят ниже выдающегося максимума и тогда его "сдвигают" на кривую, получая повторяемость N_1 (вероятность $P = 1/N_1$). При этом иногда получается повторяемость, равная тысячам и десяткам тысяч лет. Такие периоды не реальны.

Если получается $N_1 >$ 500 лет и нельзя это обосновать, расчет подлежит пересмотру.

Пример 10. В работе [15] был обработан ряд по р.Чир (пример 3 к п.2.5.) в двух вариантах: с включением и без включения выдающегося расхода. Когда построили кривую обеспеченности без учета выдающегося расхода и нанесли на нее этот выдающийся расход, он получил повторяемость 70 000 лет.

То же самое было сделано в указанной работе по р.Арканзас (пример 4 к п.2.5) и здесь выдающийся расход получил повторяемость 1 млн. лет.

Оставим в стороне вопрос о том, что исключение из ряда выдающегося расхода вообще неправомерно. Допустим, что это возможно. И тогда придется признать, что оперировать такими повторяемостями, как 70 000 или 1 млн.лет, не реально. Имея 40–60 лет наблюдений, такие периоды повторяемости недопустимы.

2.12. Значение первого (и второго) выдающегося максимума наносится на клетчатку с той вероятностью, которая определена в соответствии с п.2.9.

Значения последующих членов ряда наносятся на клетчатку в соответствии с вероятностью P, определенной по формуле

$$P\% = \frac{m}{n+1} 100. \qquad (9)$$

2.13. Параметры Q_0, C_v и C_s кривой обеспеченности определяются графоаналитическим методом, а также методами моментов и наибольшего правдоподобия.

Предпочтительным является графоаналитический метод. Применение методов моментов и наибольшего правдоподобия для рядов с выдающимся расходом не вполне правомерно, так как в ранжированной статистической последовательности между выдающимся расходом и последующими членами ряда имеется разрыв (п.2.12).

2.14. При определении Q_0, C_v и C_s расчетной кривой обеспеченности графоаналитический способ [1] применяется следующим образом.

При использовании биноминальной кривой распределения коэффициент асимметрии C_s определяется как функция коэффициента скошенности S_p, вычисляемого по формуле

$$S_p = \frac{Q_p + Q_{100-p} - 2Q_{50}}{Q_p - Q_{100-p}}, \qquad (10)$$

где Q — расходы, устанавливаемые по эмпирической кривой, проведенной с учетом точек, нанесенных на клетчатку в соответствии с п.2.12 настоящих Рекомендаций.

Среднее квадратическое отклонение

$$\sigma = \frac{Q_p - Q_{100-p}}{\Phi_p - \Phi_{100-p}}, \qquad (11)$$

где $\Phi = f(C_s, P)$ — нормированные отклонения от среднего значения ординат биноминальной кривой обеспеченности.

Средний максимальный расход

$$Q_0' = Q_{50} - \Phi_{50}\sigma. \qquad (12)$$

Коэффициент изменчивости

$$C_v = \frac{\sigma}{Q_0'}. \qquad (13)$$

При использовании трехпараметрического гамма-распределения параметры определяются по графику из работы [4].

Значение P в настоящее время принимается по СН 435-72 [38] равным 5%. Эта вероятность, по-видимому, принята исходя из того, что ряд имеет $\approx$ 20 лет и что первый расход, помещенный на клетчатку, имеет вероятность около 5%.

Предлагаемые формулы (10) и (11) учитывают, что в рядах должен быть выдающийся максимум и первый расход будет иметь вероятность $P \leq 1\%$ (п.2.8), а также то, что в настоящее время имеется большое количество рядов наблюдений продолжительностью 40–50 лет и более.

Поэтому в зависимости от длины ряда целесообразно принимать в формуле (10) P = 5%, 2%, 1%. Можно принимать $P \ll 1\%$.

Применительно к биноминальной кривой коэффициент скошенности определяется по формуле

$$S_p = \frac{\Phi_p + \Phi_{100-p} - 2\Phi_{50}}{\Phi_p - \Phi_{100-p}}. \qquad (14)$$

Для одного и того же C_s будут разные S_p в зависимости от P. Можно составить соответствующие таблицы и график. Пример графика дан на рис. 8.

Эмпирическая сглаженная кривая, с которой снимаются точки, например, Q_1, Q_{50} и Q_{99} проводится:

через точку $Q_{50\%}$, положение которой никаких сомнений не вызывает;

через точки в районе $Q_{99\%}$, которые не имеют большого разброса и мало влияют на положение кривой.

Что касается верхней ветви, то проведение к кривой на этом участке достаточно сложно. Первая точка, согласно п.2.8. настоящих Рекомен-

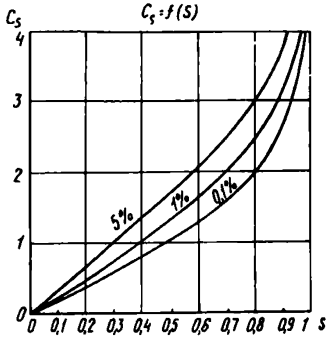


Рис. 8. График зависимости

даций, имеет $P \leqslant 1\%$. Если последующие за ней точки ложатся на плавную кривую, то проведение кривой сомнений не вызывает. Если же первая точка лежит выше этой плавной кривой, то следует несколько поднимать кривую вверх (см. примеры).

Большим преимуществом графоаналитического метода является возможность придать кривой обеспеченности наиболее целесообразно выбранный вид. Аналитические методы этим свойством не обладают.

