

ПРЕДМЕТ:

Гидрология

**ТЕМА
12**

**Гидрологические
характеристики**



НАЗРАЛИЕВ ДИЛШОД ВАЛИДЖАНОВИЧ



**Доцент кафедры Гидрологии и
гидрогеологии**

ПЛАН ТЕМЫ:

- ❑ Основная задача гидрологических расчетов ;
- ❑ Основные характеристики стока;
- ❑ Физико-географические факторы, формирующие расчетные характеристики стока воды

Основная задача гидрологических расчетов

Основная задача гидрологических расчетов—получить количественные характеристики, описывающие гидрологические явления и процессы в ближайшем и отдаленном будущем, на основании анализа прошлого и настоящего состояния водных объектов



Гидрологические расчеты являются комплексным разделом гидрологии,

призванным соединить теоретические исследования в области гидрологии суши с решением практических задач в целях обеспечения:

- различных отраслей народного хозяйства и,
- прежде всего, строительного проектирования и
- водного хозяйства.

Поэтому гидрологические расчеты относятся к основному разделу инженерной гидрологии.



В полном объеме гидрологические расчеты включают расчеты:

- характеристик стока воды,
- основных гидрометеорологических характеристик (осадки, испарение и др.), водного баланса,
- стока наносов,
- термического режима,
- динамики водных масс,
- а также гидрохимических характеристик и
- разбавления сточных вод.

В практике гидрологических расчетов встречаются три случая определения гидрологических характеристик:

- имеющиеся данные гидрологических наблюдений достаточны для осуществления расчетов (ряд наблюдений репрезентативный),
- данных недостаточно (ряд нерепрезентативный)
- и данные отсутствуют.

При гидрологических расчетах используются следующие основные характеристики стока:

- расход воды Q м³/с;
- модуль стока q (или M);
- слой стока Y (или h);
- объем стока W км³ или м³ за расчетное время t (или T).

Расход воды Q м³/с

Расход воды Q м³/с, рассчитываемый как среднее значение за конкретный период времени t (или T) (сутки, месяц, сезон, год или любой иной промел-суток времени) в многолетнем разрезе; определяется по данным об измеренных расходах воды.

Наиболее часто применяются:

- средние суточные,
- месячные и
- годовые расходы воды,
- а также экстремальные
(максимальные и минимальные)
расходы воды;

Модуль стока q (или M)

Модуль стока q (или M), т. е. количество воды, стекающей в единицу времени с единицы площади водосбора и измеряемое обычно в л/(с·к м²); рассчитывается как среднее за вышеуказанные периоды;

Слой стока Y (или h)

Слой стока Y (или h) — среднее количество воды, стекающей с водосбора за какой-либо промежуток времени и выраженное в миллиметрах слоя воды, равномерно распределенной по площади;

Объем стока W км³ или м³ за расчетное время t (или T).

Указанные характеристики нередко объединяются понятием сток воды.

Они являются взаимосвязанными и могут быть пересчитаны одна в другую

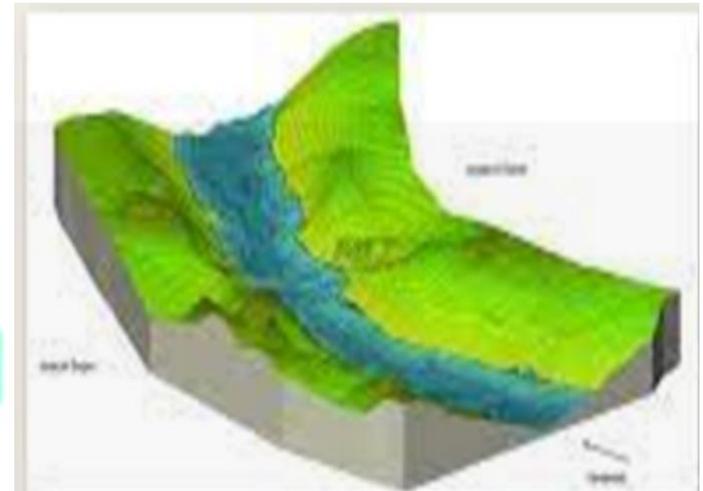
Соотношение между основными характеристиками стока

	Q м ³ /с	q л/(с·км ²)	Y мм	W м ³
Q	—	$10^{-3}qF$	10^3YFt^{-1}	Wt^{-1}
q	10^3QF^{-1}	—	10^6Yt^{-1}	$10^3WF^{-1}t^{-1}$
Y	$10^{-3}QF^{-1}t$	$10^{-6}qt$	—	$10^{-3}WF^{-1}$
W	Qt	$10^{-3}qFt$	10^3YF	—

Примечание. Время t измеряется в секундах.

Расчеты осуществляются для конкретных гидрологических характеристик, относящихся к категории основных:

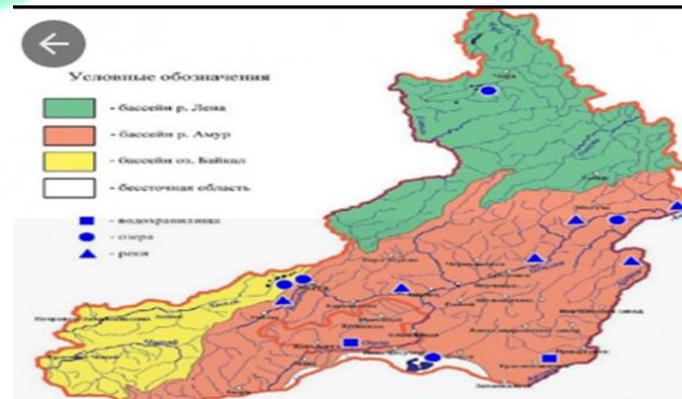
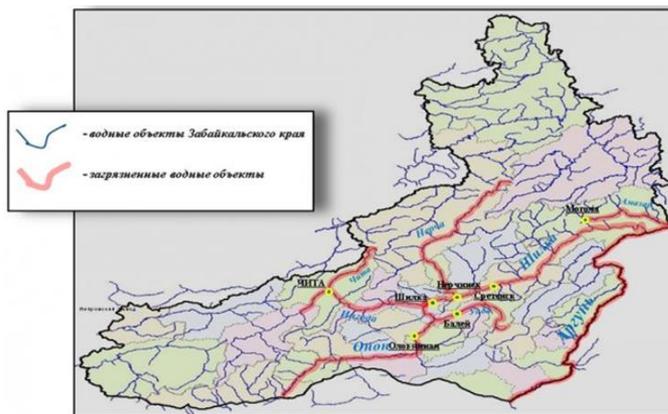
- максимальные и минимальные расходы воды,
- годовой и сезонный сток,
- и наивысшие уровни воды рек и озер,
- сток наносов.



Познание физических основ гидрологических процессов и их взаимосвязи с географической средой является одной из основных проблем гидрологии суши

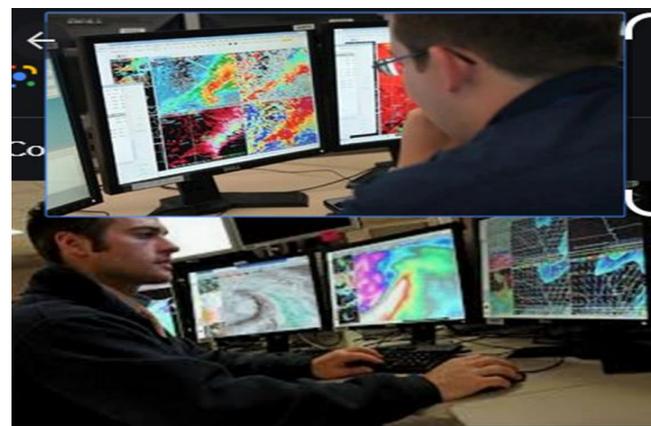
Без понимания механизма и степени влияния физико-географических факторов на режим и величину речного стока невозможно правильное применение метода гидрологической аналогии :

- ❑ при расчетах речного стока,
- ❑ усовершенствование существующих и
- ❑ разработка новых методов расчета гидрологических характеристик при отсутствии данных наблюдений.



Применительно к гидрологическим расчетам необходимо знать конкретное влияние природных и антропогенных факторов на речной сток и другие гидрологические характеристики.

Оценка этого влияния в качественной форме помогает понять физическую сущность происходящих явлений, а представление его в количественном виде (графики связи, аналитические зависимости) позволяет осуществить необходимые расчеты и создать математическую модель речного бассейна



Изучение влияния физико-географических факторов на процессы стока позволяет ответить на вопросы, как и почему формируется та или иная характеристика стока.

