

НАУЧНЫЕ ДИСКУССИИ
SCIENTIFIC DISCUSSIONS

УДК 556

СУЩЕСТВУЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ
ГИДРОЛОГИЧЕСКИХ РАСЧЁТОВ.

ЧАСТЬ 1

А.Ю. Виноградов^{1,2}, А.М. Догановский³,В.А. Обязов¹

¹ООО НПО «Гидротехпроект», г. Валдай, Россия, ²Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет, г. Санкт-Петербург, Россия, ³Российский государственный гидрометеорологический университет, г. Санкт-Петербург, Россия

gd@npogtp.ru

Аннотация. Статья начинает дискуссию на тему об обоснованности использования методов теории вероятности и математической статистики в гидрологических расчетах. Вся методология современных расчётов стока зиждется на статистической обработке рядов наблюдений. Эти методы указаны в регламентирующих документах (СП 33-101-2003) и, де-факто, являются обязательными к применению при выполнении расчетов для нужд строительного проектирования. Любые другие альтернативные ме-

EXISTING ISSUES OF
HYDROLOGY CALCULATIONS.

PART 1

Alexey Yu. Vinogradov^{1,2},Arkady M. Doganovsky³,Victor A. Obyazov¹

¹Scientific and Industrial Research Association *Gidrotehproekt*, Valday, Russia, ²Saint Petersburg State Forest Technical University, St. Petersburg, Russia, ³Russian State Hydrometeorological University, St. Petersburg, Russia

gd@npogtp.ru

Abstract. The article begins a discussion on the validity of applying methods of probability theory and mathematical statistics in hydrology calculations. The methodology of river flow calculations nowadays is based on the statistical processing of observation datas. These methods are specified in prescriptive documents (such as SR 33-101-2003) and, in fact, are required for using in engineering calculations. Any other alternative methods are not advisable.

тоды таковыми не являются. Однако опыт применения вероятностно-статистических методов в инженерно-гидрометеорологических изысканиях позволяет усомниться в правомерности такой постановки вопроса.

Вызывает сомнение применение к гидрологическим характеристикам, в частности расходу воды, понятия случайной величины. С точки зрения математика, выборка исходных данных, впоследствии используемых при решении статистической задачи, всегда получается в результате эксперимента, проводимого при неизменных условиях. Расход воды зависит от многих природных факторов, часть из которых постоянно меняется. Кроме того, зависимость от некоторых факторов почти функциональна. Например, выпадение осадков вызывает увеличение стока, а отсутствие – уменьшение. Другие факторы, наоборот, достаточно стабильны. Для каждого конкретного водосбора они не случайны и ведут себя вполне предсказуемо.

Представляется недостаточно аргументированной экстраполяция, например, максимальных расходов воды в область редкой обеспеченности. Погрешность измерений (определений) расхода воды в реке возрастает по мере его увеличения. Этому способствует практически невозможное измерение расхода при выходе воды на пойму, при ледоходе, карчеходе и другие. Применяемые в этих случаях методы измерения по экспертной оценке дают ошибку до 25%. Сами же "измеренные" максимальные расходы

However, our experience of using probabilistic-statistical methods in engineering-hydro-meteorological surveys let us to doubt the propriety of such application.

It is questionable whether the concept of a random variable is applied to hydrological characteristics, in particular, to water consumption. In terms of mathematics, the sample input data subsequently used in solving statistical problem is the result of an experiment conducted under unaltered conditions. Water consumption depends on many natural factors, some of which are constantly changing. In addition, dependence on some factors is almost functional. For example, precipitation causes an increase of river flow, and their absence causes a decrease. Other factors, in contrast, are quite stable. For each catchment area, they are not random and behave predictably.

For example, extrapolation of the maximum water flow rate in the region of rare probability, seems insufficiently reasoned. The error of measurements (definitions) of water flow in the river increases as its value increases. This is facilitated by the almost impossible measurement of river flow when water enters the floodplain, while floating of ice, while timber drifting on rivers, etc. The measurement methods used in these cases give an error of up to 25% by experts

отличаются друг от друга на 5-10%. Таким образом, мы имеем не ранжированные значения нескольких наибольших расходов, а некий усредненный максимальный расход, имеющий регулярную повторяемость.

Как следствие, сделан вывод о недостаточной обоснованности применения математического аппарата вероятностно-статистического анализа в гидрологических расчётах.

Ключевые слова: вероятностные методы; гидрологические расчеты; речной сток; повторяемость экстремальных расходов; точность измерения максимальных расходов воды

assessment. Herewith water flows are differs by 5-10%. Thus, we do not have the ranked values of several of the highest water flow, but some average maximum flow with regular repeatability.

As a result, it was concluded that the use of probabilistic-statistical analysis in hydrological calculations is insufficiently justified.