Пример 11. Построение кривых обеспеченности двумя методами. Река Дунай у Вены. Площадь бассейна 102 000 км^2. Выдающийся расход 1501 года – 14 000 м^3/с. Таблица расходов дана в прил. 5.

1. Расчет по существующей методике с применением метода моментов.

Параметры определены с учетом того, что выдающийся расход 1501 г. с тех пор не превышался, т.е. его повторяемость 500 лет. Соответствующая кривая обеспеченности дана на рис. 9,*а*. Как видно, кривая идет ниже первых четырех расходов и, в частности, много ниже расхода 1501 г. Вероятность этого расхода по кривой получается равной 0,05%, или один раз в 2000 лет. Принятие такой вероятности не соответствует требованиям строительной гидрологии, поскольку достоверно известно, что расход 1501 г. не превышался 500 лет. Поэтому кривую в данном случае следует проводить через эту точку.

2. Расчет графоаналитическим методом.

Проводим эмпирическую кривую с учетом того, что первая точка имеет координаты $P = 0{,}2\%$ и $Q = 14\,000$ м^3/с. Экстраполируем ее на незначительную величину и принимаем в формуле (10) $P = 0{,}1\%$. Тогда $P_{0{,}1\%} = 14\,800$; $P_{50} = 5\,200$; $P_{99{,}9} = 2\,400$.

Коэффициент скошенности

$$S_{0{,}1\%} = \frac{14800 + 2400 - 2 \times 5200}{14800 - 2400} = \frac{6800}{12400} = 0{,}55.$$

По графику на рис. 9 получаем

$$C_S = 1{,}15.$$

Тогда $\Phi_{0{,}1} = 4{,}74$, $\Phi_{50} = -0{,}18$, $\Phi_{99{,}9} = -1{,}63$.

Среднее квадратическое отклонение

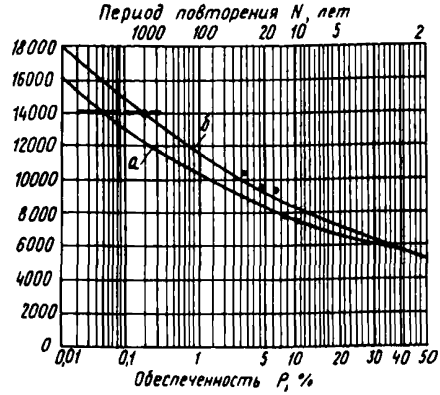


Рис. 9. Кривые обеспеченности по р. Дунай-Вена:
а – метод моментов; *б* – графоаналитический метод

$$\sigma = \frac{14800 - 2400}{4{,}74 + 1{,}63} = 1950;$$

$$Q_0' = 5200 + 0{,}18 \times 1950 = 5550;$$

$$C_v = \frac{1950}{5550} = 0{,}35; \quad C_s/C_v = 3{,}3.$$

Кривая изображена на рис. 9,*б*; она проходит через точку, изображающую расход 1501 г. и сомнений не вызывает.

2.15. Определение коэффициента асимметрии C_s методом моментов следует основывать на исследовании зависимости C_s от C_v, выполненном в работе [8]. Для максимальных расходов формула имеет вид

$$C_s = 2{,}08(1 + \lg C_v). \tag{15}$$

Определим отношение

$$C_s/C_v = 2{,}08\frac{1 + \lg C_v}{C_v}. \tag{16}$$

Для определения максимума отношения C_s/C_v возьмем производную и приравняем ее нулю;

$$(C_s/C_v)' = 2{,}08\frac{0{,}434 - (1 + \lg C_v)}{C_v^2} = 0.$$

Получим $\lg C_v = -0{,}566$; $C_v = 0{,}27$, тогда $C_s = 0{,}90$ и $C_s/C_v = 3{,}33$.

Зависимости (15) и (16) даны на рис. 10.

Из графика следует:

отношение C_s/C_v убывает с возрастанием C_v. Только на участке $0{,}1 < C_v < 0{,}27$ отношение C_s/C_v может возрастать, однако этот участок при расчетах максимального стока практически не используется;

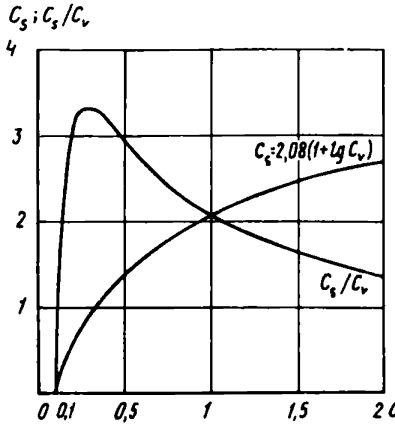


Рис. 10. График функций: $C_s = f(C_v)$; $C_s/C_v = \varphi(C_v)$

максимальное значение отношения $(C_s/C_v)_{max} = 3{,}3$. Принятие отношения C_s/C_v больше указанной величины возможно только при специальном обосновании.

В работе [9] авторы предложили несколько иную формулу

$$C_s = -0{,}80\, C_v^2 + 3{,}22\, C_v - 0{,}18. \qquad (17)$$

Если для этой формулы проделать такую же операцию с нахождением производной, то график новой кривой получается весьма близким к прежнему и здесь не приводится. Обе формулы выведены для обобщенной кривой.

При расчетах следует указывать, из какого периода времени вычислен коэффициент C_s, например C_s 1924–1970 означает, что использован период 1924–1970 гг.

