

к.г.н., доц. Сикан Александр Владимирович  
Российский государственный гидрометеорологический университет

# Гидрологические расчеты

## Часть II

лекция № 3

# Основные темы лекции:

1. Расчет максимальных расходов воды при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений.
  - Усеченные кривые обеспеченностей.
  - Составные кривые обеспеченностей.
2. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений



# 1. Расчет максимальных расходов воды при неоднородности ряда гидрометрических наблюдений



В настоящее время многие гидрологические ряды являются неоднородными.

## ***Основные причины неоднородности:***

- изменение климата,
- влияние антропогенных факторов
- генетическая неоднородность.

В этой ситуации, действующие в России нормативные документы, допускают использовать при выполнении инженерных расчетов *усеченные* и *составные* кривые обеспеченностей.

## 1. 1. Усеченные кривые обеспеченностей

*Усеченными* называют кривые обеспеченностей, аппроксимирующие не всю эмпирическую кривую, а только ее часть. Например, при расчете максимальных расходов строится только верхняя часть кривой обеспеченностей, а при расчете минимальных расходов – только нижняя.

В СП 33-101-2003 представлена методика построения усеченной кривой обеспеченностей максимальных расходов воды на базе двухпараметрического гамма-распределения. Оценка параметров выполняется методом наибольшего правдоподобия.

При использовании этого метода исходный ряд ранжируется по убыванию и затем делится на две части по медиане. В дальнейшем рассматривают только верхнюю часть исходного ряда.

## Порядок расчетов при использовании усеченного гамма-распределения следующий:

1. Исходный ряд ранжируется по убыванию.
2. По первой половине ранжированного ряда рассчитывают среднее значение и статистику  $\lambda_2$ .
3. В зависимости от  $\lambda_2$  по таблице Б5 определяют *коэффициент вариации* усеченного  $\Gamma$ -распределения –  $C_v^*$ .
4. В зависимости от полученного  $C_v^*$  по таблице Б4 определяют параметр  $\varphi$ .
5. По формуле рассчитывают *среднее значение* для усеченного  $\Gamma$ -распределения.
6. *Отношение*  $C_s/C_v$  для  $\Gamma$ -распределения равно 2.

$$\bar{x}_{n/2} = \frac{1}{(n/2)} \sum_1^{n/2} x_i \quad (1)$$

$$\lambda_2 = \frac{1}{(n/2)} \sum_1^{n/2} \lg\left(\frac{x_i}{\bar{x}_{n/2}}\right) \quad (2)$$