Keywords: probabilistic methods; hydrology calculations; river flow; the frequency of occurrence of extreme water flow; accuracy of measuring maximum water flow

«Природа не делает скачков и не терпит беззакония, хаоса и случайности, ... отклонения кажутся случайными и произвольными лишь для неопытного глаза, лишь для человека, не умеющего читать величайшую из книг – книгу природы...»

В.В. Докучаев

Введение

Одна из основных задач, которые ставит перед собой редакция журнала «Гидросфера. Опасные процессы и явления» – это возрождение дискуссии в научном сообществе. Предлагаемая тема, как нам кажется, достойна всестороннего обсуждения.

С того дня, как нам предложили вести гидрологические расчёты единственным способом – с использованием методов теории вероятностей и математической статистики – прошло почти 80 лет. За прошедшие с тех пор годы было накоплено много данных, наработан богатый опыт их обработки, а также разработаны некоторые альтернативные методы и подходы к расчётам речного стока. Давайте последовательно рассматривать плюсы и минусы существующих и предлагаемых методов.

Приглашаем всех неравнодушных к обсуждению!

Мнение

Гидрология, как научно-техническая дисциплина, создавалась для обеспечения инженерно-строительной деятельности необходимыми расчётами расходов и уровней поверхностных вод суши. Исходя из этого, инженерные гидрологические расчёты представляют собой основной и важнейший раздел гидрологии.

Вся методология современных расчётов стока основана на статистической обработке рядов наблюдений. Основатели этого направления С.Н. Крицкий и М.Ф. Менкель считали, что «статистический анализ данных наблюдений за речным стоком является основным способом гидрологического обоснования при разработке водохозяйственных систем» [Крицкий, Менкель, 1981].

Они писали: «современная наука не располагает возможностями детерминированного прогнозирования речного стока на десятки лет вперёд... Вряд ли такое прогнозирование вообще когда-нибудь станет возможным... Статистические методы – единственный ... способ раскрыть закономерности, проявляющиеся в многолетних колебаниях стока» [Крицкий, Менкель, 1981].

Нам представляется, что дать реальный прогноз изменения речного стока для конкретной реки даже на год вперёд вряд ли возможно, используя только статистические методы. Давайте попробуем оценить правомерность их применения.

Традиционная гидрология, в том числе и в рамках существующего СП 33-101-2003¹, предлагает нам для определения количественной оценки гидрологических характеристик пользоваться «вероятностно-статистическими методами, которые являются основными методами анализа в гидрологических расчётах» [Владимиров, 1990].

Пункт 4.15² к гидрологическим характеристикам относит: расход воды Q , м³/с; объём стока воды W , м³; модуль стока воды q , м³/с·км²; слой стока воды h , мм; уровень воды H , см. Важнейшая и определяющая все остальные – расход воды. В дальнейшем, если не оговорено иное, под термином «гидрологические характеристики» будем понимать именно расход воды, причем, сделаем акцент на максимальных расходах.

Существующая методология основывается на простых положениях. Первое – сами понятия «надёжность» и «риск» имеют вероятностную природу. Второе – это постулат, что чем больше величина расхода воды, тем реже она проявляется.

¹ Свод правил по проектированию и строительству. СП 33-101-2003. Определение основных расчётных гидрологических характеристик / ред. А.В. Рождественского. М.: Госстрой России, 2004. 73 с.

² Там же

В рамках такой методологии расчётный расход воды регламентируется вероятностью превышения такового для каждого вида строительства, устанавливаемой нормативными документами, утверждаемыми Госстроем России в зависимости от уровня ответственности сооружений (п. 4.8) ³. Например, согласно СП 58.13330.2012 ⁴ каждому классу гидротехнических сооружений соответствует своя нормативная степень надёжности – вероятность того, что максимальный расход воды Q_p , соответствующий расчётному случаю P_0 , не наступит в течение расчётного срока службы сооружения N :

$$p = (Q < Q_p; t \leq N) < P_0 \quad (1)$$

В математике вероятность понимается, как количественная оценка *возможности* наступления некоторого события. Какова вероятность наступления события (паводка с определённым расходом) в ближайший год или десятилетие?

«Расчёты годового стока и других его характеристик представляются в виде количественной оценки, отвечающие той или иной заданной обеспеченности или повторяемости – в среднем один раз в N лет без указания срока наступления расчётной величины» [Горошков, 1979].

«Значения характеристик стока для каждого года можно считать случайными и не зависящими друг от друга, поэтому не представляется возможным прогнозировать срок их появления, но можно оценить лишь вероятность их превышения более высокими значениями» [Федотов, 2010].

Что означает термин «заданная обеспеченность» или «повторяемость», например, 1% расхода с точки зрения гидролога? Он подразумевает, что в результате расчётов, мы получаем величину, имеющую размерность искомой гидрологической характеристики, и предполагаем, что в ближайшие сто лет она будет превышена не более одного раза. То есть, может быть превышена уже завтра.

