



# Основы инженерной гидрологии

- ✓ Суммарные запасы пресных вод на земном шаре оцениваются в **35 млн. км<sup>3</sup>**, что составляет всего **2,3%** общего объема воды на Земле.
- ✓ Из них более **68%** содержатся во льдах Антарктиды и Гренландии, **30%** - в подземных водах и только **1%** - в озерах, реках и болотах, но именно эти воды представляют наибольшую ценность для человека.

- ✓ Изучением водных объектов расположенных на материках и островах занимается наука «Гидрология суши».
- ✓ Гидрологи изучают водный режим рек, озер, водохранилищ, болот, ледников; исследуют их взаимодействие с окружающей средой.

Датой рождения инженерной гидрологии принято считать 1674 год, когда француз Пьер Перро (брат известного сказочника) измерил водный баланс реки Сены и доказал, что количество осадков выпавших на поверхность ее бассейна превышает объем стока. Таким образом, инженерной гидрологии в этом году исполняется 338 лет.

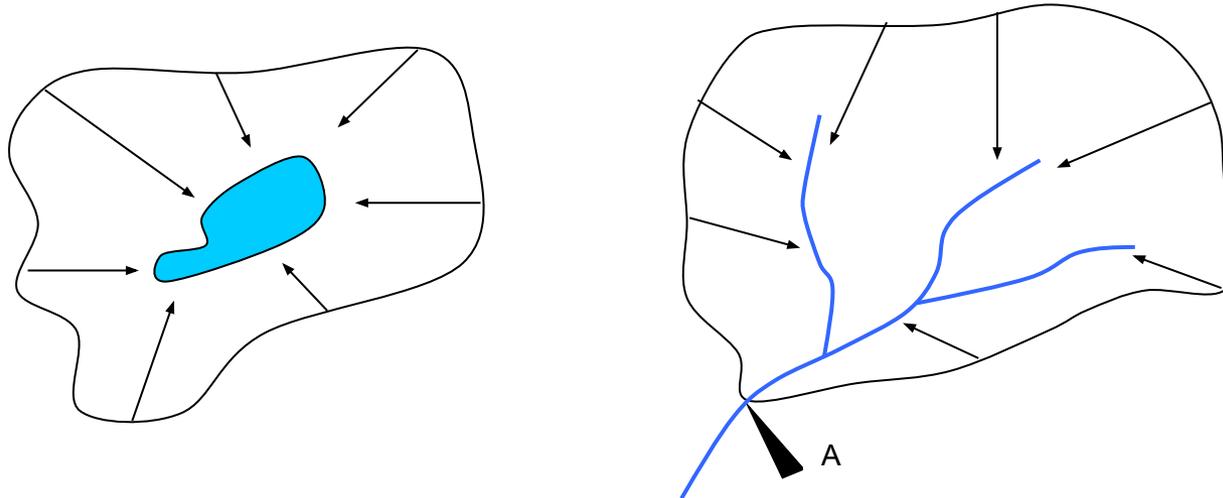
## Как показали исследования, в ежегодном круговороте на Земле участвует 577 000 км<sup>3</sup> воды:

Испарение с поверхности океана	505 000	км <sup>3</sup> /год
Испарение с поверхности суши	72 000	км <sup>3</sup> /год
Осадки на поверхность океана	458 000	км <sup>3</sup> /год
Осадки на поверхность суши	119 000	км <sup>3</sup> /год

Разность испарения с поверхности океана и осадков представляет собой тот источник воды, который питает ежегодно все воды суши – реки, озера, подземные воды, ледники:

$$Y = 505\,000 - 458\,000 = \mathbf{47\,000\text{ км}^3/\text{год.}}$$

# Водосбор



## Водосборы бессточного озера и реки для створа А

Каждый водный объект на поверхности суши имеет свою область питания, или **водосбор**, представляющий собой часть земной поверхности и толщу почв и горных пород, откуда вода поступает к водному объекту. Бассейн любого водного объекта состоит из поверхностного и подземного водосборов.

Водосборы водных объектов отделяются друг от друга **водоразделами**, т. е. линиями, проходящими по наивысшим точкам земной поверхности, расположенной между ними.