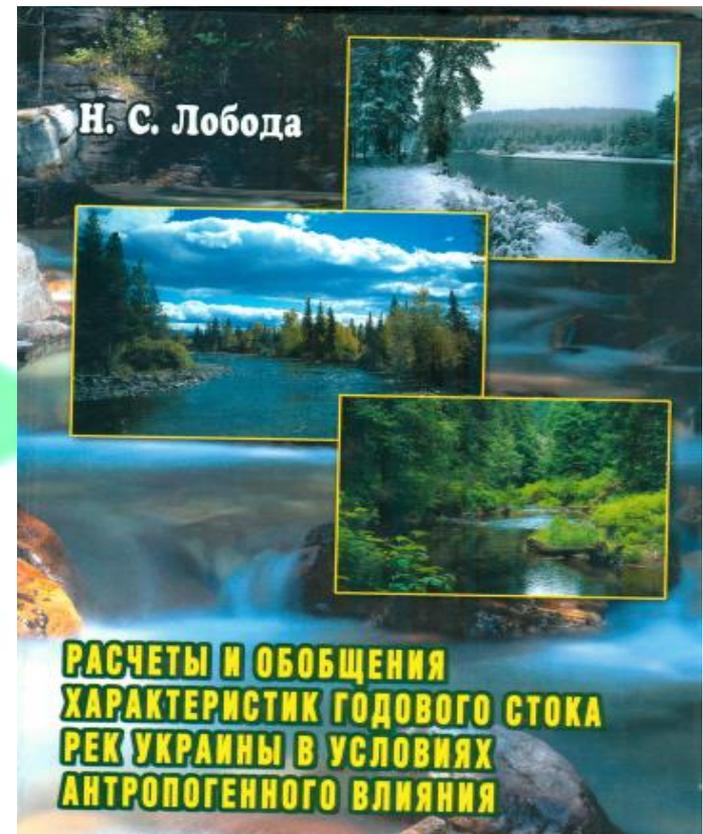
В результате можно получить вполне обоснованный ответ и на вопрос «сколько?», который имеет основное значение для практики гидрологических расчетов как в области водного хозяйства, так и при строительном проектировании



Изучение влияния физико-географических факторов на сток рек необходимо производить методически правильно.

Оценка влияния факторов является довольно сложным процессом и связана с использованием различных способов анализа:

- графические,
- математические,
- системные и др.).



В основе исследований влияния физико-географических факторов на режим и величину стока рек лежит анализ водного баланса речного бассейна и определение влияния на его составляющие различных элементов ландшафта как природной системы

Выпавшие на водосбор реки осадки X распределяются на несколько составляющих:

- поверхностный сток Y_1 ;
- подземный сток Y_2 ;
- испарение E ;
- аккумуляция U выпавших осадков, т. е.

$$X = Y_1 + Y_2 + E + U$$

Влияние физико-географических условий на речной сток

Основными факторами и условиями формирования речного стока являются:

- климатические условия,
- геоморфологические (рельеф) факторы,
- почвенно-гидрогеологические условия,
- растительный покров и
- геологические условия (тектоника).

Климатические условия

Объем речного стока и его режим находится в тесной зависимости от условий, определяющих соотношение тепла и влаги.

Для того чтобы существовала река, количество атмосферных осадков, выпавших на водосбор, должно быть достаточным для поддержания постоянного течения и компенсации потерь на **испарение, транспирацию, фильтрацию в грунты** и т.д.

Геоморфологические факторы (рельеф)

Характер рельефа водосбора определяет уклоны и густоту речной и овражно-балочной сети. Большая величина крутизны склонов и уклонов русел способствуют возрастанию скоростей стекания воды со склонов и скоростей течения в руслах, а, следовательно, и к увеличению речного стока.

Почвенно-гидрогеологические условия

Влияние этих условий проявляется в форме аккумуляции воды в почвогрунтах.

- ❑ Чем больше водопроницаемость пород и мощнее отложения,
- ❑ тем больше подземная емкость и ее регулирующая способность.

В областях с сильно развитым карстом склоновый сток поглощается карстовыми воронками, доля подземного питания в стоке при этом повышенная (по сравнению с зональными величинами):

- ❑ Чем глубже врезаны долина и русла,
- ❑ тем больше водоносных горизонтов участвует в питании реки.

Водно-физические свойства почво-грунтов

Механический состав почва	Угодье	Водопроницаемость, мм/мин	Водоудерживающая способность, % полной влагоемкости	Водоотдача, % полной влагоемкости
Суглинистые	Поле	0,19	88,0	12,0
	Лес	0,24	86,5	13,5
Супесчаные	Поле	0,23	66,5	33,5
	Лес	0,51	52,0	48,0
Песчаные	Поле	0,99	42,7	57,3
	Лес	2,93	38,3	61,7

Растительный покров

Растительный покров, влияя на интенсивность снеготаяния и скорость стекания воды по земной поверхности, тем самым оказывает воздействие и на водный режим.

Влияние леса на режим стока проявляется двояко:

- ❑ С одной стороны, за счет запаздывания снеготаяния в лесу, весеннее половодье затягивается;
- ❑ с другой стороны, за счет большой инфильтрационной способности лесных почв и лесной подстилки, значительная часть поверхностного стока переходит в подземный.

В результате этого сток с залесенных участков происходит более равномерно, чем с безлесных.

Геологические условия

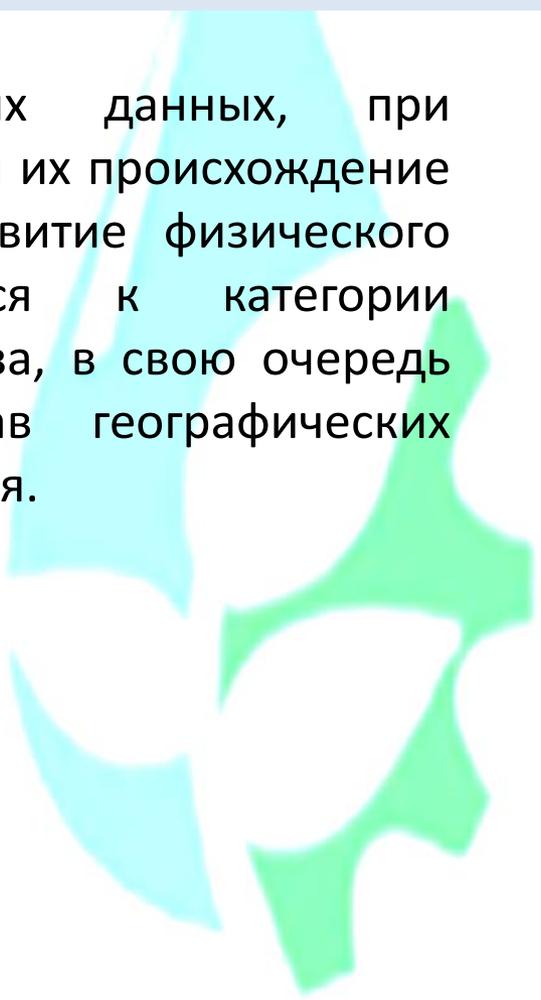
Тектонические движения земной коры могут вызвать миграцию рек, изменение режима стока и интенсивности эрозии.

Во многих районах существенное влияние на величину и режим речного стока оказывает хозяйственная деятельность

<https://helpiks.org/7-23598.html>

Генетический анализ гидрологических данных

Анализ фактических данных, при котором учитываются их происхождение и последующее развитие физического процесса, относится к категории генетического анализа, в свою очередь входящего в состав географических методов исследования.



С его помощью производится:

- ❑ обобщение эмпирического материала (данные о стоке воды, наносов и др.) и
- ❑ осуществляется физический анализ получаемых зависимостей.



Все это позволяет исследовать закономерности развития гидрологических процессов, определяющих:

- объем стока,
- колебания уровней воды,
- термический режим и пр.