$$x_0 = \varphi \cdot \bar{x}_{n/2} \quad (3)$$

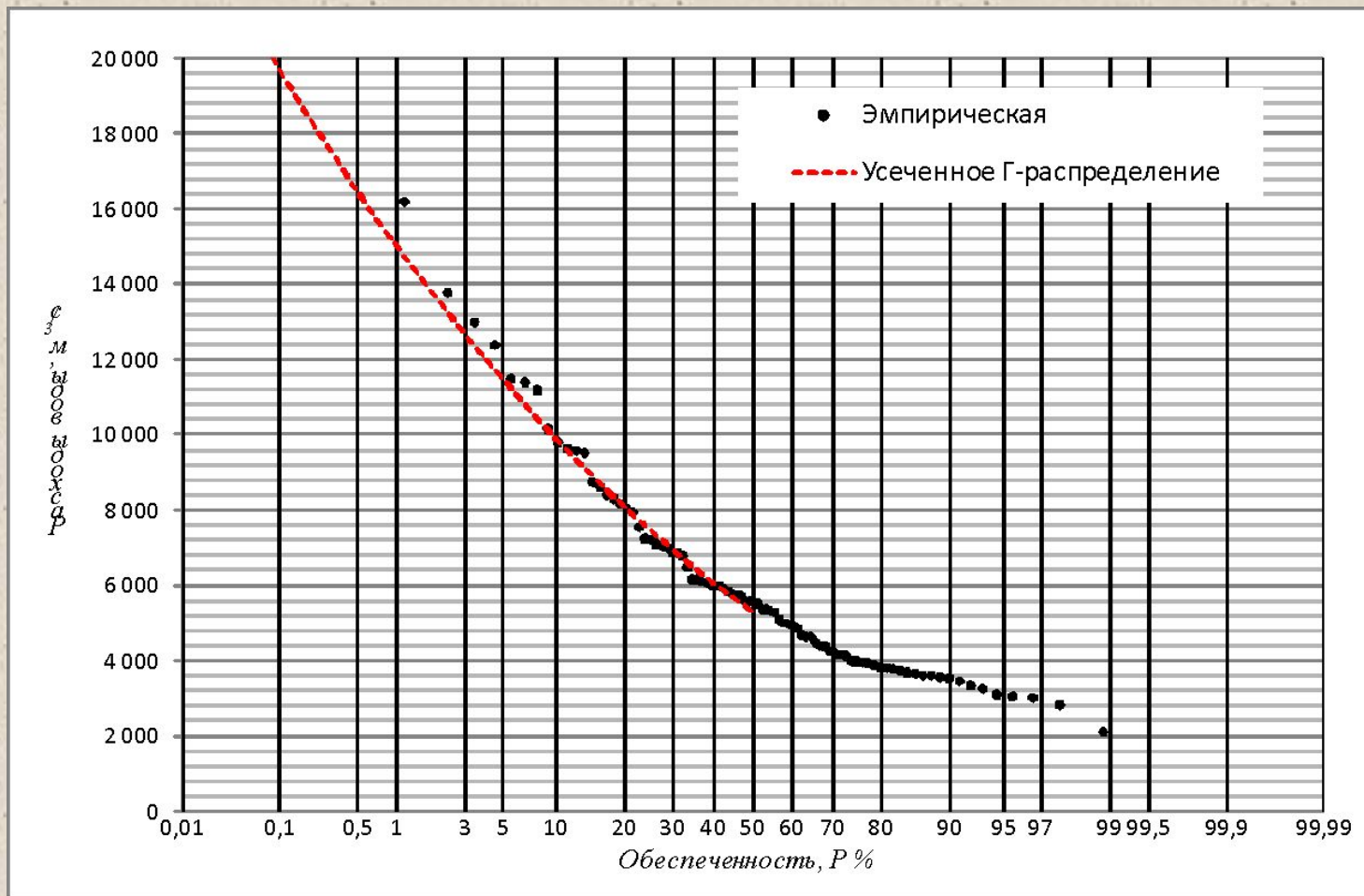
Таблица Б5.  $C_v^* = f(\lambda_2)$

$C_v^*$	0	1	2	3	4
0,2	0,00250	0,00281	0,00321	0,0343	0,00374
0,3	0,00560	0,00608	0,00656	0,00704	0,00752
0,4	0,0104	0,0109	0,0114	0,0119	0,0124
0,5	0,0161	0,0168	0,0176	0,0183	0,0191
0,6	0,0235	0,0243	0,0250	0,0259	0,0267

Таблица Б4.  $\varphi = f(C_v^*)$

$\varphi$	0	1	2	3	4
0,2	0,863	0,856	0,852	0,847	0,841
0,3	0,809	0,805	0,800	0,795	0,791
0,4	0,764	0,760	0,756	0,751	0,747
0,5	0,722	0,719	0,715	0,712	0,708
0,6	0,688	0,685	0,681	0,678	0,674

С использованием полученных параметров для диапазона обеспеченностей от 0,01% до 50% строится аналитическая кривая  $\Gamma$ -распределения



## 1.2. Составные кривые обеспеченностей

### 1.2.1. ПОСТРОЕНИЕ СОСТАВНОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ В КАЖДОМ ГОДУ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВСЕМИ ОДНОРОДНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ВОДНОГО РЕЖИМА

Этот тип составной кривой обеспеченностей строится в том случае, когда имеются параллельные наблюдения за каждым однородным элементом водного режима. Если таких элементов два, то  $n_1 = n_2$ .

Например, требуется построить кривую обеспеченностей наибольших в году максимальных расходов воды. При этом годовой максимум может наблюдаться в одни годы – в период весеннего половодья, в другие – в период дождевых паводков.

В этом случае строится кривая обеспеченностей для максимальных расходов дождевых паводков и максимальных расходов весеннего половодья. Затем на основе этих кривых строится составная кривая.

**ПОСТРОЕНИЕ СОСТАВНОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ В КАЖДОМ ГОДУ НАБЛЮДЕНИЙ ЗА ВСЕМИ ОДНОРОДНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ВОДНОГО РЕЖИМА ПРОИЗВОДИТСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ**

**ФОРМУЛЫ:**

$$P_{\%} = [1 - (1 - P_1)(1 - P_2) \dots (1 - P_k)] 100 \quad (1)$$

где  $P_1, P_2, \dots, P_k$  – обеспеченности однородных элементов водного режима в долях единицы.