# Уравнение водного баланса речного бассейна

$$X + Z_1 = Y + W + Z_2 \pm \Delta U$$

**приходная часть:**

X – атмосферные осадки на поверхность речного бассейна;

Z<sub>1</sub> – конденсация водяного пара;

**расходная часть:**

Y – поверхностный сток;

W – подземный сток (для малых рек);

Z<sub>2</sub> – суммарное испарение с бассейна;

**изменение запасов воды на бассейне: ΔU.**

Для многолетнего периода:  $X_0 = Y_0 + Z_0$

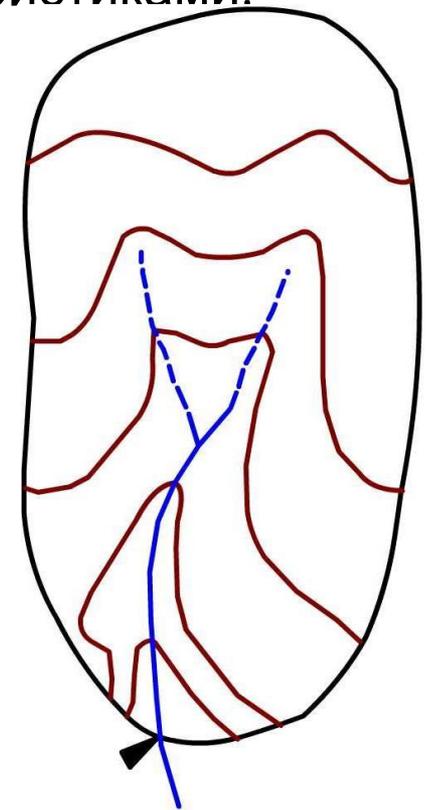
X<sub>0</sub>, Y<sub>0</sub>, Z<sub>0</sub> – средние многолетние значения осадков, стока и испарения.

# Морфометрические характеристики водосбора

Для количественного описания индивидуальных особенностей водосбора используются некоторые числовые показатели, которые называют морфометрическими характеристиками.

- ✓ Площадь водосбора ( $F$  или  $A$ ), км<sup>2</sup>
- ✓ Средняя высота водосбора ( $H$ ), м
- ✓ Относительная озерность  $f_{оз} = (F_{оз}/F)100 \%$
- ✓ Относительная залесенность  $f_{л} = (F_{л}/F)100 \%$
- ✓ Относительная заболоченность  $f_{б} = (F_{б}/F)100 \%$
- ✓ Средний уклон водосбора ( $I_{с}$ ), ‰

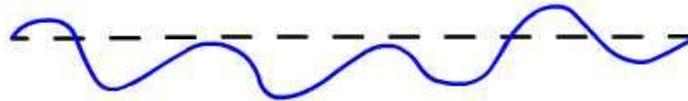
$$I_{с} = [0,5(l_0 + l_n) + l_1 + l_2 + \dots + l_{n-1}] \frac{\Delta h}{F}$$



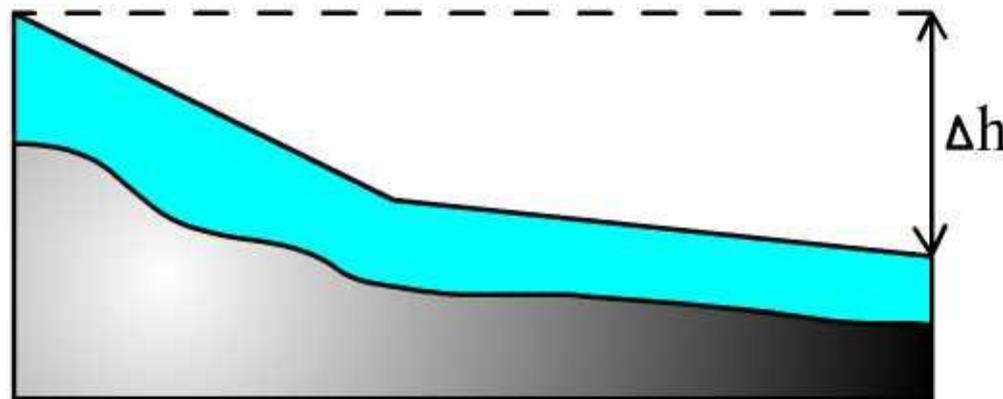
# Морфометрические характеристики реки

*Длина реки ( $L$ ), км*

*Коэффициент извилистости реки - отношение длины реки в пределах исследуемого участка к длине прямой соединяющей концы этого участка*



*Средний уклон реки ( $I$ ), ‰ - отношение падения реки на каком-либо её участке к длине этого участка*



# Классификация рек по размеру их водосборного бассейна

**Большая река** – река, бассейн которой располагается в нескольких географических зонах и гидрологический режим которой в целом не свойственен рекам каждой географической зоны в отдельности.