С точки зрения теории вероятности, в практическом смысле необходимо получить вероятность того, что «аварийное» событие $A\{Q \geq Q_p\}$ произойдет за расчётный срок, то есть что событие A произойдет хоть раз за n лет. Пусть p – вероятность события в единичном испытании, а $q=1-p$ – вероятность обратного события $\bar{A}\{Q < Q_p\}$, представляющую частный

³ Там же

⁴ Свод правил по проектированию и строительству. СП 58.13330.2012 Гидротехнические сооружения. Основные положения. Актуализированная редакция СНиП 33-01-2003 М., 2012. 39 с.

случай выражения для вероятности того, что событие A , имеющее вероятность p произойдет ровно k раз в серии испытаний n :

$$P_n(k) = C_n^k p^k q^{n-k} \quad (2)$$

Тогда вероятность того, что событие (наш максимальный расход будет превышен) произойдет в серии n независимых испытаний хотя бы один раз, можно определить как $1-q^n$, ибо обратное событие будет состоять в том, что сток НЕ будет превышен n раз.

Расчет этой вероятности проведен по формуле Бернулли и представлен в таблице 1 [Виноградов, Никифоровский, 2014]:

$$P_n\{k \geq 1\} = 1 - q^n \quad (3)$$

Таблица 1. Величина вероятности превышения расхода заданной повторяемости

Table 1. The probability of exceeding the flow rate of a given periodicity

количество лет наблюдения	Вероятность превышения, %				
	0,01	0,05	0,1	1	5
5	0,05	0,25	0,50	4,90	22,62
10	0,10	0,50	1,00	9,56	40,13
25	0,25	1,24	2,47	22,22	72,26
50	0,50	2,47	4,88	39,50	92,31
80	0,80	3,92	7,69	55,25	98,35
100	1,00	4,88	9,52	63,40	99,41

Таким образом, за 100 лет: 5-процентный расход будет хотя бы раз превышен наверняка, 1-процентный – несколько больше половины, а 0,1-процентный – в 10% случаев; математическое понятие вероятности события не соответствует гидрологическому восприятию этого термина.

Рассмотрим, насколько понятие случайной величины применимо к гидрологическим характеристикам, в частности – расходу воды. «При осуществлении гидрологических расчетов используются методы статистического анализа случайных процессов» [Владимиров, 1990].

Что такое «случайный процесс» в гидрологическом понимании? «Многие гидрологические характеристики определяются огромным числом факторов, степень влияния каждого из которых учесть практически невозможно. При этом конкретное значение

характеристики есть результат случайного сочетания этих факторов. С учётом этого, сама исследуемая характеристика должна рассматриваться как случайная величина (или случайный процесс) и для её определения могут быть использованы методы теории вероятности и математической статистики» [Дружинин, Коноваленко, Хамьянова, 1967]. «Определение гидрологических характеристик основано на использовании уравнений, описывающих связь рассчитываемой характеристики с определяющими её факторами. Полностью учесть влияние всех факторов на гидрологическую характеристику невозможно в силу их многообразия и случайности влияния. Поэтому гидрологические связи не являются функциональными, а носят вероятностный характер, относятся к статистическим, и к ним могут быть применены методы статистического анализа» [Владимиров, 1990]. «Что касается появления в том или ином году тех или иных значений расхода ..., то их можно рассматривать как случайные» [Горошков, 1979].

Следовательно, наш измеренный максимальный расход – случайная величина.

Обратимся к определениям случайной величины.

«Случайной величиной называется поддающаяся измерению ... величина определённого физического смысла, значения которой подвержены некоторому неконтролируемому разбросу при повторных наблюдениях» [Айвазян, Енюков, Мешалкин, 1983].

Расход воды поддается измерению, имеет физический смысл и значения его подвержены разбросу. В данном случае подразумеваются многократные повторные измерения расхода воды при неизменных внешних условиях, а не измерения стока в условиях меняющихся природных факторов.

Математики случайной называют величину, которая в результате испытания примет одно и только одно числовое значение, зависящее от случайных факторов и заранее непредсказуемое.

Исходя из этого определения случайной величины, мы при каждом следующем измерении можем ожидать любого расхода воды. Однако, всем понятно, что если сегодня у реки средний расход $1 \text{ м}^3/\text{сек}$, то и завтра он будет таким же. Если только не пойдет ливень или не начнет таять снег. Значит, хотя бы часть факторов может быть предварительно учтена? Попробуем перечислить основные:

Первый – рельеф. Чем круче склоны водосбора, тем обильнее и быстрее пройдет паводок. Чем глубже врез русла, тем большее количество подземных водоносных горизонтов будут дренированы рекой.

Второй – наличие на водосборе растительности и других регулирующих факторов. Чем гуще на водосборе лес, больше болот и озёр, тем более сглажена будет волна половодья.