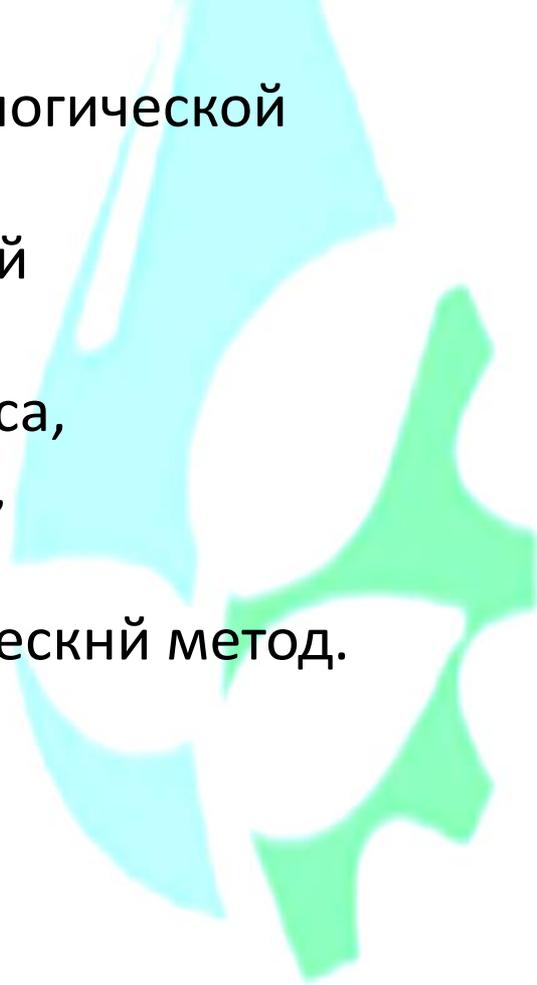
На основании исследований закономерностей процесса стока воды с водосбора к замыкающему створу разработана генетическая теория и получена генетическая формула стока (метод изохрон стока)

Ярким примером широкого генетического анализа является географо-гидрологический метод

Основой метода является комплексный подход к исследованию вод суши, изучение физической природы гидрологических процессов, их проявления в конкретных географических условиях и выявление на этой основе причинно-следственных связей, существующих в рассматриваемом регионе.

Частными случаями географо-гидрологического метода можно считать :

- методы гидрологической аналогии,
- географической интерполяции,
- водного баланса,
- изохрон стока,
- гидролого-гидрогеологический метод.



Метод гидрологической аналогии, основы которого заложены в конце 20-х годов В. Г. Глушковым

В нормативных документах по расчету основных гидрологических характеристик при строительном проектировании рекомендуется его использование в первую очередь в случае расчета характеристик стока при :

- недостаточности или
- отсутствии гидрометрических данных.

Сущность метода

Сущность метода заключается в подборе рек-аналогов, имеющих наблюдения за стоком и находящихся в сходных с гидрологический неизученной рекой (расчетная река) физико-географических условиях.

Гидрологические характеристики изученной реки распространяются или используются для определения подобных характеристик неизученной реки

Имеются два варианта применения метода гидрологической аналогии:

- прямая аналогия и
- косвенная аналогия.

Прямая аналогия используется при наличии рек-аналогов с, физико-географическими условиями в бассейне, весьма близкими к условиям расчетной реки.

Косвенный метод гидрологической аналогии применяется при построении и использовании карт гидрологических характеристик или эмпирических зависимостей стока от физико-географических факторов.

Вероятностно-статистические методы

Применяемые в гидрологических расчетах методы генетического анализа, показывая взаимосвязь рассматриваемых характеристик, не позволяют произвести их статистическую оценку.

При разработке методов количественной оценки гидрологических характеристик применяются различные методы математического анализа.

К ним относятся:

- элементарные приближённые вычисления;
- графические методы;
- разделы комбинаторики,
- конечные последовательности;
- элементарные функции и графики;
- системы координат ;
- графики и таблицы элементарных функции

Наиболее широко применяются положения математической статистики, теории вероятностей и теории случайных функций.

При осуществлении вероятностно-статистического анализа используются прежде всего методы статистического анализа случайных-процессов

Максимальные ежегодные расходы воды, также как и другие расчетные гидрологические характеристики (средние, минимальные расходы и уровни воды и др.) носят стохастический (т.е. случайный) характер и составляют статистический ряд.

Поэтому для определения расчетных (вероятных) значений гидрологических характеристик применяют методы математической статистики.

Гидрологические ряды наблюдений характеризуются **непрерывностью**, когда между двумя смежными величинами ряда в последующие годы может появиться ещё одно значение.

Например, между максимальными расходами 352 и 359 м³/с в последующие годы может появиться значение максимального расхода, равное 355 м³/с.

Способы определения расчетных гидрологических характеристик зависят от наличия и продолжительности гидрометрических наблюдений

При наличии, недостаточности и отсутствии наблюдений

При наличии наблюдений проводится анализ гидрологических рядов, определение их статистических параметров и построение кривых обеспеченности.

При недостаточности наблюдений параметры кривой обеспеченности необходимо привести к многолетнему периоду используя данные реки-аналога (рек-аналогов) и методы парной или множественной регрессии.

При отсутствии наблюдений расчетные гидрологические характеристики определяются по эмпирическим формулам с использованием данных рек-аналогов и карт.

Вычисление расчетного расхода при достаточной продолжительности наблюдений

Поведение случайных величин, которые составляют заданный гидрологический ряд наблюдений, можно охарактеризовать тремя параметрами:

- средним арифметическим значением;
- коэффициентом вариации;
- коэффициентом асимметрии.

Среднее арифметическое значение ряда:

$$Q_{\text{ср}} = \frac{\sum Q_i}{n}$$

где: Q_i – максимальный расход
весеннего половодья, м³/с;

n – количество членов ряда.

Коэффициенты вариации и асимметрии определяются в соответствии с СП 33-101-2003 методами **моментов и наибольшего правдоподобия.**

Метод моментов. Коэффициент вариации C_v

Коэффициент вариации C_v характеризует меру изменчивости членов ряда относительно среднего арифметического значения и определяется по формуле (при $C_v < 0.6$):

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

где K_i – частное отделения i -го члена ряда на среднее арифметическое этого ряда, т.е.

Коэффициент асимметрии C_s

Коэффициент асимметрии C_s характеризует отличие по величине и количеству положительных (больше средних) и отрицательных (меньше средних) отклонений от среднего арифметического значения ряда.

Для симметричных рядов (нормальное распределение ежегодных вероятностей превышения значений ряда) эти отклонения повторяются одинаково часто, поэтому $C_s = 0$.

Для несимметричных рядов $C_s \neq 0$, а коэффициент асимметрии определяется по формуле (при $C_s < 1,0$):

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3 (n-1)(n-2)}$$

Расчеты по определению статистических характеристик сводятся в [табл. 1](#).

<i>m</i>	Q_i в убывав. порядке	K_i	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$	<i>p</i> , %	$\lg K_i$	$K_i * \lg K_i$
	Точность	0,01	0,01	0,001	0,0001	0,1	0,001	0,001
1	576	1,57	0,57	0,325	0,1852	3,1	0,196	0,308
2	526	1,43	0,43	0,185	0,0795	6,3	0,155	0,222
...
...
30	200	0,54	-0,46	0,212	-0,0973	93,8	-0,268	-0,145
31	185	0,50	-0,50	0,250	-0,1250	96,9	-0,301	-0,150
	$\sum Q_i =$ =11378		+ 3.26 - 3.25	$\sum =$ =2.028	$\sum =$ =+0.0291		$\sum =$ = -0.475	$\sum =$ =0.451

В верхней строке этой таблицы указана точность, с которой необходимо определить соответствующие величины.

Для проверки правильности определения среднего значения сравниваем суммы положительных и отрицательных значений $\sum(K_i - 1)$. Они должны отличаться один от другого не более чем на 5%.

Метод наибольшего правдоподобия.

Для оценки коэффициентов вариации и асимметрии этим методом необходимо предварительно определить величины статистик:

$$\lambda_2 = \left(\sum_{i=1}^n \lg K_i \right) / (n-1)$$

$$\lambda_3 = \left(\sum_{i=1}^n K_i \lg K_i \right) / (n-1)$$

Результаты расчета, необходимые для определения этих статистик, сводятся в табл. 1.