**Средняя река** обычно имеет бассейн в пределах одной географической зоны. Гидрологический режим средней реки характерен для большинства рек этой зоны, т. е. носит *зональный* характер.

**Малая река** также имеет бассейн, расположенный в пределах одной географической зоны, но ее гидрологический режим под влиянием местных условий может существенно отличаться от режима, свойственного большинству рек данной географической зоны (*азональность*).

# Элементы речной долины

Реки обычно текут в узких вытянутых понижениях рельефа, которые называются *речными долинами*.

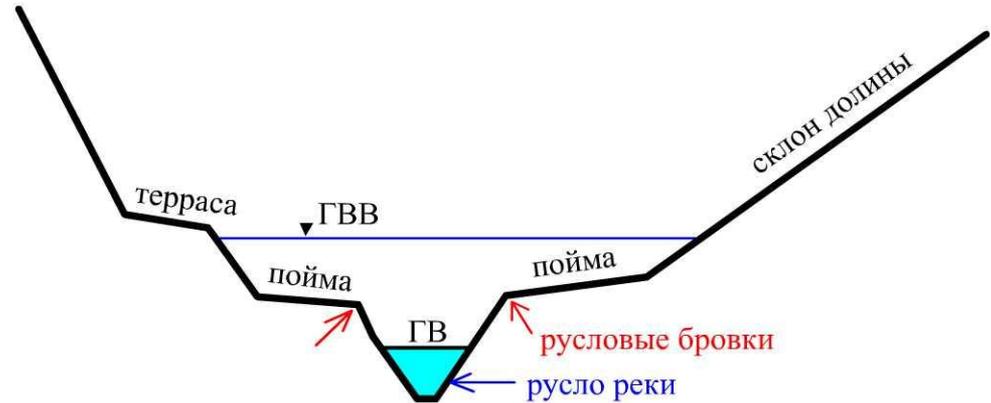
*Дно*, или *ложе* – это наиболее пониженная часть долины.

Повышенные участки суши, ограничивающие с боков дно долины, называются *склонами*.

*Террасами* называются относительно горизонтальные площадки, которые располагаются уступами по высоте в пределах дна и склонов долины.

Терраса, расположенная в пределах дна долины и периодически заливаемая речными водами во время половодья или паводков, называется пойменной террасой или просто *поймой*.

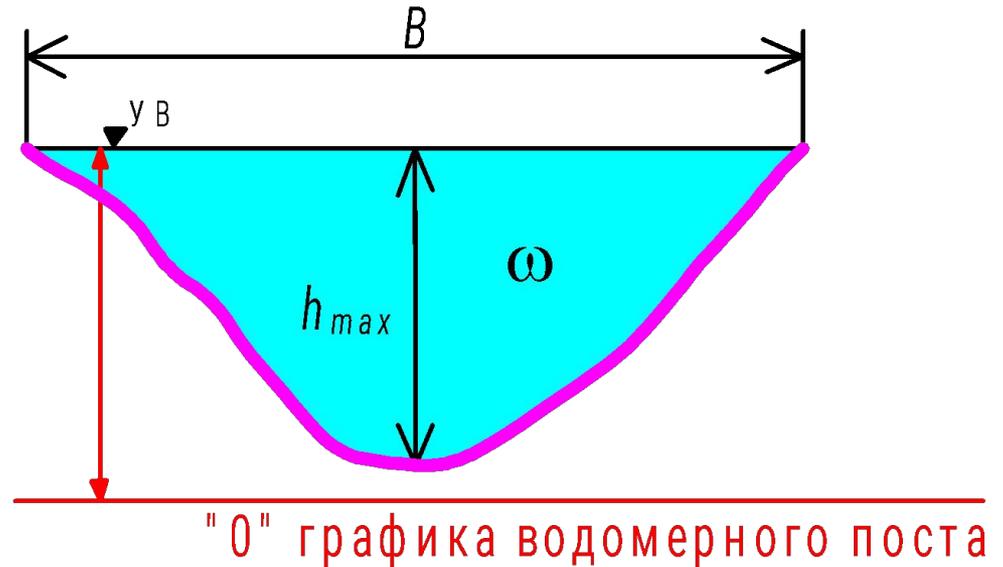
Эрозионный врез, образованный речным потоком и проходящий по дну долины в продольном направлении, называется *руслом реки*.