Третий – состав почв и их водонасыщенность, аккумулирующая и фильтрационная способность.

И, наконец, четвертый фактор – осадки. Паводки возможны только при наличии осадков. Предварительно оценить, какой будет паводок на конкретной реке при выпадении того или иного ливня, вполне реально. Специалист, прикинув запасы снега на водосборе или интенсивность идущего ливня, может с хорошей точностью спрогнозировать грядущий максимальный расход конкретной реки.

Так в чём же случайность рассматриваемой характеристики? Получается, что предварительно оценить влияние основных ландшафтных и климатических факторов на сток вполне реально. Для каждого конкретного водосбора они не случайны, мало меняются во времени и ведут себя вполне предсказуемо. Следовательно, их влияние можно предварительно учесть. Поскольку случайными называются «величины, численное значение которых зависит от не поддающихся предварительному учёту случайных обстоятельств» [Гнеденко, 1968], то на проверку выходит, что мы имеем дело с *неслучайными* величинами и процессами?

Однако, как уже говорилось, «гидрологические характеристики определяются огромным числом факторов». Пускай каждый фактор имеет свою вероятность реализации, понимая её здесь в классическом смысле как отношение числа m несовместимых равновероятных элементарных событий, составляющих событие A , к числу всех возможных элементарных событий n :

$$p(A) = \frac{m}{n} \quad (4)$$

Тогда вероятность совместного наступления двух событий равна произведению их вероятностей [Гнеденко, 1968]. Пусть x – число влияющих факторов, в первой строке – вероятность одного фактора (таблица 2). В предположении, что факторы независимы и равнозначны, при вероятности по одному фактору 0,5 (равновероятны как проявление, так и отсутствие влияния фактора) и пяти факторах имеем вероятность «редкого» события – 0,03, что уже практически неосуществимо.

Таблица 2. Вероятность наступления события в случае воздействия нескольких независимых факторов.

Table 2. The probability of an event occurring in the event of exposure to several independent factors

Число факторов	Вероятность наступления события, %			
	5	10	25	50
1	0,25	1	6,25	25
2	0,00003	0,001	0,098	3,125

Но, поскольку событие все равно происходит, можно сделать вывод – значимых факторов на так и много, а вероятность однозначного влияния этих факторов достаточно велика.

Итак, «...закономерности колебания характеристик стока свободных (незарегулированных) рек устойчивы в течение периодов, соизмеримых со столетиями» [Владимиров, 1990]. Следовательно, значения гидрологических характеристик не могут быть случайны в математическом понимании этого термина.

Второе условие применимости рассматриваемого математического аппарата.

«Что мы должны знать о случайной величине для того, чтобы иметь полноту сведений о ней, как о случайной? ...Прежде всего, мы должны знать *все* численные значения, которые она способна принимать» [Гнеденко, 1968]. При проведении наших расчётов, мы должны всегда иметь в виду, что все возможные результаты должны «быть указаны заранее и действительный исход будет одним из возможных» [Гнеденко, 1968].

В рамках существующей методологии гидрологических расчётов, не существует ответа на вопрос, в каких пределах изменяется гидрологическая величина в конкретном створе. Получив расчётный расход, соответствующий обеспеченности 0,1%, мы априори предполагаем, что по реке обязательно пройдет расход, соответствующий 0,01% и так далее обеспеченности. Ограничение максимальных значений функции распределения, по мнению С.Н. Крицкого и М.Ф. Менкеля, «беспредметно и схоластично». «Абсолютные верхняя и нижняя границы возможных значений стока не поддаются физическому определению. Этот интервал *логично* распространять на всю область положительных величин» [Крицкий, Менкель, 1981].

Очередное обязательное условие. «Знание возможного перечня возможных значений случайной величины не даёт о ней таких сведений, которые могли бы служить материалом для

практически необходимых оценок ... Необходимо *знать* вероятности различных возможных значений интересующей нас случайной величины» [Гнеденко, 1968].

«Для исчерпывающего задания случайной величины недостаточно описать множество теоретически возможных значений анализируемой случайной величины, ... необходимо установить ... правило ... распределения вероятностей случайной величины» [Айвазян, Енюков, Мешалкин, 1983].

В задачах теории вероятностей предполагается, что вероятностная модель изучаемого явления полностью определена, и теория вероятностей занимается разработкой методов нахождения вероятностей различных сложных событий в рамках данной вероятностной модели. По этим вероятностям мы можем в дальнейшем строить научно обоснованные прогнозы.

В нашем же случае, подбор соответствующей функции распределения вероятностей и определение по ней расчётных гидрологических характеристик (п. 5.1)⁵ является результатом решения задачи, а не её обязательным условием.

Итак, по всем перечисленным признакам использование теории вероятности в гидрологических расчётах не имеет достаточного обоснования.