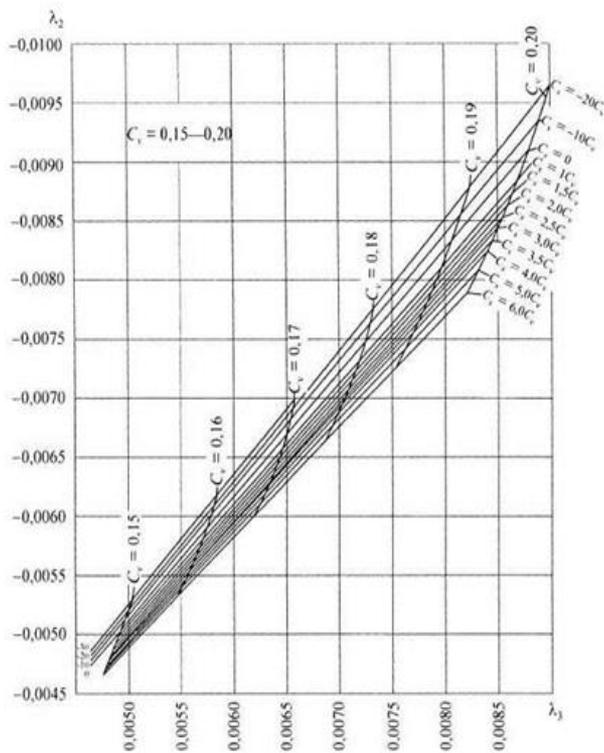
Таблица 1

<i>m</i>	Q_i в убывав. порядке	K_i	$K_i - 1$	$(K_i - 1)^2$	$(K_i - 1)^3$	$p, \%$	$\lg K_i$	$K_i * \lg K_i$
	Точность	0,01	0,01	0,001	0,0001	0,1	0,001	0,001
1	576	1,57	0,57	0,325	0,1852	3,1	0,196	0,308
2	526	1,43	0,43	0,185	0,0795	6,3	0,155	0,222
...
...
30	200	0,54	-0,46	0,212	-0,0973	93,8	-0,268	-0,145
31	185	0,50	-0,50	0,250	-0,1250	96,9	-0,301	-0,150
	$\sum Q_i =$ =11378		+ 3.26 - 3.25	$\sum =$ =2.028	$\sum =$ =+0.0291		$\sum =$ = -0.475	$\sum =$ =0.451

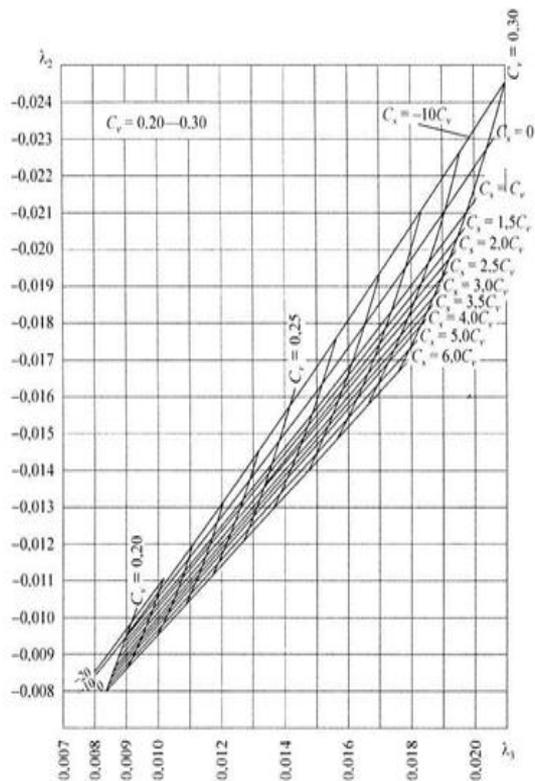
По рассчитанным значениям статистик по одной из номограмм ([прил. 2](#)) определяют характеристики ряда: C_v , C_s/C_v и C_s .

Приложение 2

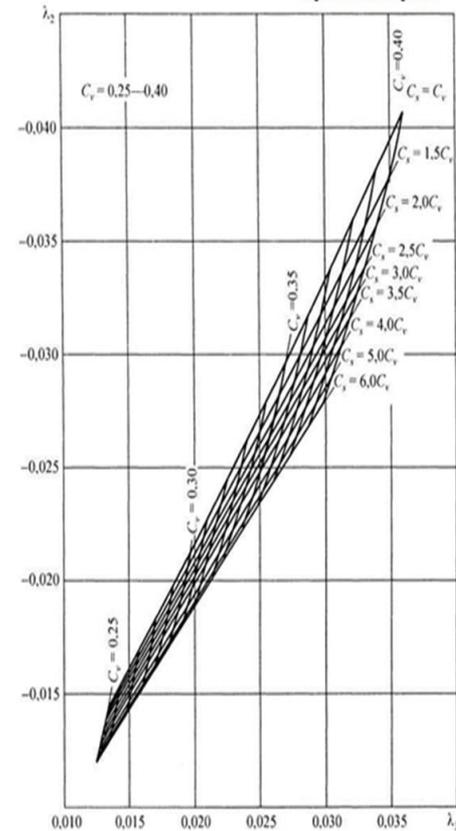
Номограммы для вычисления кривых трехпараметрического гамма-распределения методом наибольшего правдоподобия [10]



Продолжение прил.2



Продолжение прил.2



После определения параметров статистического ряда этими методами

По таблицам прил.3 находится ордината кривой трехпараметрического гамма-распределения ежегодных вероятностей превышения значений гидрологической характеристики (кривой обеспеченности) для заданной 1% обеспеченности $K_{1\%}$.

По ней вычисляем максимальный расход воды заданной обеспеченности

$$Q_{1\%} = K_{1\%} * Q_{\text{ср}}$$

Ординаты кривых трёхпараметрического гамма-распределения

Приложение 3

Ординаты кривых трёхпараметрического гамма-распределения [10]

p, %	C ₁						
	C ₁ = 0,5C ₂						
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7
0,10	1,310	1,630	1,950	2,250	2,500	2,690	2,740
0,33	1,280	1,560	1,840	2,110	2,350	2,540	2,630
1,00	1,240	1,480	1,720	1,950	2,170	2,370	2,500
3,00	1,190	1,380	1,580	1,780	1,970	2,160	2,330
5,00	1,170	1,330	1,510	1,680	1,860	2,030	2,220
10,00	1,130	1,260	1,390	1,530	1,670	1,830	2,010
25,00	1,070	1,130	1,200	1,270	1,350	1,450	1,560
50,00	0,999	0,997	0,993	0,988	0,980	0,962	0,920
75,00	0,932	0,862	0,789	0,709	0,615	0,503	0,376
95,00	0,837	0,676	0,517	0,362	0,221	0,113	0,047

p, %	C ₁							
	C ₁ = C ₂							
	0,0	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0
0,10	1,00	2,030	2,770	3,820	4,420	5,060	5,29	5,58
0,33	1,00	1,900	2,550	3,510	4,120	4,890	5,14	5,44
1,00	1,00	1,760	2,300	3,160	3,750	4,550	4,84	5,16
3,00	1,00	1,600	2,040	2,750	3,290	4,140	4,46	4,92
5,00	1,00	1,520	1,900	2,530	3,020	3,840	4,16	4,69
10,00	1,00	1,400	1,680	2,160	2,550	3,260	3,64	4,25
25,00	1,00	1,200	1,330	1,520	1,640	1,700	1,68	1,46
50,00	1,00	0,985	0,954	0,836	0,665	0,340	0,20	0,01
75,00	1,00	0,787	0,622	0,321	0,144	0,025	0,01	0,00
95,00	1,00	0,533	0,263	0,036	0,004	0,000	0,00	0,00

p, %	C ₁				
	C ₁ = 1,5C ₂				
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0
0,10	1,330	2,110	3,020	4,620	5,840
0,33	1,290	1,960	2,720	4,060	5,090
1,00	1,240	1,790	2,420	3,490	4,300
3,00	1,190	1,620	2,090	2,880	3,460
5,00	1,170	1,530	1,920	2,570	3,030
10,00	1,130	1,400	1,680	2,110	2,410
25,00	1,070	1,190	1,300	1,430	1,480
50,00	0,998	0,977	0,934	0,814	0,690
75,00	0,931	0,785	0,630	0,377	0,223
95,00	0,840	0,548	0,305	0,074	0,018