Пример 12. Река Неман у г.Смалининкай.

Ряд является уникальным по продолжительности наблюдений, ведущихся с 1812 г.

Ряд заимствован из "Трудов гидрологической конференции Балтийских стран", Л., 1933, и частично из литовской летописи.

Последовательно увеличивая длину ряда на 10 лет, получаем до 1969 г. 16 рядов. Результаты их статистической обработки даны в табл. 3а.

Выводы из таблицы:

1) Средний расход Q_0 обнаруживает тенденцию к росту, своего рода трэнд.

2) Неожиданной является устойчивость отношения C_s/C_v. Можно считать, что уже через 30 лет наблюдений это отношение получило свое расчетное значение. Метод ежегодного изменения дает возможность извлечь дополнительную информацию о тенденциях изменения C_s. Пример расчета по р.Аракс (п.2.6) подтверждает возможность подсчета C_s за короткие сроки (20–30 лет).

3) Коэффициент C_v на сегодня равен $C_v = 0{,}44$, что является заниженной величиной для строительного проектирования, так как при появлении выдающегося паводка он возрастет. Для расчетов следует

принять C_v = 0,50, т.е. тот коэффициент, который был после 50 лет наблюдений.

2.16. Определение коэффициента изменчивости C_v осуществляется методом итерации (подбора).

По построенным графикам ежегодного изменения C_v (п.2.5) для различных повторяемостей N_1 первого в ряду максимума определяются значения C_v; при этом не учитывается:

$N_1 >$ 100 лет, иначе ряд ограниченно пригоден для определения параметров (п. 2.8);

$N_1 <$ 500 лет и что можно принять $N_1 >$ 500 лет только в результате специального гидрометеорологического обоснования (п.2.11);

народнохозяйственная значимость сооружения (в ответственных случаях).

Значение коэффициента C_v, определяемое по методу моментов, как правило, занижается. Отрицательное смещение является здесь второстепенной причиной. Главной причиной является недостаточность информации — отсутствие выдающихся величин. Расчетные кривые обеспеченности располагаются ниже первых одного–пяти расходов. Приблизить кривую к этим точкам стремятся при помощи преувеличения значений отношения C_s/C_v, доходящих до 4–6 и даже до 8,74 [14]. Преувеличенные отношения C_s/C_v необоснованно завышают расходы малой вероятности, особенно P = 0,01%.

Определение расчетного значения C_v:

является наиболее трудной и ответственной задачей расчета;

не должно производиться по какому-то случайному периоду, имеющемуся на день расчета;

приближенно, так как оно каждый год меняется.

При выполнении расчетов необходимо указывать период, из которого вычислена величина C_v, например C_v 1924–1968.

Таблица 3а

Значения параметров рядов, последовательно удлиняющихся на 10 лет

Река Неман у г.Смалининкай

Годы	Число лет от начала наблюдений	Q_0	C_v	C_s	C_s/C_v
1812 – 1821	10	1871	0,24	0,95	3,9
1812 – 1831	20	2332	0,65	2,20	3,4
1812 – 1841	30	2486	0,60	1,50	2,5
1812 – 1851	40	2457	0,56	1,50	2,7
1812 – 1861	50	2500	0,50	1,48	3,0
1812 – 1871	60	2591	0,50	1,38	2,8
1812 – 1881	70	2550	0,48	1,46	3,0
1812 – 1891	80	2584	0,49	1,34	2,7
1812 – 1901	90	2599	0,46	1,35	2,9
1812 – 1911	100	2617	0,45	1,32	2,9
1812 – 1921	110	2606	0,44	1,32	3,0
1812 – 1931	120	2612	0,43	1,26	2,9
1812 – 1941	130	2636	0,42	1,17	2,8
1812 – 1951	140	2654	0,43	1,14	2,6
1812 – 1961	150	2661	0,44	1,22	2,8
1812 – 1969	158	2634	0,44	1,25	2,8

Пример 13. Определение коэффициента C_v по ряду на реке Чир у станицы Обливской (см. пример 3).

Расход 3 200 имеет модульный коэффициент $K = \frac{3200}{400} = 8$ и в три раза превышает следующий за ним расход (3200 и 1100). Вклад этого расхода в сумму $\Sigma (K_i - 1)^2$ настолько велик, что C_v не обнаруживает тенденции к снижению.

После выдающегося расхода наблюдаются в основном низкие расходы (меньше средней величины), что также противодействует снижению C_v.

Подбираем коэффициент C_v (табл. 4) при величине $K_1 = 8$ возможны следующие варианты значений C_v при $C_s/C_v = 2$. (По-видимому, этот способ был впервые применен в работе [6].)

Для строительного проектирования приемлемыми являются варианты I и III со значениями $C_v = 1{,}37$ и $C_v = 1{,}26$. Для более капитального сооружения следует назначить более осторожное значение $C_v = 1{,}37$, для менее капитального $C_v = 1{,}26$. Если нет необходимости столь детально дифференцировать C_v по капитальности сооружений, то следует назначить [11] расчетное значение, приняв, например, $C_v = 1{,}30$.

Таблица 4

Подбор коэффициента C_v

Варианты	C_v	C_s/C_v	N_1 лет
I	1,37	2	250
II	0,90	2	10 000
III	1,26	2	500

2.17. При выполнении расчетов следует анализировать структуру ряда (набор чисел ранжированной последовательности) и, в частности, формирование суммы $\Sigma (K_i - 1)^2$.