Теперь непосредственно о статистической обработке рядов наблюдений. Математическая статистика решает задачи, обратные теории вероятностей [Ивченко, Медведев, 2010]. В рамках математической статистики, у нас должна появиться возможность оценки функции распределения нашей выборки. Для этого мы должны провести оценку различных параметров распределений наблюдаемых случайных величин, и проверку различных гипотез о свойствах этих величин (их распределений) и, тем самым, подобрать подходящую вероятностную модель изучаемого эксперимента [Владимиров, 1990].

«Выявление закономерностей, свойственных совокупности явлений, формирующихся как следствие многофакторных связей (метеорологических, физико-географических), возможно лишь статистическими методами» [Рождественский, Чеботарев, 1974].

«При проведении гидрологических расчётов приходится оперировать большим количеством исходных данных ..., которые образуют статистические ряды. Применение вероятностно-статистических методов анализа и расчётов позволяет получить количественное значение гидрологических характеристик» [Владимиров, 1990].

⁵ СП 33-101-2003

Задача решается следующим образом. Для последующей обработки ряд годовых максимальных измеренных расходов воды ранжируется (как принято в гидрологии – от большего значения к меньшему), для каждого члена ряда определяется его повторяемость. Далее подбирается теоретическая кривая распределения, наилучшим образом соответствующая эмпирическим точкам. «Кривые распределения могут иметь разную форму, но обычно используется один из трёх типов: нормальная, Пирсона, Крицкого-Менкеля» [Владимиров, 1990]. В результате, вопрос получения теоретически возможных максимальных расходов в области редкой повторяемости, решается автоматически.

Понятно, что «экстраполяция в область редкой «обеспеченности» ничем не обоснована, результаты, в зависимости от выбранной кривой, могут различаться в десятки раз» [Найденов, Кожевникова, 2003]. Тот или иной вид хвоста теоретической кривой распределения целиком зависит от характера распределения нескольких самых экстремальных расходов за весь период наблюдений.

Анализ частоты повторяемости экстремальных паводков 50 малых и средних рек Северо-Запада России [Ресурсы поверхностных вод СССР] показывает, что на протяжении 86 лет (1881-1966 годы) наблюдалось 19 многоводных лет (таблица 3). В подавляющем большинстве случаев, измеренные максимумы отличаются от последующих ранжированных значений максимальных расходов в среднем на 5-10%, что укладывается в точность измерения. Например, на незарегулированной реке Мста в районе поста ниже устья р. Увери (площадь водосбора 12,5 тыс км²) – в область погрешности измерений максимальных расходов попали 22 наибольших значения (рисунок 1)! Таким образом, мы имеем не ранжированные значения нескольких наибольших расходов, а некий усредненный максимальный расход, имеющий регулярную повторяемость. Если у нас есть столетний ряд, то такой расход на самом деле фиксируется от 10 до 20 раз.

На практике наши ряды намного короче, большинство наблюдений проходило в 50-е-60-е годы, чем объясняется увеличение количества измеренных расходов в этот период. Пробелы во втором и пятом десятилетиях XX века объясняются двумя мировыми войнами.

На основании этого можно сделать вывод, что благоприятная для экстремальных паводков (половодья) ситуация складывается не реже, чем раз в пять-семь лет. Различие в расходах воды у всех этих паводков укладывается в точность измерения. Вероятность наступления такого события каждый последующий год – $0,1 \div 0,2$.

Таким образом, даже «измеренные» экстремальные расходы не позволяют построить однозначную кривую распределения. На практике мы имеем поле точек вокруг некоторого

среднего максимума, имеющего повторяемость на порядок бóльшую, нежели предполагалось авторами рассматриваемого метода.

Таблица 3. Повторяемость максимальных паводков некоторых рек Северо-Запада за период 1881-1966 годов.

Table 3. The frequency of maximum floods of some rivers of the North-West for the period 1881-1966.

площадь, км ²	6230	1130	2070	12500	14700	6820	5990
река-пункт	Сясь- Яхново	Воложба- Воложба	Тихвинка- Горелуха	Мста- устье р. Увери	Ло- вать- Холм	Шелонь- Заполье	Луга- Толма- чево
годы							
1881			(446)	(774)			
1899			247	(784)			
1901			307	(779)			
1905			261	(784)			
1911	963		367	(838)			
1915	715		233	(853)	1310		
1916					1470		
1917	774		276		1480		594
1918					1400		536
1919	819		301		1400		
1922	708						578
1924	780						
1926	928		324	728		1060	(800)
1931	846		252	735	(2130)	1340	564
1935				821			
1936				732			
1943		184	254				
1946	849	190	305				
1948					1560		
1955	692	185	244	696	1400	852	
1956						1300	585
1957							
1959		179		646	1420		
1961							

площадь, км ²	6230	1130	2070	12500	14700	6820	5990
река-пункт	Сясь- Яхново	Воложба- Воложба	Тихвинка- Горелуха	Мста- устье р. Увери	Ло- вань- Холм	Шелонь- Заполье	Луга- Толма- чево
годы	1962		290		1720		
1966	788	191	259	713	1120	872	526
среднее из 5 максимальных, м ³ /с	881	186	321	816	1672	1085	624
диапазон погрешности изме- рений максимального расхода, м ³ /с	793- 969	167-204	289-353	734-898	1505- 1839	976- 1193	562- 687
погрешность выхода за диапа- зон, %	0	0	14	0	14	11	14

Примечание. В скобках указаны значения, величина которых вызывает сомнения.