Продолжение прил.3

p, %	C ₁									
	C ₁ = 2,0C ₂									
	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	
0,10	1,00	1,340	2,190	3,270	5,300	6,910	9,600	11,600	17,000	
0,33	1,00	1,300	2,010	2,880	4,500	5,730	7,850	9,340	13,2700	
1,00	1,00	1,250	1,820	2,510	3,710	4,600	6,020	7,080	9,8000	
3,00	1,00	1,200	1,640	2,130	2,940	3,510	4,420	4,980	6,5000	
5,00	1,00	1,170	1,540	1,940	2,570	3,000	3,600	3,960	5,0000	
10,00	1,00	1,130	1,400	1,670	2,060	2,300	2,570	2,700	2,6000	
25,00	1,00	1,060	1,180	1,280	1,370	1,390	1,330	1,280	1,1800	
50,00	1,00	0,997	0,970	0,918	0,800	0,693	0,520	0,405	0,2000	
75,00	1,00	0,931	0,784	0,634	0,416	0,288	0,146	0,077	0,0250	
95,00	1,00	0,842	0,565	0,342	0,120	0,051	0,009	0,002	0,00002	

p, %	C ₁							
	C ₁ = 2,5C ₂							
	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0
0,10	1,350	2,270	3,510	5,900	7,760	10,900	13,200	19,800
0,33	1,300	2,070	3,040	4,840	6,180	8,410	10,000	14,810
1,00	1,250	1,860	2,590	3,870	4,780	6,220	7,200	9,740
3,00	1,200	1,650	2,150	2,960	3,500	4,300	4,810	6,010
5,00	1,170	1,550	1,950	2,550	2,940	3,480	3,810	4,520
10,00	1,130	1,400	1,660	2,010	2,220	2,460	2,590	2,790
25,00	1,070	1,180	1,260	1,320	1,330	1,290	1,240	1,050
50,00	0,997	0,964	0,906	0,787	0,695	0,552	0,459	0,259
75,00	0,931	0,785	0,640	0,443	0,332	0,199	0,133	0,039
95,00	0,843	0,576	0,373	0,172	0,093	0,030	0,012	0,001

p, %	C ₁								
	C ₁ = 3,0C ₂								
	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0
0,10	1,0	1,360	2,350	3,740	6,380	8,410	11,800	14,200	20,800
0,33	1,0	1,310	2,110	3,170	5,090	6,490	8,760	10,370	14,440
1,00	1,0	1,250	1,900	2,660	3,960	4,870	6,260	7,210	9,530
3,00	1,0	1,200	1,660	2,170	2,950	3,470	4,200	4,670	5,700
5,00	1,0	1,170	1,550	1,950	2,520	2,880	3,370	3,660	4,260
10,00	1,0	1,130	1,400	1,650	1,970	2,150	2,360	2,470	2,620
25,00	1,0	1,070	1,170	1,240	1,280	1,290	1,250	1,200	1,050
50,00	1,0	0,997	0,959	0,898	0,783	0,699	0,572	0,491	0,313
75,00	1,0	0,931	0,786	0,647	0,465	0,363	0,239	0,176	0,071
95,00	1,0	0,844	0,588	0,400	0,210	0,129	0,057	0,030	0,004

Продолжение прил.3

p, %	C ₁									
	C ₁ = 3,5C ₂									
	0,1	0,2	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	
0,10	1,370	1,840	2,430	3,930	6,770	8,900	12,400	14,900	21,400	
0,33	1,310	1,700	2,150	3,320	5,270	6,700	8,970	10,550	14,610	
1,00	1,250	1,570	1,930	2,710	4,000	4,900	6,260	7,160	9,360	
3,00	1,200	1,430	1,680	2,180	2,940	3,430	4,120	4,550	5,500	
5,00	1,170	1,360	1,560	1,940	2,490	2,830	3,280	3,550	4,080	
10,00	1,130	1,260	1,390	1,630	1,930	2,100	2,290	2,380	2,520	
25,00	1,070	1,120	1,160	1,220	1,260	1,260	1,220	1,180	1,050	
50,00	0,997	0,978	0,954	0,892	0,781	0,703	0,587	0,513	0,350	
75,00	0,931	0,858	0,787	0,654	0,482	0,386	0,268	0,206	0,099	
95,00	0,840	0,713	0,600	0,422	0,239	0,158	0,080	0,048	0,011	

p, %	C ₁									
	C ₁ = 4,0C ₂									
	0,0	0,1	0,3	0,5	0,8	1,0	1,3	1,5	2,0	
0,10	0,00	1,380	2,530	4,150	7,080	9,260	12,800	15,300	21,900	
0,33	0,00	1,320	2,220	3,390	5,400	6,820	9,100	10,640	14,600	
1,00	0,00	1,250	1,940	2,750	4,030	4,910	6,220	7,090	9,190	
3,00	0,00	1,200	1,680	2,180	2,920	3,390	4,040	4,450	5,340	
5,00	0,00	1,170	1,560	1,940	2,460	2,780	3,210	3,460	3,960	
10,00	0,00	1,130	1,390	1,620	1,900	2,050	2,240	2,320	2,450	
25,00	0,00	1,070	1,160	1,210	1,240	1,240	1,210	1,170	1,050	
50,00	0,00	0,997	0,950	0,888	0,781	0,707	0,598	0,529	0,375	
75,00	0,00	0,931	0,788	0,660	0,495	0,403	0,290	0,230	0,121	
95,00	0,00	0,846	0,611	0,440	0,261	0,180	0,098	0,064	0,019	

p, %	C ₁									
	C ₁ = 4,5C ₂									
	0,1	0,3	0,4	0,5	0,6	0,8	0,9	1,0		
0,10	1,380	2,610	3,410	4,300	5,250	7,310	8,400	9,530		
0,33	1,330	2,270	2,850	3,470	4,110	5,480	6,190	6,910		
1,00	1,270	1,970	2,360	2,770	3,190	4,040	4,470	4,900		
3,00	1,210	1,690	1,930	2,180	2,420	2,900	3,120	3,350		
5,00	1,180	1,560	1,750	1,930	2,100	2,440	2,590	2,740		
10,00	1,130	1,390	1,500	1,600	1,700	1,880	1,950	2,020		
25,00	1,060	1,150	1,180	1,200	1,210	1,230	1,230	1,230		
50,00	0,993	0,947	0,917	0,885	0,851	0,782	0,746	0,711		
75,00	0,930	0,790	0,726	0,666	0,609	0,506	0,460	0,417		
95,00	0,849	0,620	0,532	0,455	0,388	0,279	0,235	0,197		

Методы статистической обработки гидрометеорологической информации

Многие гидрологические характеристики:

- ❑ среднегодовой, максимальный и минимальный расходы воды;
- ❑ слой стока за половодье или паводок;
- ❑ продолжительность половодья или межени;
- ❑ дата начала и окончания ледостава на реке или озере и др.) определяются огромным числом факторов, степень влияния каждого из которых учесть практически невозможно.

С учётом этого, сама исследуемая характеристика может рассматриваться как случайная величина.

Кроме того, в практике гидрологических расчетов довольно часто встречаются задачи, когда необходимо определить значения гидрологических величин, которые будут встречаться в будущем, например в период эксплуатации того или иного гидротехнического сооружения.

Для решения такого рода задач используются методы теории вероятностей и математической статистики.

Закон распределения случайной величины

Аналитическими выражениями законов распределения случайных величин являются функции распределения:

- интегральная и
- дифференциальная.

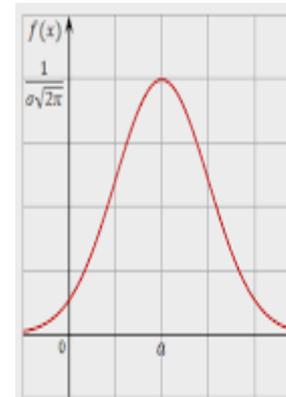


Рис. 16

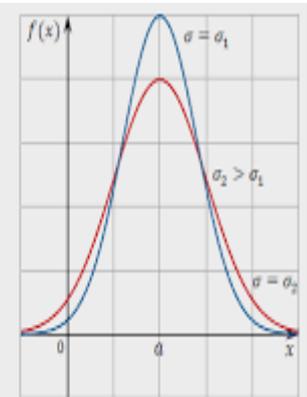


Рис. 17

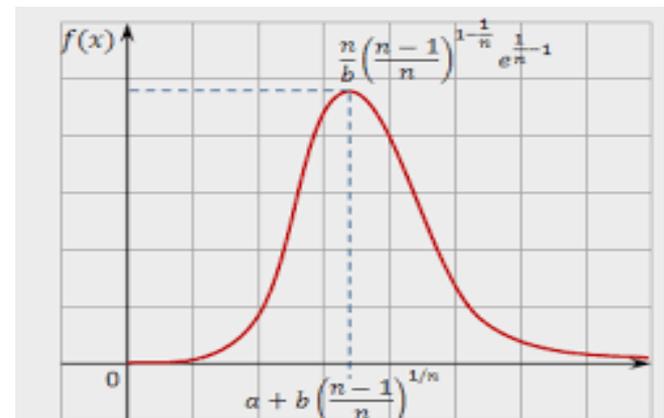
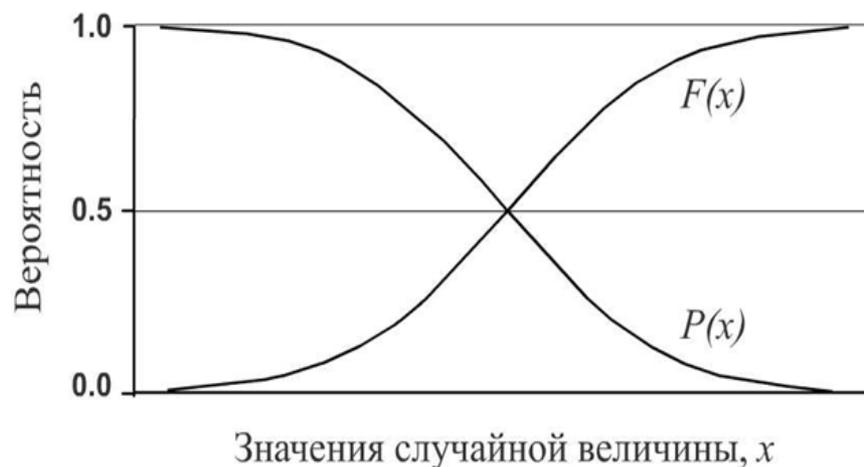