При анализе структуры нескольких рядов необходимо обеспечить их сравнимость. Для этого следует учесть, что параметры Q_0, C_v и C_s не изменятся, если все члены будут умножены на постоянную величину, т.е. вместо x_1 будет $x_1 K$, вместо $x_2 - x_2 K$ и т.д. Рекомендуется все цифровые значения приводить к интервалу 1—100 (см. пример 15).

Пример 14. О структуре чисел, составляющих ряд максимальных расходов. Как известно,

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n} (K_i - 1)^2}{n - 1}}. \qquad (18)$$

Перепишем формулу (18), выделив составляющую наибольшего расхода и пренебрегая единицей в сравнении с n:

$$C_v = \sqrt{\frac{(K_1 - 1)^2 + \sum_{i=2}^{n} (K_i - 1)^2}{n}} = \sqrt{\frac{\alpha + \beta}{n}}, \qquad (19)$$

где $\alpha = (K_1 - 1)^2$; $\beta = \sum_{i=2}^{n} (K_i - 1)^2$.

Посмотрим, как формируется сумма $\alpha + \beta$. В табл. 5 приведены соответствующие величины, причем вклад первого расхода $(K_1 - 1)^2 = \alpha$ выделен отдельно. Как видим, доля первого расхода колеблется для данных примеров от 0,37 до 0,81.

Остановимся на роли срединных членов. Их влияние велико при формировании Q_0, где они являются главной составляющей. Что же касается коэффициента C_v, то здесь роль срединных членов незначительна.

Для выяснения механизма формирования величины C_v выделим те срединные члены, которые практически не влияют на величину C_v.

Таблица 5

Формирование среднего квадратического отклонения

Створ	C_v	α	$\alpha+\beta$	$\frac{\alpha}{\alpha+\beta}$
Арканзас (США)	1,26	81,0	100	0,81
Акбура	0,55	8,5	12,3	0,69
Чир	1,35	49,0	71	0,69
Джемс (США)	0,61	11,2	21,6	0,52
Тобол	1,10	31,5	77,5	0,41
Аракс	0,40	3,0	8,0	0,37
Сулак	0,37	2,2	5,4	0,41

Границей этой срединной группы примем те члены ранжированного ряда, которые отличаются от среднего не более чем на 30%, т.е. их модульные коэффициенты K_i находятся в пределах $1{,}3 \geqslant K_i \geqslant 0{,}7$. Тогда квадрат отклонения $(K_i - 1)^2$ не будет превышать

$$(K_i - 1)^2 \leq (\pm 0{,}3)^2 = 0{,}09. \qquad (20)$$

Поясним сказанное расчетом. Возьмем ряд на р.Чирчик, приведенный в прил. 6. Ряд содержит наблюдения за $n = 64$ года, средний максимальный расход $Q_0 = 858$ м^3/с.

Применяя критерий $1{,}3 \geqslant K_i \geqslant 0{,}7$, получим границы 1115 – 600 м^3/с. Тогда ряд будет иметь вид:

1960 1
1600 1
1270 – 1115 6
1115 – 600 51
600 – 440 5

Итого 64

Подсчитаем коэффициент изменчивости по 13 членам из 64:

$$C_v = \sqrt{\frac{(2{,}28-1)^2+(1{,}87-1)^2+(1{,}39-1)^2\cdot 6+(0{,}60-1)^2 5}{63}} =$$

$$= \sqrt{\frac{1{,}64+0{,}76+0{,}15\cdot 6+0{,}16\cdot 5}{63}} = \sqrt{0{,}065} = 0{,}26.$$

Результаты аналогичных подсчетов даны в табл. 6. Как видно, число отбрасываемых членов весьма различно: на Чирчике 51 из 64, т.е. 80%; на Араксе 32 из 49 – 65%; на Чире отброшено всего 7 из 39 – 18%.

В двух последних графах табл. 6 даны величины C_v для всего ряда и для ряда после исключения срединных членов. Как видно, величина C_v практически не изменилась.

Таблица 6

Число членов ряда, влияющих на величину C_v

Створ	Число лет наблюдений n	Q_0, м³/с	Пределы $(1{,}3-0{,}7)Q_0$	Число членов n_1 вне пределов	Значение C_v при n	Значение C_v при n_1
Аракс	49	1030	720 – 1340	17	0,40	0,39
Чир	39	404	300 – 500	32	1,35	1,35
Чирчик	64	858	600 – 1115	13	0,26	0,26
Джемс (США)	60	1146	800 – 1490	27	0,61	0,60
Арканзас (США)	63	282	200 – 370	27	1,26	1,24

Можно сделать вывод, что при подсчете параметра C_v во многих случаях большая часть срединных членов не формирует его величину. Число таких членов среди рассмотренных рядов доходит до 80%. Табл.6 показывает, что в одном ряду 51 член из 64 не оказывает влияния на величину C_v, в другом ряду таких членов всего 7 из 39.

Инж. Е.Ф.Чекаловский предложил следующую формулу для приближенного определения C_v:

$$C_v = \frac{R \cdot V}{(n-7)^m},$$

где R, m — параметры, зависящие от асимметрии; $V = \sum_{1}^{3} K_i - \sum_{n-2}^{n} K_i$ — разница сумм трех первых и трех последних модульных коэффициентов; n — число членов ряда.

При C_s/C_v от 0 до 4 уравнение принимает вид

$$C_v = \frac{0{,}22V}{\sqrt[4]{n-7}}.$$

Из всех приведенных примеров можно видеть, насколько индивидуален набор величин, составляющих каждый ряд наблюдений.