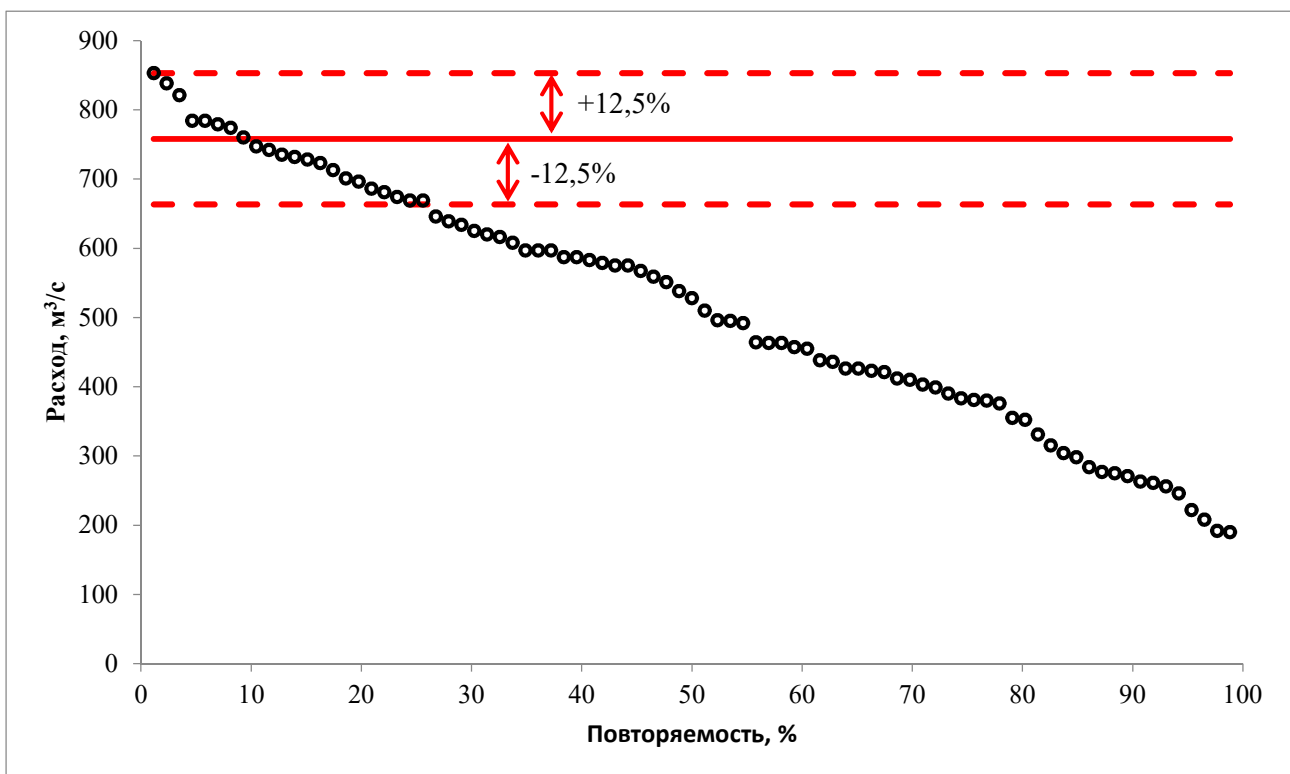


Рисунок 1. Диапазон погрешности измерений максимальных расходов на примере река Мста – устье реки Увери.

Figure 1. The range of measurement error of maximum flow rates by the example of the Msta River - the estuary of the Uvery River.

Погрешность *оценки* значений максимальных расходов весеннего половодья, осложнённого ледоходом и выходом воды на пойму экспертно оценена нами в 25%. Суммарная относительная погрешность *измерения* расхода воды при основном способе составляет 10%⁶. Надо иметь в виду, что на самом деле измерений максимальных расходов практически не производится. Например, на 10 тысяч годопунктов в Забайкальском управлении гидрометслужбы максимальный расход дождевых паводков непосредственно был измерен всего 5 раз, т.е не более 0,05% случаев от приведенных в ежегодниках. В период ледохода измерения вообще не производятся! Оценка экстремального расхода на конкретную дату производится путем экстраполяции кривой $Q = f(H)$. Точность определения уровня в период половодья сама по себе очень мала, поскольку ледоход сопровождают заторные явления, ход большой воды часто сопровождается карчеходом и местным подпором.