Рис. 22

Интегральная функция распределения

Интегральная функция распределения $F(x)$ случайной величины X показывает вероятность того, что случайная величина не превысит некоторого заданного числа x , то есть: $F(x) = \mathbf{P}\{X \leq x\}$



В российской гидрологической практике вместо функции $F(x)$ чаще используется так называемая функция обеспеченностей $P(x)$, которая связана с $F(x)$ выражением:

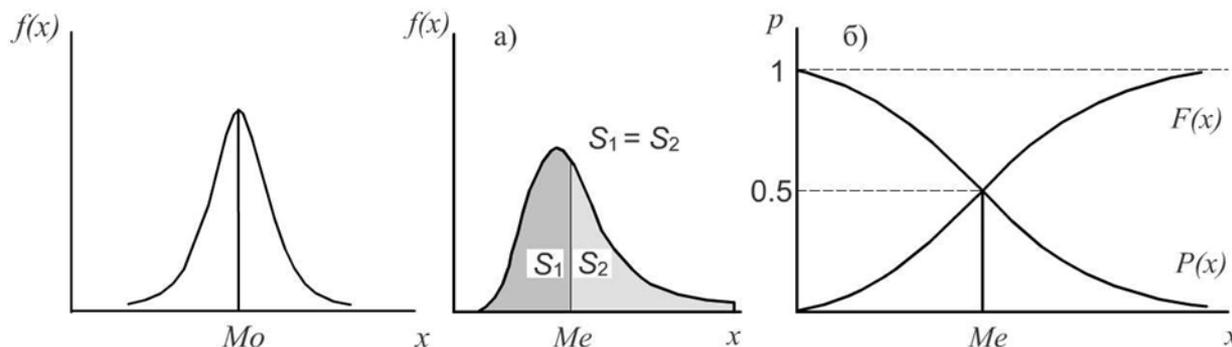
$$P(x) = 1 - F(x) = \mathbf{P}\{X \geq x\}$$

Числовые характеристики случайных величин

Характеристики положения

Модой M_o непрерывной СВ X называется такое ее значение, которому соответствует максимум плотности вероятности;

Медианой Me непрерывной СВ X называется такое ее значение, при котором $\mathbf{P}\{X < Me\} = \mathbf{P}\{X > Me\} = 0,5$;



Математическое ожидание (МО) случайной величины определяется следующими формулами:

$$m_x = \sum_i x_i p_i \quad \text{- для дискретной случайной величины,}$$

$$m_x = \int_{-\infty}^{+\infty} x f(x) dx \quad \text{- для непрерывной случайной величины.}$$

Математическое ожидание как генеральное среднее:

$$m_x = \bar{x}_N = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \text{при } N \rightarrow \infty$$

Состоятельной оценкой математического ожидания является выборочное среднее:

$$m_x \approx \bar{x}_n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Характеристики рассеивания

Дисперсия СВ X , представляет собой второй центральный момент:

$$D_x = \mu_2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^2}{N} \quad \text{при } N \rightarrow \infty \quad (1)$$

$$D_x \approx \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (2)$$

Среднеквадратическое отклонение (СКО) СВ X есть квадратный корень из дисперсии

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} \quad (3)$$

$$\sigma_x \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (4)$$

Коэффициент вариации

$$C_v = \frac{\sigma_x}{m_x} = \frac{\sqrt{D_x}}{m_x} \quad (5)$$

$$C_v \approx \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n}} \quad (6)$$

где $k_i = \frac{x_i}{\bar{x}}$

Коэффициент асимметрии

$$C_s = \frac{\mu_3}{\sigma_x^3} = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - m_x)^3}{N \sigma_x^3} \quad \text{при } N \rightarrow \infty \quad (7)$$

$$C_s \approx \frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{n C_v^3} \quad (8)$$

Построение эмпирической кривой обеспеченностей

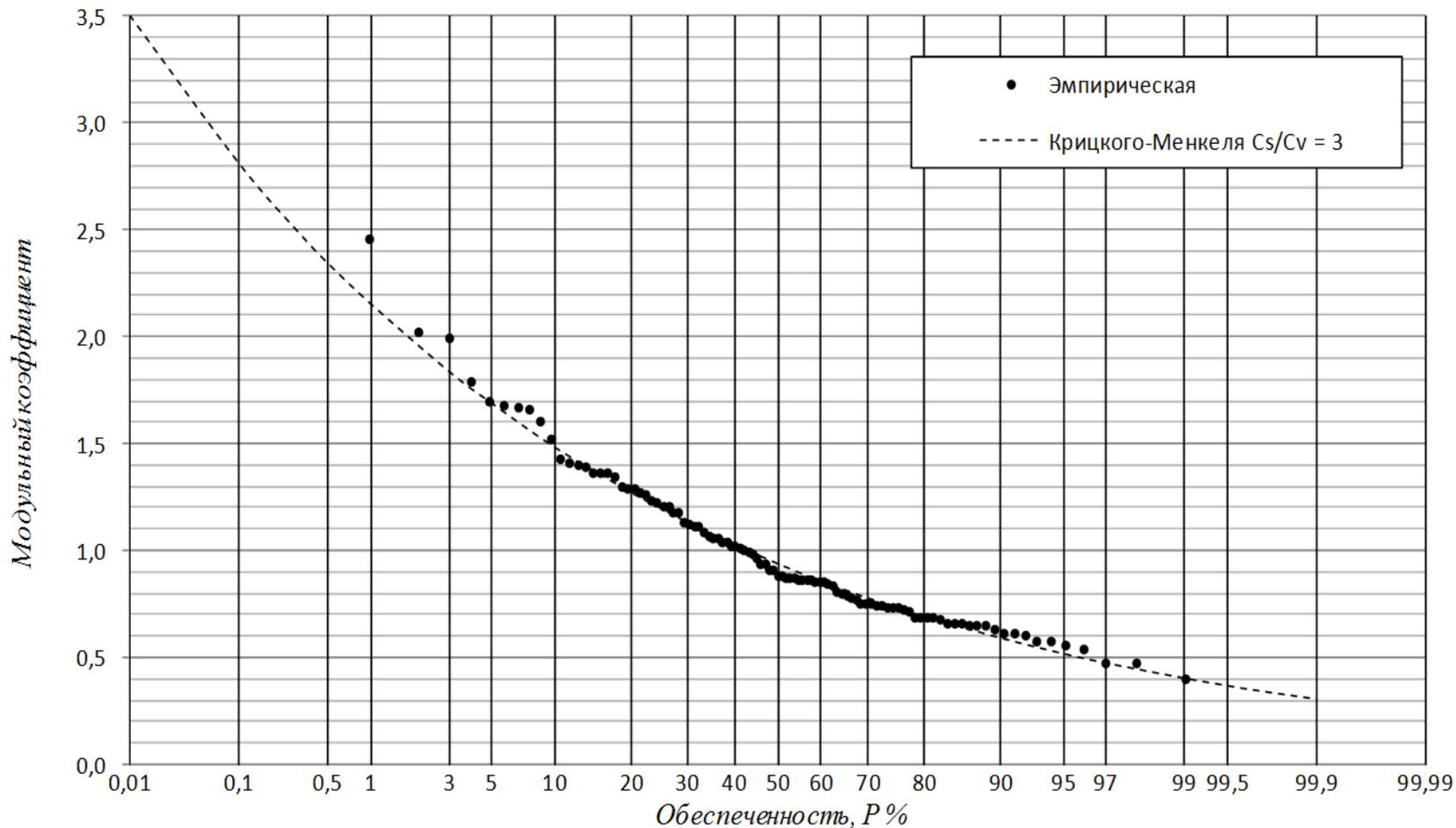
№	год	Q	$Q_{\text{ранж}}$	k	$P\%$
1	1881	446	446	2,46	0,98
2	1882	156	367	2,02	1,96
3	1883	117	361	1,99	2,94
4	1884	154	324	1,79	3,92
5	1885	191	307	1,69	4,90
...
98	1979	111	97,4	0,54	96,08
99	1980	140	86,4	0,48	97,06
100	1981	114	86,0	0,47	98,04
101	1982	117	72,5	0,40	99,02