Пример 15. При анализе структуры нескольких рядов выразим их цифровые значения так, чтобы они разместились в промежутке 1 – 100.

Приведение к одному порядку величин способствует анализу структуры при определении вероятности выдающихся расходов (табл. 7).

2.18. Рекомендуются следующие приемы анализа параметров кривой обеспеченности.

Для ежегодных максимумов:

каковы различия в величинах первых одного — пяти членов ряда;

отвечает ли ряд требованиям расчетного (п.2.6).

Таблица 7

Первые расходы, приведенные к одному порядку величин

Чир	Арканзас	Дунай	Аракс
32,0	28,8	14,0	28,0
11,0	8,40	10,5	18,2
10,4	7,16	9,60	16,1
8,92	4,76	9,42	15,9
8,43	4,61	7,98	15,7

Для средних максимумов:

каковы тенденции изменения среднего максимума, есть ли трэнд.

Для коэффициента C_v:

какие перепады величины C_v наблюдаются при появлении выделяющихся максимумов, как изменяется C_v после этого максимума – удерживается ли на том же уровне (р. Чир), убывает ли (р. Арканзас);

насколько значительны указанные перепады и затухают ли они по мере появления новых выделяющихся максимумов;

на р. Чирчик (пример 8) такие перепады незначительны и имеют форму зубцов; следует анализировать, в каком месте на протяжении между зубцами целесообразно выбрать расчетное C_v.

Надо особенно подчеркнуть роль коэффициента изменчивости C_v при построении расчетной кривой обеспеченности; среднее значение Q_0, как известно, достаточно устойчиво, а коэффициент C_s есть функция C_v. Таким образом, роль C_v является решающей.

2.19. Погрешность параметров Q_0 и C_v определяется по формулам Указаний СН 435-72. В этих формулах длину n следует принимать равной N_1 повторяемости выдающегося расхода, определенной в соответствии с п. 2.9.

Указанным способом погрешности определяют для всех трех методов – графоаналитического, моментов и наибольшего правдоподобия.

3. ПОИСК И АНАЛИЗ ГИДРОМЕТЕОРОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

3.1. Экстремальные значения гидрометеорологических характеристик следует определять:

при инженерных изысканиях для строительства, выполняемых проектно-изыскательскими организациями;

при стационарных наблюдениях на станциях и постах, независимо от их ведомственной подчиненности.

Все проектно-изыскательские организации должны рассматривать задачу определения экстремальных характеристик и их повторяемости как одну из главнейших (п. 1.1).

Желательно, чтобы Государственный комитет по гидрометеорологии и контролю природной среды дал соответствующие указания своим станциям и постам.

Иногда в изучаемом районе не удается сразу обнаружить экстремальную величину. Несмотря на это необходимо производить настойчивые поиски, так как нельзя доказать, что в данном пункте экстремум вообще невозможен. (Разумеется, величина экстремума будет зависеть от изменчивости, присущей данному пункту.)

Поэтому отсутствие экстремума в данном пункте означает только то, что на сегодня информация не обеспечивает требования проектирования. Материалы изысканий и стационарных многолетних наблюдений, в которых отсутствуют указанные данные, должны быть признаны ограниченно пригодными для определения расчетных максимальных расходов.

3.2. В программу работ всех гидрологических и метеорологических станций и постов, независимо от ведомственной подчиненности, должен входить сбор сведений об экстремальных значениях гидрометео-

рологических характеристик, наблюдавшихся в прошлом, в том числе и отдаленном ("исторические" экстремумы).

Следует организовывать разносторонние и инициативные поиски и изучение литературных, архивных и летописных источников. Описания таких явлений обычно имеются в специальной литературе, в летописях и погодных записях, в городских и бывших монастырских архивах, краеведческих музеях, в старых журналах и газетах [5, 16].

Такие данные обнаруживаются на старинных зданиях, у местных старожилов, по следам на местности и т.д.

Особенно большими возможностями по сбору и поискам таких данных располагают станции и посты, существующие много лет.

Для строительной гидрологии под термином "исторический" экстремум понимают период с XVII в. и позднее [10].

Собранные данные должны тщательно проверяться, анализироваться, сопоставляться с данными за период наблюдений и с данными других станций. Следует учитывать также изменения подстилающей поверхности водосбора в связи с необходимостью производства хозяйственных работ.

3.3. Выполнение наблюдений и особенно измерений в период экстремальных явлений сопряжено с большими трудностями. Часто непосредственные измерения невозможны как по гидрологическим условиям (затопление территории, штормовое волнение), так и по метеорологическим (ураганный ветер, ливневые осадки).

Поэтому экстремальные явления чаще являются "неизмеряемыми" или, во всяком случае, измеряемыми с низкой точностью. В Наставлениях Госкомгидромета должно быть подчеркнуто, что такие наблюдения, несмотря на низкую точность, представляют большую ценность.

3.4. В Наставлениях Госкомгидромета желательно сказать, что на гидрологических и метеорологических станциях и постах при наблюдении экстремальных явлений должны использоваться любые возможности для получения прямых или косвенных данных. Если нет возможности приблизиться к водомерному посту, надо иметь заранее приготовленный знак на ближайшем возвышении или в любом доступном при наводнении месте. Если нельзя применить поплавки для измерения скорости течения в реке, надо измерять скорость по льдинам, карчам или другим плывущим предметам и т.д. Основная роль принадлежит здесь визуальным наблюдениям.