Наши сомнения по поводу адекватности самой идеи экстраполяции ряда измеренных экстремальных расходов в область редкой повторяемости проиллюстрируем еще следующей мыслью.

Предположим, мы имеем ряд максимальных расходов воды продолжительностью 1000 лет. Первые девять значений ранжированного ряда будут иметь обеспеченность от 0,1 до 0,9%. Поскольку обычно продолжительность наблюдений за стоком не превышает 100 лет, то условно разделим 1000-летний ряд на десять 100-летних. В каждом таком укороченном ряду производим процедуру ранжирования и расчёта обеспеченностей членов ряда. Ожидаемо, в этих десяти рядах не может быть расходов 0,1-0,9%-ной обеспеченности. На практике, имея дело с короткими рядами, мы полагаем, как правило, что расходы такой обеспеченности находятся за пределами нашего ряда. Но, исходя из предыдущих рассуждений, мы знаем, что они с 90%-ной вероятностью должны попадать в наш ряд! Подобную логику можно распространить на 0,01% повторяемость и далее, откуда следует, что используемая на сегодняшний день официальная методика, узаконенная соответствующим СП 33-101-2003 – по меньшей мере, сомнительна.

Существующая методика гидрологических расчетов имеет и свои несомненные плюсы. Как нам представляется, их всего три.

Первый – методика на сегодняшний день отработана, принята сообществом проектировщиков и изыскателей, прописана во всех регламентирующих документах.

⁶ Методические указания. Государственная система обеспечения единства измерений. Расход воды на реках и каналах. Методика выполнения измерений методом «скорость - площадь». МИ 1759-87. М.: Издательство стандартов, 1987

Второй – методика снимает всякую персональную ответственность с расчетчика и проектировщика за неправильно принятые решения. Любая ошибка может быть списана на «запроектный» паводок.

Третий – при строительстве объектов низкого уровня ответственности (при расчетах 10 – 2% повторяемости) на изученных (!) реках, методика дает более-менее адекватные расчетные значения.

При этом мы еще раз подчеркиваем, данная методика имеет право на жизнь при расчетах паводков более редкой обеспеченности *только* для изученных рек, то есть имеющих ряды наблюдений на них 5 лет и более.

Выводы.

1. Применение математического аппарата вероятностно-статистического анализа в гидрологических расчётах недостаточно обосновано.

2. Численное значение «вероятности превышения» не соответствует истинной вероятности с точки зрения теории вероятностей.

3. Ранжирование максимальных расходов в области редкой повторяемости с целью подбора теоретической кривой распределения невозможно, ввиду превышения величины погрешности измерений над различием между собой соседних членов выборки.

4. Не лимитированное увеличение значений экстремальных расходов при сроках жизни реки, сравнимых с геологическими периодами, бессмысленно и неправомерно. Во-первых, таких рек не существует. Спустя тысячелетия на этом же месте могут появиться новые реки, но это будут уже другие реки. Во-вторых, водность реки всегда зависит от количества выпавших осадков. Осадки образуются из находящегося в атмосфере водяного пара, количество которого, в свою очередь, регламентируется конечным и строго определенным значением солнечной радиации, поступившей на поверхность планеты.

5. При расчетах паводков 10 – 2% повторяемости для изученных рек (с рядами наблюдений на них 5 лет и более) данная методика имеет право на жизнь.

Литература

Айвазян С.А., Енюков И.С., Мешалкин Л.Д. Прикладная статистика: Основы моделирования и первичная обработка данных. Справочное

References

Aivazyan S.A., Yenyukov I.S., Meshalkin L.D. *Prikladnaya statistika: Osnovy modelirovaniya i pervichnaya obrabotka dannykh: Spravochnoe izd. [Applies statistics: Bases of modelling and initial data processing: reference*

изд. М.: Финансы и статистика, 1983. 471 с.

Виноградов А.Ю. Никифоровский А.А. К вопросу о применимости статистических методов в расчетах максимального стока малых рек // Сборник докладов III Международной конференции «Селевые потоки: катастрофы, риск, прогноз, защита» (г. Южно-Сахалинск, 22-26 сентября 2014 г.) / Отв. редактор Н.А. Казаков. Южно-Сахалинск: Сахалинский филиал ФГБУН Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, 2014. С. 242-246

Владимиров А.М. Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеоздат, 1990. 365 с.

Гнеденко Б.В. Беседы о математической статистике. М.: Наука, 1968. 64 с.

Горошков И.Ф. Гидрологические расчёты. Л.: Гидрометеоздат, 1979. 433 с.

Дружинин И.П., Коноваленко З.П., Хамьянова Н.В. Вековые и внутривековые колебания стока рек Азиатской части СССР // Многолетние колебания стока и вероятностные методы его расчета / Под ред.

edition]. Moscow, Publ. Finansy i statistika, 1983. 471 p. (In Russian).