# Водное сечение речного потока

## Элементы водного сечения

- ✓ Площадь живого сечения -  $\omega$
- ✓ Ширина русла -  $B$
- ✓ Смоченный периметр -  $P$
- ✓ Гидравлический радиус:  $R = \omega/P$
- ✓ Максимальная глубина -  $h_{\max}$
- ✓ Средняя глубина:  $h_{\text{ср}} = \omega/B$



Элементы водного сечения не остаются постоянными. Величины их находятся в прямой зависимости от уровня воды в реке.

# Наблюдения за уровнями

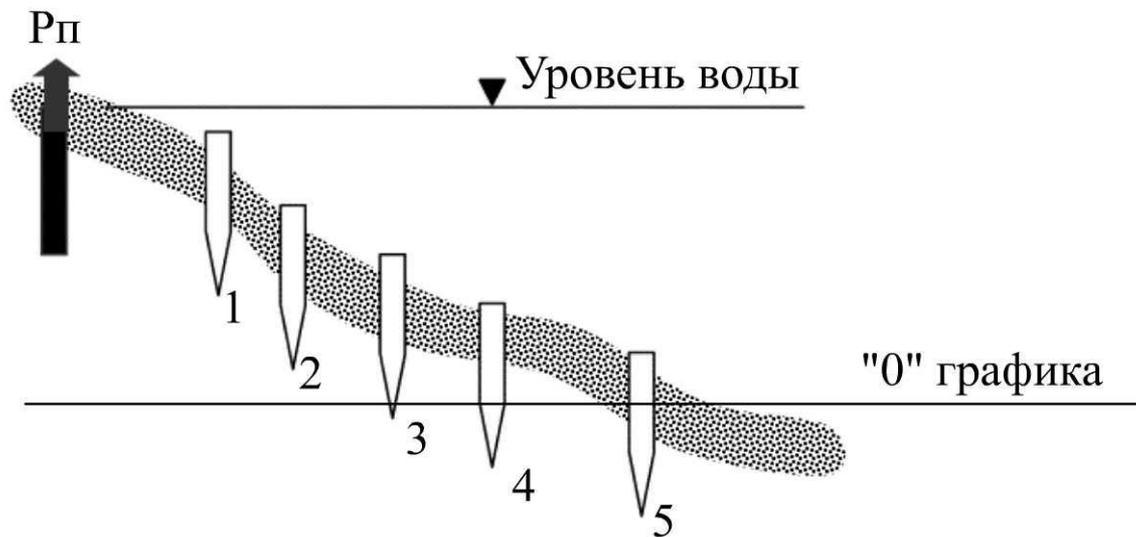


Рис.  
1

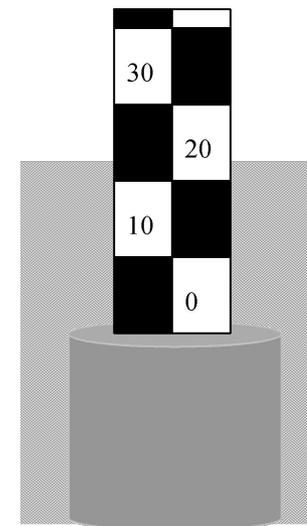


Рис.  
2

Свайный водомерный пост (рис.1) и отсчет уровня по переносной рейке (рис.2).

# Основные характеристики речного стока

**Расход воды** – это количество воды, протекающее через поперечное сечение потока в единицу времени. Расходы воды ( $Q$ ) обычно выражаются в м<sup>3</sup>/с, а для малых водотоков – в л/с.