Частота наблюдений должна быть максимально возможной; такие явления, как внезапные паводки, катастрофические нагоны, ливни, должны наблюдаться непрерывно. В Наставлениях гидрометстанциям и постам следует сказать, что наблюдение экстремальных значений – это аврал, когда мобилизуются все силы и средства.

Все подобные рекомендации должны сопровождаться требованием соблюдать технику безопасности.

3.5. Для определения экстремальных гидрометеорологических характеристик следует собирать данные за максимально возможный период времени. Дать здесь какие-то нормативные периоды не представляется возможным.

Иногда при формировании рядов наблюдений в различных пунктах стремятся сохранять для них единый календарный период (этот прием широко применяется в метеорологии). Надо учесть, что экстремальные

явления проявляются в каждом пункте индивидуально, в какое-то свое время, поэтому вряд ли надо стремиться к единому календарному периоду.

3.6. При обработке данных многолетних наблюдений следует анализировать перерывы в наблюдениях (имеется в виду отсутствие данных за отдельные дни, месяцы, годы). В ряде случаев такие перерывы бывают вызваны экстремальными явлениями, помешавшими наблюдениям.

Если есть предположение, что перерыв был вызван такими явлениями, следует принять все меры для восстановления величины экстремума, хотя бы и с невысокой степенью точности.

3.7. В публикуемых организациями Госкомгидромета ежегодниках, ежемесячниках, Ресурсах поверхностных вод, климатических справочниках и других подобных изданиях необходимо приводить подробный ход вычисления или восстановления экстремальных характеристик. Имея такие данные, организации, использующие материалы, будут иметь возможность хотя бы приближенно оценить достоверность этих величин.

3.8. В программу работ стационарных гидрологических станций и постов необходимо включить составление планов потенциально затопляемых территорий при разливах рек и при штормовых нагонах на мелководных морях.

Приложение 1 (к примеру 3)

РЕКА ЧИР – СТ. ОБЛИВСКАЯ
Максимальные расходы воды весеннего половодья

№ п п.	Год	Q, м^3/с	№ п.п.	Год	Q, м^3/с
1	1924	1040	22	1952	353
2	25	185	23	53	892
3	26	843	24	54	22
4	1932	390	25	55	290
5	33	160	26	56	3200
6	34	324	27	57	155
7	35	56	28	58	574
8	36	190	29	59	105
9	37	264	30	1960	151
10	38	36	31	61	95
11	39	83	32	62	262
12	1940	1100	33	63	790
13	41	388	34	64	292
14	42	662	35	65	249
15	1945	69	36	66	96
16	46	565	37	67	193
17	47	348	38	68	484
18	48	283	39	69	42
19	49	26	40	1970	175
20	1950	44	41	71	279
21	51	327	42	72	25
			43	73	45
			44	74	297
			45	1975	26

Приложение 2 (к примеру 4)

РЕКА АРКАНЗАС – ПУЭБЛО (США)
Максимальные расходы воды дождевых паводков

№ п п.	Год	Q, м^3/с	№ п п.	Год	Q, м^3/с
1	1895	171	23	17	190
2	96	461	24	1918	269
3	97	120	25	19	176
4	98	210	26	1920	238
5	99	246	27	21	2880
6	1900	213	28	22	248
7	01	311	29	23	716
8	02	840	30	24	182
9	03	294	31	25	138
10	04	238	32	26	126
11	05	224	33	27	347
12	06	308	34	28	218
13	07	185	35	29	294
14	08	213	36	1930	169
15	09	162	37	31	99,6
16	1910	235	38	32	122
17	11	104	39	33	242
18	12	294	40	34	72,2
19	13	213	41	35	276
20	14	210	42	36	314
21	15	476	43	37	260
22	16	249	44	38	314

№ п п.	Год	Q, м³/с	№ п.п.	Год	Q, м³/с
45	39	81,5	55	49	358
46	1940	108	56	1950	244
47	1941	212	57	1953	117
48	42	288	58	54	286
49	43	93,0	59	55	311
50	44	168	60	56	244
51	45	260	61	57	254
52	46	197	62	1959	69,0
53	47	204	63	1960	148
54	48	305			

Приложение 3 (к примеру 5)

РЕКА АРАКС – с. КАРАДОНЛЫ
Максимальные расходы воды

№ п п.	Год	Q, м³/с	№ п п.	Год	Q, м³/с
1	1912	1170	24	1943	851
2	13	995	25	44	908
3	14	880	26	45	650
4	15	1610	27	46	1128
5	16	870	28	47	557
6	17	930	29	48	1041
			30	49	916
7	1925	357	31	1950	798
			32	51	576
8	1927	800	33	52	1369
9	28	1120	34	53	874
10	29	1140	35	54	1360
11	1930	390	36	55	602
12	31	829	37	56	1346
13	32	986	38	57	1009
14	33	888	39	58	844
15	34	1190	40	59	973
16	35	830	41	1960	886
17	36	1079	42	61	371
18	37	1031	43	62	457
19	38	824	44	63	1267
20	39	899	45	64	1591
21	1940	1512	46	65	927
22	41	1191	47	66	1045
23	42	1568	48	67	1420
			49	68	1820
			50	69	2800

Приложение 4 (к примеру 7)