Gnedenko B.V. *Besedy o matematicheskoi statistike [Conversations about mathematical statistics]*. Moscow, Publ. Nauka, 1968. 64 p. (In Russian).

Goroshkov I.F. *Gidrologicheskie raschety [Hydrology calculations]*. Leningrad, Publ. Gidrometeoizdat, 1979. 433 p. (In Russian).

Druzhinin I.P., Konovalenko Z.P., Kham'yanova N.V. *Vekovye i vnutrivekovye kolebaniya stoka rek Aziatskoi chasti SSSR [Centuries-old and intra-century fluctuations in river flow in the Asian part of the USSR]*. In Bykov V.D. (ed.) *Mnogoletnie kolebaniya stoka i veroyatnostnye metody ego rascheta [Long-term flow fluctuations and probabilistic methods for its calculation]*. Moscow, Publ. MGU, 1967, pp. 60-66. (In Russian).

Ivchenko G.I., Medvedev Yu.I. *Vvedenie v matematicheskuyu statistiku: uchebnyk [Introduction to Mathematical Statistics]*. Moscow, URSS, 2010. 600 p. (In Russian).

Fedotov G.A. *Izyskaniya i proektirovanie mostovykh perekhodov: uchebnoe posobie dlya studentov uchrezhdenii vysshego professional'nogo obrazovaniya [Researches and design of bridge crossings]*. Moscow, Publ. Akademiya, 2010. 304 p. (In Russian).

Kritskii S.N., Menkel' M.F. *Gidrologicheskie osnovy upravleniya rechnym stokom [Hydrological basics of river flow management]*. Moscow, Publ. Nauka, 1981. 257 p. (In Russian).

Naidenov V. I., Kozhevnikova I. A. *Pochemu tak chasto proiskhodyat navodneniya [Why are floods so frequent?]*.

- В.Д. Быкова. М.: Изд. МГУ, 1967. С. 60-66.
- Ивченко Г.И., Медведев Ю.И.* Введение в математическую статистику: учебник. М.: Из-во ЛКИ, 2010. 600 с.
- Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления речным стоком. М.: Наука, 1981. 257 с.
- Найденев В.И., Кожевникова И.А.* Почему так часто происходят наводнения // Природа. 2003. № 9 (1057). С. 12–20.
- Ресурсы поверхностных вод СССР: в 20 т. Т.2: Карелия и Северо-Запад. Часть 2. Приложения / Под ред. В.Е. Водогрецкого.* Л.: Гидрометеоздат, 1972. 278 с.
- Рождественский А.В., Чеботарев А.И.* Статистические методы в гидрологии. Л.: Гидрометеоздат, 1974. 424 с.
- Федотов Г.А.* Изыскания и проектирование мостовых переходов: учебное пособие для студентов учреждений высшего профессионального образования. М.: Издательский центр «Академия», 2010. 304 с.
- Priroda [Nature]*, 2003, no. 9 (1057), pp. 12–20. (In Russian; abstract in English).
- Rozhdestvenskii A.V., Chebotarev A.I. Statisticheskie metody v gidrologii [Statistical methods in hydrology].* Leningrad, Publ. Hidrometeoizdat, 1974. 424 p. (In Russian; abstract in English).
- Vinogradov A.Yu. Nikiforovskii A.A. K voprosu o primenimosti statisticheskikh metodov v raschetakh maksimal'nogo stoka mal'nykh rek [On the applicability of statistical methods in the calculation of maximum flow of small rivers].* In Kazakov N.N. (ed.), *Sbornik dokladov Tret'ei Mezhdunarodnoi konferentsii «Selevye potoki: katastrofy, risk, prognoz, zashchita» (g. Yuzhno-Sakhalinsk, 22-26 sentyabrya 2014 g.) [III International Conference "Debris Flows: Disasters, Risk, Forecast, Protection" (Yuzhno-Sakhalinsk, September 22-26, 2014)]*, Yuzhno-Sakhalinsk, Publ. of Sakhalinskii filial Dal'nevostochnyi geologicheskii institut DVO RAN, 2014, pp. 242-246. (In Russian; abstract in English).
- Vladimirov A.M. Gidrologicheskie raschety [Hydrology calculations].* Leningrad, Publ. Hidrometeoizdat, 1990. 365 p. (In Russian; abstract in English).
- Vodogretskiy V.E. (ed.) Resursy poverkhnostnykh vod SSSR: v 20 vol. Vol.2: Kareliya i Severo-Zapad. Chast' 2. Prilozheniya. [Surface water resources of the USSR: in 20 vol. Vol. 2: Karelia and North-West. Part 2. Applications].* Leningrad, Publ. Hidrometeoizdat, 1972. 278 p. (In Russian).