**Расчет координат составной кривой обеспеченностей**

Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Обеспеченность максимального расхода, %		
	Весеннее половодье, $P_1$	Дождевой паводок, $P_2$	Составная кривая (формула 3)
...	...	...	...
100	55,35	18,99	63,8
110	40,04	15,95	49,6
120	28,46	13,43	38,1
130	19,87	11,34	29,0
140	13,63	9,59	21,9
...	...	...	...

**Если число однородных ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО РЕЖИМА РАВНО ДВУМ:**

$$P_{\%} = (P_1 + P_2 - P_1 P_2) 100 \quad (2)$$

**Если  $P_1$  и  $P_2$  ВЫРАЖЕНЫ В ПРОЦЕНТАХ, ТО ФОРМУЛА (2) ПРИНИМАЕТ ВИД:**

$$P_{\%} = P_1 + P_2 - (P_1 P_2) / 100 \quad (3)$$



## 1.2.2. Построение составной кривой обеспеченностей при наличии в каждом году наблюдений только за одним однородным элементом водного режима

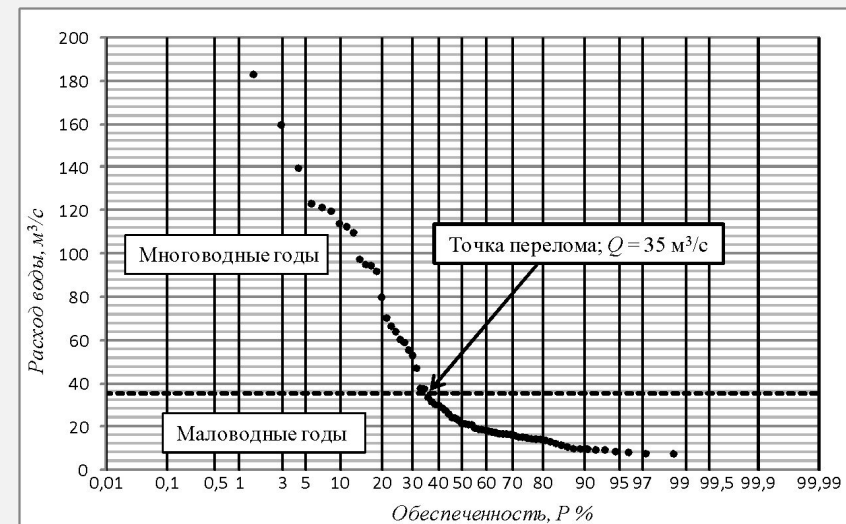
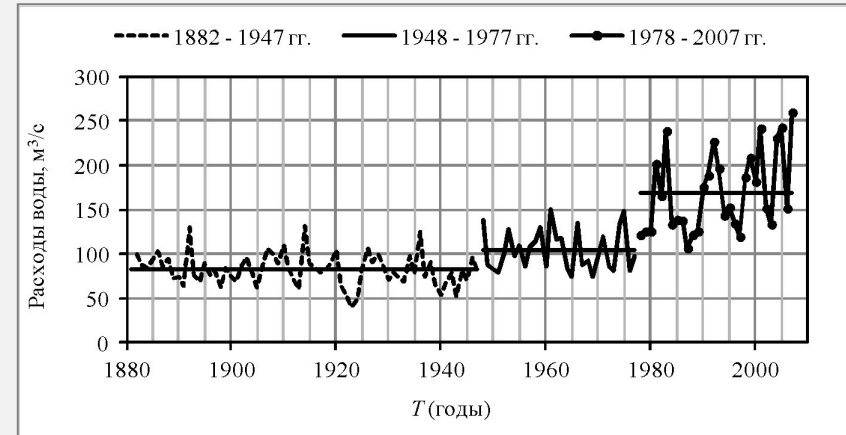
Составные кривые этого типа строятся в следующих случаях:

### **Случай нестационарного ряда.**

Если ряд включает несколько квазистационарных периодов. Например, в результате изменений климата одна часть ряда имеет статистические характеристики, существенно отличающиеся от статистических характеристик другой части ряда.

### **Случай генетической неоднородности.**

Ряд содержит расходы различного генетического происхождения. В этом случае ряд делится на две однородные выборки по точке перелома на эмпирической кривой обеспеченностей, построенной за весь период наблюдений.