РЕКА СОЧИ – с. ПЛАСТУНКА
Максимальные расходы воды дождевых паводков

№ п п.	Год	Q, м³/с	№ п п.	Год	Q, м³/с
1	1928	69	5	32	248
2	29	106	6	33	334
3	1930	100	7	34	162
4	31	235	8	35	112

№ п.п.	Год	Q_i, м³/с	№ п.п.	Год	Q_i, м³/с
9	36	113	31	58	367
10	37	245	32	59	141
11	38	196	33	1960	253
12	39	246	34	61	186
13	1940	253	35	62	245
14	41	360	36	63	208
15	42	195	37	64	213
16	43	332	38	65	213
17	44	277	39	66	436
18	45	171	40	67	216
19	46	314	41	68	140
20	47	201	42	69	300
21	48	207	43	1970	277
22	49	172	44	71	298
23	1950	335	45	72	349
24	51	281	46	73	262
25	52	387	47	74	270
26	53	200	48	75	342
27	1954	416	49	76	177
28	55	224	50	77	341
29	56	423	51	1978	612
30	57	272			

Приложение 5 (к примеру 11)

РЕКА ДУНАЙ – ВЕНА (АВСТРИЯ)
Максимальные расходы воды

№ п.п.	Год	Q, м³/с	№ п.п.	Год	Q, м³/с
1	1501	14000	29	1920	7980
2	1893	3110	30	21	4440
3	94	3170	31	22	4640
4	95	4440	32	23	7460
5	96	5360	33	24	5820
6	97	9420	34	25	5990
7	98	3150	35	26	6020
8	99	10500	36	27	4300
9	1900	4510	37	28	6060
10	01	3790	38	29	3300
11	02	4620	39	1930	4880
12	03	6130	40	31	4590
13	04	3700	41	32	5280
14	05	3770	42	33	4410
15	06	5940	43	34	3170
16	07	5670	44	35	4970
17	08	4550	45	36	4940
18	09	5460	46	37	4640
19	1910	5850	47	1938	5540
20	11	4870	48	39	5760
21	12	6060	49	1940	6500
22	13	4780	50	41	5440
23	14	5750	51	42	4950
24	1915	5740	52	1948	6380
25	16	4620	53	49	6550
26	17	6090	54	1950	3060
27	18	5820	55	51	5550
28	19	5010	56	1952	5160

№ п п.	Год	Q, м^3/с	№ п п.	Год	Q, м^3/с
57	53	4400	61	57	6300
58	54	9600	62	58	6180
59	55	6400	63	59	6900
60	56	6380	64	1960	4360

Приложение 6 (к примеру 14)

Р. ЧИРЧИК – ст. ХОДЖИКЕНТСКАЯ

Максимальные расходы воды

№ п.п.	Год	Q, м^3/с	№ п.п.	Год	Q, м^3/с
1	1900	1040	33	32	732
2	01	672	34	33	930
3	02	1240	35	34	1260
4	03	1000	36	35	765
5	04	750	37	36	805
6	05	898	38	37	727
7	06	665	39	38	840
8	07	889	40	39	767
9	08	1270	41	1940	642
10	09	635	42	41	930
11	10	818	43	42	1140
12	11	860	44	43	738
13	12	794	45	1944	560
14	13	808	46	45	775
15	14	1600	47	46	797
16	15	778	48	47	573
17	16	621	49	48	734
18	17	440	50	49	966
19	18	810	51	1950	698
20	19	770	52	51	684
21	20	708	53	52	969
22	21	1095	54	53	873
23	1922	822	55	54	872
24	23	860	56	1955	826
25	24	824	57	56	724
26	25	838	58	57	578
27	26	884	59	58	1040
28	27	483	60	59	1960
29	28	1130	61	1960	1160
30	29	776	62	61	614
31	1930	875	63	62	755
32	31	1010	64	63	834

ЛИТЕРАТУРА

1. Алексеев Г.А. Графоаналитические способы определения и приведения к длительному периоду наблюдений параметров кривых распределения. Л.: Гидрометеоиздат. Труды ГГИ, 1960, вып. 73, с. 90–140.

2. Артемьева Н.П., Лившиц И.М. Применение статистических критериев для исключения резко выделяющихся членов гидрологических рядов. Респ. межвед. сб. "Водное хозяйство Белоруссии". Минск, Гидрометеоиздат, 1972, вып. 2, с. 5–16.

3. Бликштейн С.М. Об эмпирической вероятности превышения гидрологических величин. Труды Гипродорнии, 1975, вып. 11, с. 98–104.

4. Блохинов Е.Г. Распределение вероятностей величин речного стока. М., Наука, 1974, 169 с.

5. Болдаков Е.В. Переходы через водотоки, М., Транспорт, 1965, 424 с.

6. Болдаков Е.В., Журавлев М.М. Определение вероятности паводка, обнаруженного при изысканиях. – В кн.: Переходы через водотоки. М., Транспорт, 1973, с. 128–133.

7. Вентцель Е.С. Теория вероятностей. 1969, Наука, 576 с.

8. Евстигнеев В.М., Калинин Г.П., Никольская Н.В. Основы расчета естественных колебаний стока по обобщенным кривым обеспеченности. – В кн.: Исследование и расчеты речного стока, 1970, изд-во МГУ, с. 6–97.

9. Евстигнеев В.М., Жук В.А., Ретеюм К.Ф., Чуткина Л.П. Обобщение материалов наблюдений при вероятностных расчетах характерных расходов воды. – В сб.:Взаимодействие поверхностного и подземного стока, 1976, вып. 4, изд-во МГУ, 432 с.