Расход воды можно представить как произведение площади живого сечения потока ( $\omega$ , м<sup>2</sup>) на среднюю скорость течения воды ( $V_{\text{ср}}$ , м/с):

$$Q = \omega V_{\text{ср}}$$

**Объём стока** ( $W$ ) – количество воды, протекающее в русле реки через замыкающий створ за время  $T$  (сут):

$$W = 86400 Q_{\text{ср}} T [\text{м}^3] = 8,64 \cdot 10^{-5} Q_{\text{ср}} T [\text{км}^3]$$

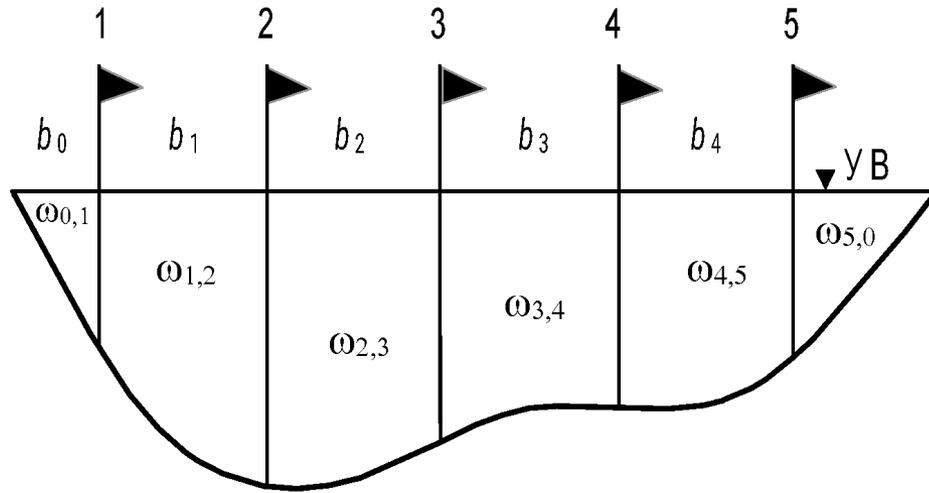
**Модуль стока** ( $q$  или  $M$ ) – количество воды, стекающее с единицы площади за единицу времени, л/(с · км<sup>2</sup>):

$$q = 10^3 (Q / F)$$

**Слой стока** ( $h$  или  $Y$ , мм) за  $T$  суток можно получить, если объём стока за  $T$  суток равномерно распределить по всей площади водосбора:

$$h = 86,4 \frac{TQ}{F}$$

# Измерение расходов воды



$$\omega = \frac{h_1 b_0}{2} + \frac{(h_1 + h_2) b_1}{2} + \dots + \frac{h_n b_n}{2} \quad (3)$$

$$V_{\text{cp}} = \frac{Q}{\omega} \quad (4)$$

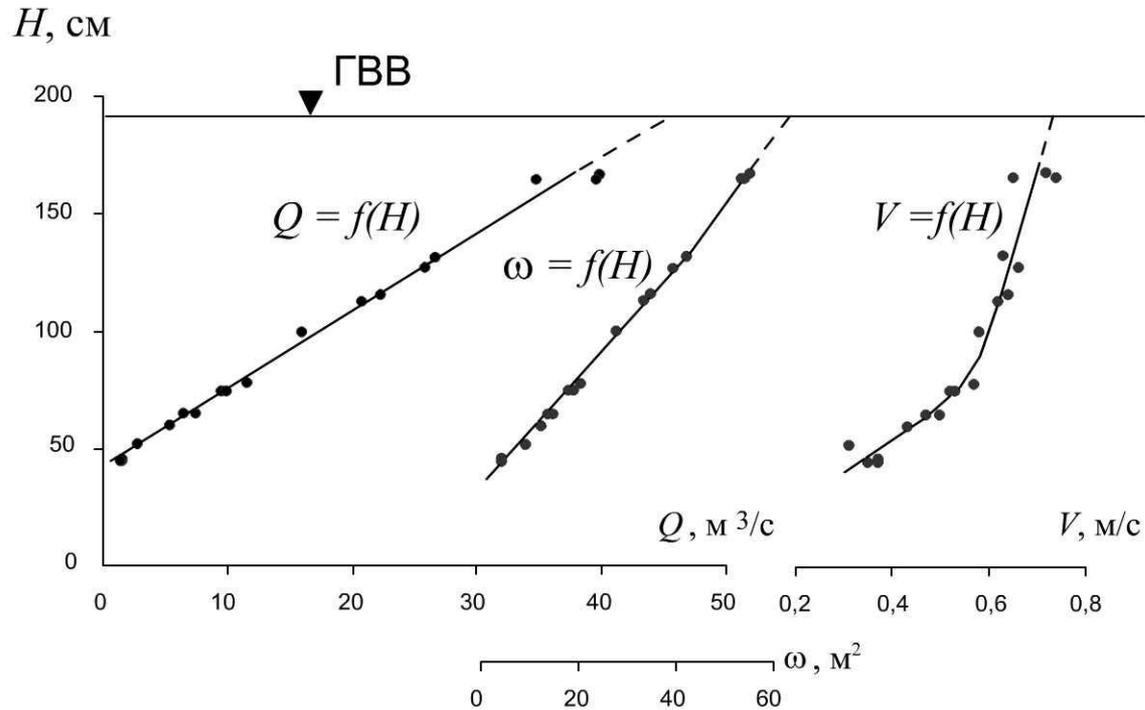
$$Q = \sum_{i=1}^{i=n} \Delta Q_i = k V_1 \omega_{0,1} + \left( \frac{V_1 + V_2}{2} \right) \omega_{1,2} + \dots + \left( \frac{V_{n-1} + V_n}{2} \right) \omega_{n-1,n} + k V_n \omega_{n,0} \quad (1)$$