**ПОСТРОЕНИЕ СОСТАВНОЙ КРИВОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТЕЙ ПРИ НАЛИЧИИ В КАЖДОМ ГОДУ НАБЛЮДЕНИЙ ТОЛЬКО ЗА ОДНИМ\_ОДНОРОДНЫМ\_ЭЛЕМЕНТОМ ВОДНОГО РЕЖИМА ПРОИЗВОДИТСЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ФОРМУЛЫ:**

$$P_{\%} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2 + \dots + n_j P_j}{n_1 + n_2 + \dots + n_j} \quad (1)$$

**Расчет координат составной кривой обеспеченностей**

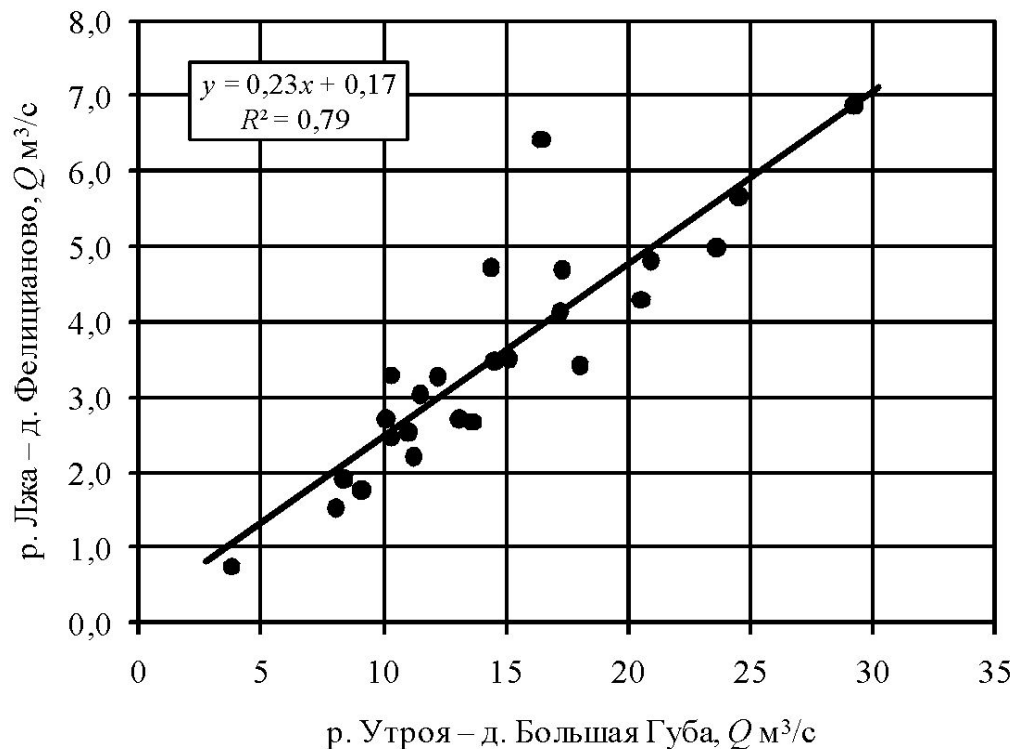
Расход воды, м <sup>3</sup> /с	Обеспеченность максимального расхода, %			
	<i>Первый однородный ряд, P<sub>1</sub></i>	<i>Второй однородный ряд, P<sub>2</sub></i>	<i>Третий однородный ряд, P<sub>3</sub></i>	<i>Составная кривая (формула 2)</i>
...	...	...	...	...
70	75,0	95,0	99,8	85,7
80	54,2	86,3	99,2	72,5
90	32,0	71,6	98,0	57,1
100	16,3	54,4	95,7	44,3
110	7,24	37,4	92,0	34,6
...	...	...	...	...

**Если число однородных ЭЛЕМЕНТОВ ВОДНОГО РЕЖИМА РАВНО ТРЕМ:**

$$P_{\%} = \frac{n_1 P_1 + n_2 P_2 + n_3 P_3}{n_1 + n_2 + n_3} \quad (2)$$

## **2. Определение расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений**

## 2.1. Расчет при недостаточности данных гидрометрических наблюдений (6 и более лет)



Параметр	Формула
Коэффициент корреляции, $R$	$R = \frac{\sum [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{(n - 1)\sigma_x \sigma_y}$
Погрешность коэффициента корреляции, $\sigma_R$	$\sigma_R = \frac{1 - R^2}{\sqrt{n - 1}}$
Коэффициент регрессии, $a$	$a = R \frac{\sigma_y}{\sigma_x}$
Погрешность коэффициента регрессии, $\sigma_a$	$\sigma_a = \frac{\sigma_y}{\sigma_x} \sqrt{\frac{1 - R^2}{n - 2}}$
Свободный член, $b$	$b = \bar{y} - a\bar{x}$
Уравнение регрессии	$y = ax + b$