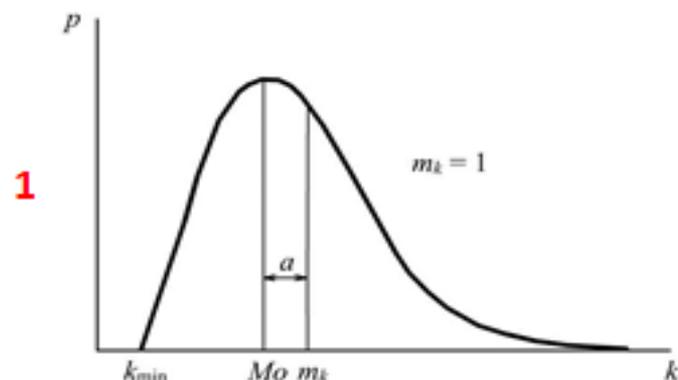
среднее	181,36
C_v	0,37
C_s	1,21
C_s/C_v	3,25

$$k_i = \frac{Q_i}{Q}$$

$$P = \frac{m}{n+1} 100\%$$

Эмпирическая и аналитические кривые обеспеченностей на клетчатке вероятностей с умеренной асимметрией





А. Фостер предложил использовать общее дифференциальное уравнение Пирсона:

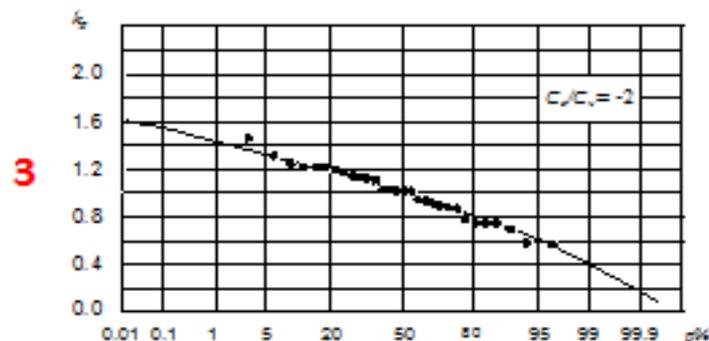
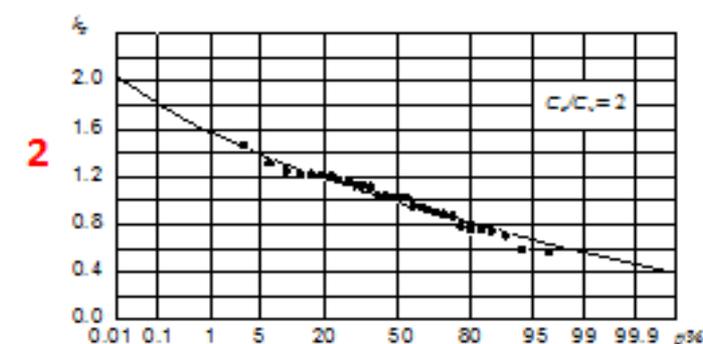
$$\frac{dy}{dx} = \frac{y(z+a)}{b_0 + b_1z + b_2z^2} \quad (1)$$

кривая Пирсона III типа, для которой $b_2 = 0$

$$\frac{dy}{dz} = \frac{y(z+a)}{b_0 + b_1z} \quad (2)$$

$$k_{\min} = 1 - 2C_v/C_s \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C_s = 2C_v & \text{ при } k_{\min} = 0, \\ C_s > 2C_v & \text{ при } k_{\min} > 0, \\ C_s < 2C_v & \text{ при } k_{\min} < 0. \end{aligned} \quad (4)$$



Тип распределения	Число параметров	Область изменения аргумента	Примечание
Равномерное	2	$[a, b]$	Прямоугольное
Нормальное	2	$(-\infty, +\infty)$	Симметричное, $C_s = 0$
Логнормальное	2	$[0, +\infty)$	Асимметричное $C_s = 3C_v + C_v^3$
Трехпараметрическое логнормальное	3	$[a, +\infty)$	Асимметричное, $a \geq 0$ при $C_s \geq 3C_v + C_v^3$
Гумбеля	2	$(-\infty, +\infty)$	Асимметричное, $C_s = 1,14$
Пирсона III типа	3	$[a, +\infty)$	Асимметричное, $a \geq 0$ при $C_s \geq 2C_v$
Крицкого-Менкеля	3	$[0, +\infty)$	Асимметричное, $0,5 \leq C_s/C_v \leq 6$
S_b -Джонсона	4	$[a, b]$	Асимметричное, $a \leq x_{\min}, b \geq x_{\max}$

Расчет оценок параметров распределения

Метод моментов

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n}$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n-1}}$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3}{(n-1)(n-2)C_v^3}$$

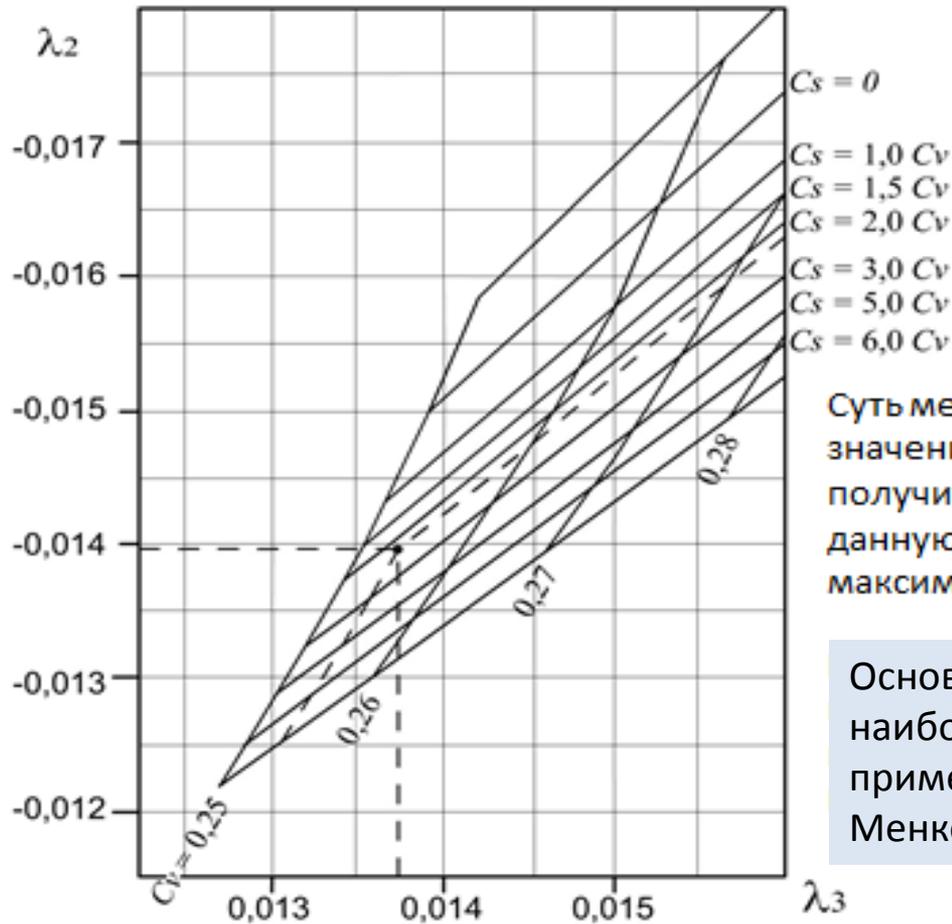
$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\%$$

$$\varepsilon_{C_v} = \frac{1}{n+4C_v^2} \sqrt{\frac{n(1+C_v^2)}{2} \left(1 + \frac{3C_v r^2}{1+r^2}\right)} 100\%$$

$$\varepsilon_{C_s} = \frac{1}{C_s} \sqrt{\frac{6}{n} (1 + 6C_v^2 + 5C_v^4)} 100\%$$

где r – районный коэффициент автокорреляции.