10. Зайков Б.Д. Высокие половодья и паводки на реках СССР за историческое время. Л., Гидрометеоиздат, 1954, 136 с.

11. Залесский Ф.В. О построении расчетной кривой обеспеченности максимальных расходов воды. Метеорология и гидрология, 1975, № 7, с. 108–112.

12. Залесский Ф.В. О расчетных параметрах кривой обеспеченности максимальных расходов воды рек. Труды ПНИИИС, 1977, вып. 46, с. 84–96.

13. Залесский Ф.В. Об учете выдающихся экстремумов речного стока при построении кривой обеспеченности. Труды ПНИИИС, 1978, вып. 58, с. 78–84.

14. Каталог по максимальному дождевом стоку рек СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1972, 132 с.

15. Ковалев Л.М. О расчетной вероятности максимальных расходов воды. Гидротехническое строительство, 1971, № 11, с. 39–42.

16. Коровин В.И., Галкин Г.А. Генетическая структура наводнений и паводков на реках Северо-Западного Кавказа за 275-летний период. Изв. АН СССР, сер. геогр., 1979, № 3, с. 90–94.

17. Коуден Д. Статистические методы контроля качества, пер. с англ. М., Физматгиз, 1961.

18. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Расчеты речного стока. М.–Л., 1934, Госстройиздат.

19. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. О методике совместного анализа наблюдений за стоком гидрологически сходных бассейнов. Труды ГГИ, вып. 180. Л., Гидрометеоиздат, 1970, с. 3–29.

20. Крицкий С.Н. О функциях распределения вероятностей, применяемых для описания колебаний речного стока. Водные ресурсы, 1975, № 5, с. 86–88.

21. Крицкий С.Н. О некоторых приемах вероятностного анализа многолетних колебаний речного стока. – В сб.: Проблемы изучения и комплексного использования водных ресурсов. Наука, 1978, с. 15–44.

22. Мамедов М.А. Об эмпирических формулах обеспеченности, применяемых в гидрологических расчетах. Метеорология и гидрология, 1978, № 2, с. 66–71.

23. Материалы по максимальному стоку талых вод рек СССР. Л., Гидрометеоиздат, 1967, 196 с.
24. Перевозников Б.Ф. Расчеты максимального стока при проектировании дорожных сооружений. М., Транспорт, 1975, 304 с.
25. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 10, Верхне-Волжский р-н, книга 1, М., Гидрометеоиздат, 1973, 476 с.
26. Ресурсы поверхностных вод СССР, том 11, вып. 2, Средний Урал и Приуралье. Л., Гидрометеоиздат, 1967, 320 с.
27. То же. Л., Гидрометеоиздат, 1975, 288 с.
28. Рождественский А.В. Оценка точности кривых распределения гидрологических характеристик. Л., Гидрометеоиздат, 1977, 272 с.
29. Рождественский А.В., Чеботарев А.И. Статистические методы в гидрологии. Л., Гидрометеоиздат, 1974, 424 с.
30. Руководство по расчету элементов гидрологического режима в прибрежной зоне морей и в устьях рек при инженерных изысканиях. М., Гидрометеоиздат, 1973, 536 с.
31. Сархан А.Е., Гриберг Б.Г. Введение в теорию порядковых статистик, пер. с англ. М., Статистика, 1970, 414 с.
32. Соколовский Д.Л. Речной сток, Л., Гидрометеоиздат, 1968, 440 с.
33. Сотникова Л.Ф. Совместный анализ наблюдений за максимальным стоком гидрологически однородных бассейнов различных районов СССР. – В сб.: Проблемы изучения и комплексного использования водных ресурсов, Наука, 1978, 45–79.
34. Строительные нормы и правила. Строительные конструкции и основания. Основные положения проектирования, СНиП II-А.10-71, 7 с.
35. Строительные нормы и правила. Нагрузки и воздействия на гидротехнические сооружения (волновые, ледовые и от судов). СНиП II-57-75, 41 с.
36. Трембовельский Г.Т. Максимальные расходы р. Аракс и исторический паводок 1969 г. Гидротехническое строительство, 1971, № 6, с. 29–30.
37. Трембовельский Г.Т. Тезисы докладов и сообщений на 2-й научно-технической конференции Гидропроекта. М., 1972.
38. Указания по определению расчетных гидрологических характеристик. СН 435-72, 19 с.
39. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями, пер. с англ. Изд-во ИЛ, 1956.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Введение 3
1. Основные исходные положения расчетов экстремумов 4
2. Расчеты максимального стока рек при наличии наблюдений 11
3. Поиск и анализ гидрометеорологической информации. 33
Приложение 1 36
Приложение 2 36
Приложение 3 37
Приложение 4 37
Приложение 5 38
Приложение 6 39
Литература 40

ПНИИИС ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
по методике определения экстремальных гидрометеорологических характеристик

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Г.А. Жигачева
Редактор Л.Г. Бальян
Мл. редактор И.А. Баринова
Технический редактор И.В. Берина
Корректор Е.Б. Тотмина

Подписано в печать 6.05.81 Т-17230 Формат 60x90 1/16
Набор машинописный Бумага офсетная 80 г/м^2
Печать офсетная Печ.л. 2,75 Уч.-изд.л. 2,92
Тираж 5000 экз. Изд.№ ХП-9168 Зак.№ 435
Цена 15 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а

Ротапринт ВНИИГиМ, 141800, г. Дмитров, Московская обл., ...ежная, 12

gost.e-ecolog.ru