Уравнение регрессии можно рекомендовать для практических расчетов, если выполнены следующие условия:

$$n \geq 6; \quad |R| \geq 0,7; \quad |R|/\sigma_r \geq 2; \quad |a|/\sigma_a \geq 2 \quad (1)$$

*Восстановление ряда  
расчетной реки:*

$$(2) \quad Q_i = \bar{Q}_n + R \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} (Q_{i,a} - \bar{Q}_{n,a})$$

$$(3) \quad Q_i^* = \frac{Q_i - \bar{Q}_n}{R} + \bar{Q}_n$$

*Расчет параметров  
распределения:*

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + R \frac{\sigma_n}{\sigma_{n,a}} (\bar{Q}_{N,a} - \bar{Q}_{n,a}) \quad (4)$$

$$C_{v,N} = \frac{\sigma_n}{\bar{Q}_N \sqrt{1 - R^2 \left( 1 - \frac{\sigma_{n,a}^2}{\sigma_{N,a}^2} \right)}} \quad (5)$$

## 2.2. Расчет погрешностей статистических характеристик восстановленного ряда

Относительная среднеквадратическая погрешность среднего значения восстановленного ряда определяется по формуле:

$$\varepsilon_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_n}{\bar{Q}_N \sqrt{n}} \sqrt{1 + R^2 \left( \frac{n}{N} \frac{\sigma_{N,a}^2}{\sigma_{n,a}^2} - 1 \right)} \quad (1)$$

Случайные среднеквадратические погрешности восстановленного ряда можно определить по «обычным» формулам с учетом объема информации, эквивалентной наблюдаемым данным.

$$N_{\text{э.г}} = \frac{N}{1 + \frac{N-n}{n-2} (1-R^2)} \quad (2)$$

$$N_{\text{э.с}} = \frac{Nn}{n + (N-n)(1-R^4)} \quad (3)$$

- $n$  – число совместных лет наблюдений в расчетном створе и в створе реки-аналога;
- $(N - n)$  – число восстановленных членов ряда по уравнению;
- $R$  – коэффициент парной корреляции.

## 2.3. Расчет при наличии кратковременных наблюдений (менее 6 лет)

### Метод отношений

Метод отношений используют при выполнении условия  $R \geq R_{кр}$ , где  $R$  определяют по пространственной корреляционной функции. Пункты-аналоги обычно выбирают по наименьшему расстоянию между центрами тяжести водосборов проектируемого пункта и пунктов-аналогов.

При наличии нескольких пунктов-аналогов расчеты осуществляют последовательно по всем аналогам (не более трех аналогов), затем – результаты осредняют.

**Основа метода:**

$$\frac{Q_{i(a)}}{Q_{p\%(a)}} = \frac{Q_i}{Q_{p\%}} \rightarrow ?$$

**Расчетная формула:**

$$Q_{p\%} = \frac{Q_i Q_{p\%(a)}}{Q_{i(a)}}$$

**Пример:**

$$Q_{1\%} = \frac{Q_{2010} Q_{1\%(a)}}{Q_{2010(a)}}$$

- $Q_{p\%}$  – максимальный расход  $P\%$ -ной обеспеченности расчетной реки;
- $Q_{p\%(a)}$  – максимальный расход  $P\%$ -ной обеспеченности реки-аналога;
- $Q_i$  – максимальный расход  $i$ -того года расчетной реки;
- $Q_{i(a)}$  – максимальный расход  $i$ -того года реки-аналога.

# Вопросы для самопроверки

1. Когда допускается применять усеченные кривые обеспеченностей?
2. Алгоритм построения усеченного Г-распределения.
3. В каких случаях используются составные кривые обеспеченностей?
4. Как построить составную кривую обеспеченностей для наибольших в году максимальных расходов воды, если весенние и дождевые максимумы близки по величине?
5. Как построить составную кривую обеспеченностей при наличии в каждом году наблюдений только за одним однородным элементом водного режима?
6. Как производится расчет максимального стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений при длине ряда 6 и более лет.
7. Как производится расчет максимального стока при недостаточности данных гидрометрических наблюдений при длине ряда менее 6 лет?



## Конец лекции №3

### Рекомендуемые материалы для изучения:

1. Владимирова А.М. Гидрологические расчёты: п.9.3.
2. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»: п. 5.12, п 5.29.
3. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при наличии данных гидрометрических наблюдений: п.3, п.9.
4. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.