Метод наибольшего правдоподобия



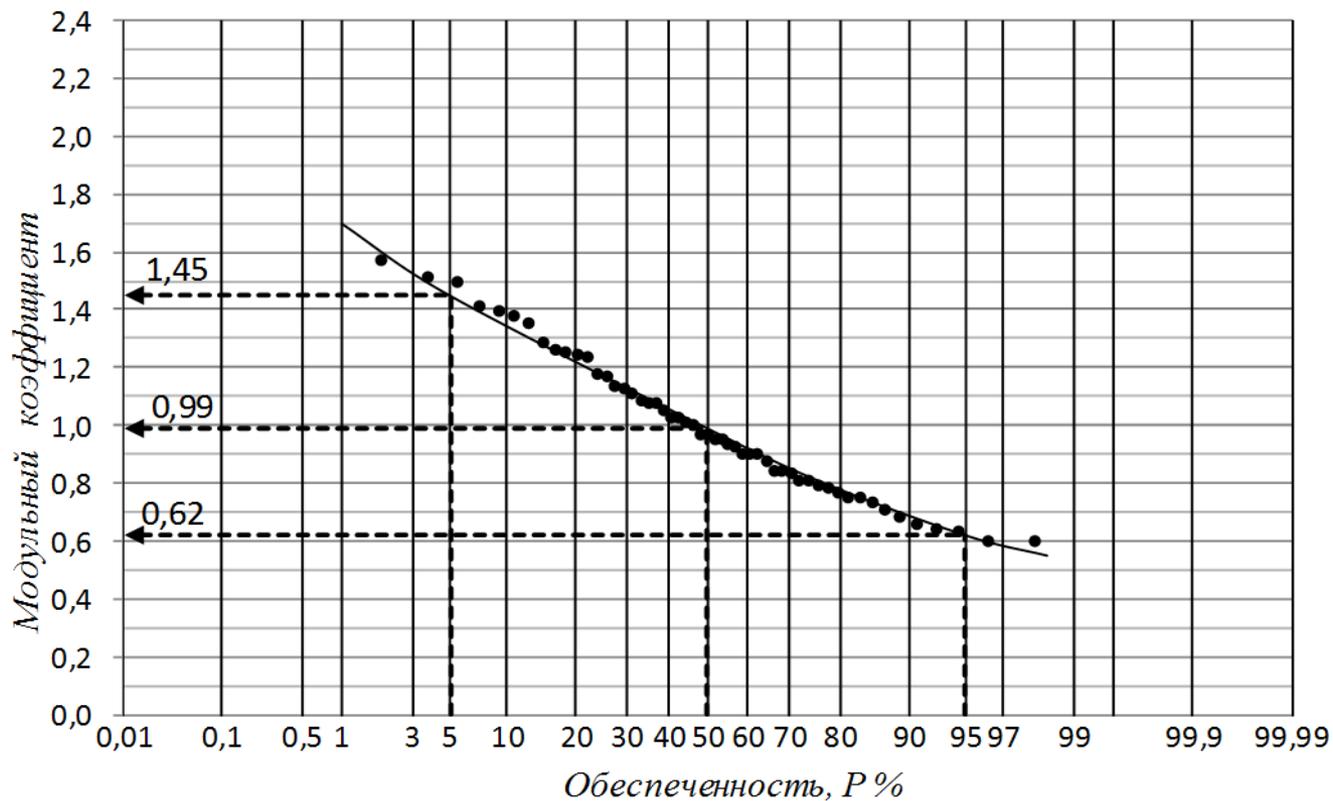
$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1}$$

$$\lambda_3 = \frac{\sum_{i=1}^n k_i \lg k_i}{n-1}$$

Суть метода состоит в том, чтобы найти такие значения параметров, при которых вероятность получить в результате n опытов именно данную выборку $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$ являлась бы максимальной.

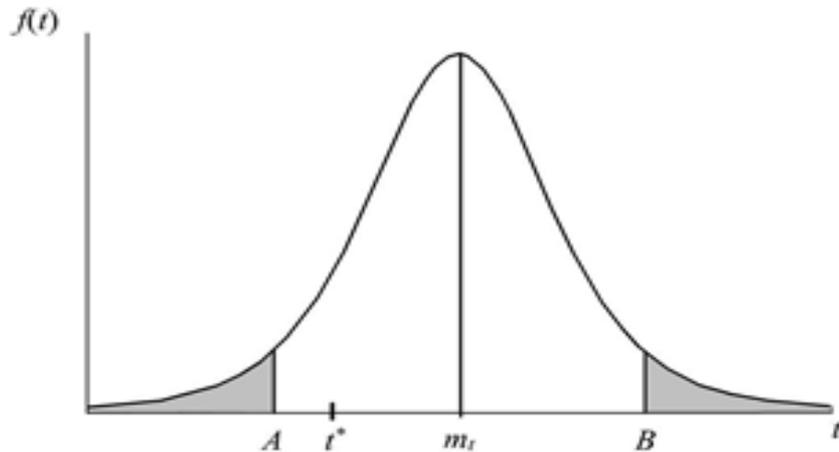
Основном номограммы для метода наибольшего правдоподобия разработаны применительно к распределению Крицкого – Менкеля.

Графоаналитический метод (метод квантилей)



$$S^* = (Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}) / (Q_5 - Q_{95})$$

Статистические гипотезы



$[A, B]$ – область принятия гипотезы

$(-\infty, A) + (B, +\infty)$ – критическая область

Не заштрихованная область –
доверительная вероятность P_d

Заштрихованная область –
уровень значимости 2α

$$2\alpha = (100 - P_d) \%$$

Гипотеза	Объективно верна	Объективно не верна
Принимается	Правильное решение	Ошибка II рода
Отвергается	Ошибка I рода	Правильное решение

Проверка однородности рядов

Критерий Стьюдента $H_0: \bar{Q}_1 = \bar{Q}_2$

$$t^* = \left[(\bar{Q}_1 - \bar{Q}_2) / \sqrt{\frac{(n_1 - 1)\sigma_1^2 + (n_2 - 1)\sigma_2^2}{n_1 + n_2 - 2}} \right] \sqrt{\frac{n_1 n_2}{n_1 + n_2}}$$

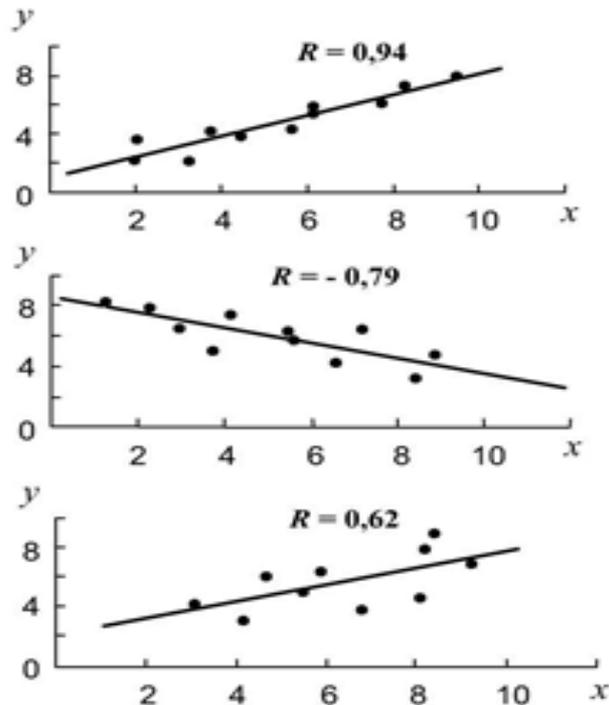
$(|t^*| = 0,87) < (t_{2\alpha} = 2,007)$ – гипотеза не опровергается

Критерий Фишера $H_0: D_1 = D_2$

$$F^* = \frac{D_1}{D_2}$$

$(F^* = 1,35) < (F_{2\alpha} = 2,17)$ – гипотеза не опровергается

Статистический анализ зависимостей между гидрологическими переменными



$$y = ax + b \quad (1)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (2)$$

$$a_{y/x} = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \quad (3)$$

$$b = \bar{y} - a\bar{x} \quad (4)$$

Связь надежная если: $n \geq 6$; $|R| \geq 0,7$; $|R| / \sigma_R \geq 2$; $|a| / \sigma_a \geq 2$. (5)



СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ =)