Значение  $k$  колеблется в пределах 0,7 – 0,9. При наличии мертвого пространства  $k = 0,5$ .

Средняя скорость на вертикали при измерении  $a$  в тех точках:

$$V_{\text{cp}} = (1/36) (17V_{0.2} + 3V_{0.6} + 16V_{0.8}) \quad (2)$$

# Связь расходов и уровней воды



Кривая расходов  $Q = f(H)$ , скоростей  $V = f(H)$  и площадей живых сечений  $\omega = f(H)$ ; ГВВ – горизонт высоких вод.

# Источники питания рек

Основной источник питания всех рек на Земле – атмосферные осадки.

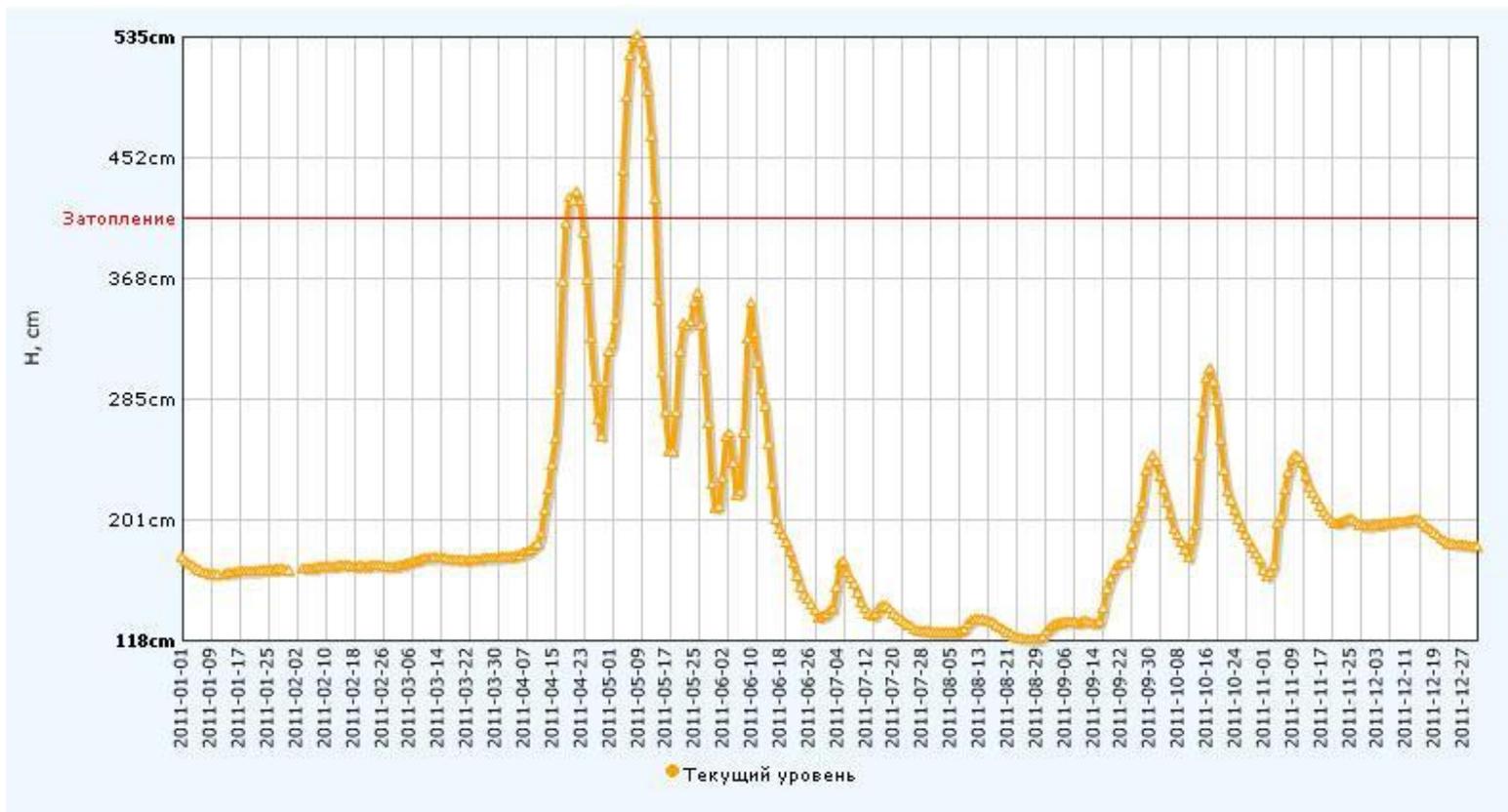
## Четыре источника питания рек:

- ✓ жидкие осадки;
- ✓ снежный покров;
- ✓ высокогорные снега и ледники;
- ✓ подземные воды.

*Соотношения между количеством воды, поступающей в реки от того или иного источника питания, меняются в течение года и неодинаковы в различных районах.*

# Фазы водного режима

Годовой цикл водного режима реки подразделяется на характерные периоды (*фазы*): половодье, паводки, межень (летне-осенняя и зимняя).



Гидрограф за 2011 г. Река Вычегда – с. Помоздино, F = 4660 км<sup>2</sup>.

**Половодье** – фаза водного режима реки, которая ежегодно повторяется в данных климатических условиях и характеризуется значительным повышением водности, высоким и продолжительным подъемом уровня обычно с выходом воды на пойму.

**Паводок** – это фаза водного режима, которая может многократно повторяться в различные сезоны года и характеризуется интенсивным, обычно кратковременным, увеличением расходов и уровней воды и вызывается дождями или снеготаянием во время оттепелей.

**Межень** (меженный период) – это фаза водного режима продолжительностью не менее 10 дней, ежегодно повторяющаяся в одни и те же сезоны и характеризующаяся малой водностью. В умеренных и высоких широтах различают *летне-осеннюю межень* и *зимнюю межень*.

## Русловые процессы

Вода, стекающая под действием силы тяжести по склонам и руслам рек, обладает энергией, то есть способностью совершать работу.

**Русловые процессы** – это постоянно происходящие изменения морфологического строения речного русла и поймы под действием текущей воды.

Конкретные проявления русловых процессов (изменение положения русла и поймы, размыв и намыв дна и берегов) называются **русловыми деформациями**.

В результате русловых деформаций и отложения наносов в русле реки и на пойме формируются характерные формы рельефа, которые называют **русловыми образованиями**.

Русловые образования принято делить на три группы: **микроформы, мезоформы и макроформы**.

К **микроформам** относятся донные гряды, размеры которых существенно меньше глубины и ширины русла.

**Мезоформы** – это также состоящие из наносов гряды, но более крупного размера, соизмеримые с поперечным сечением русла. К мезоформам относятся речные перекаты, осередки, небольшие острова.

К **макроформам** относятся русловые образования, охватывающие значительные участки русла и поймы. К макроформам относятся излучины, пойменная и русловая многорукавность, устья рек.

## **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.

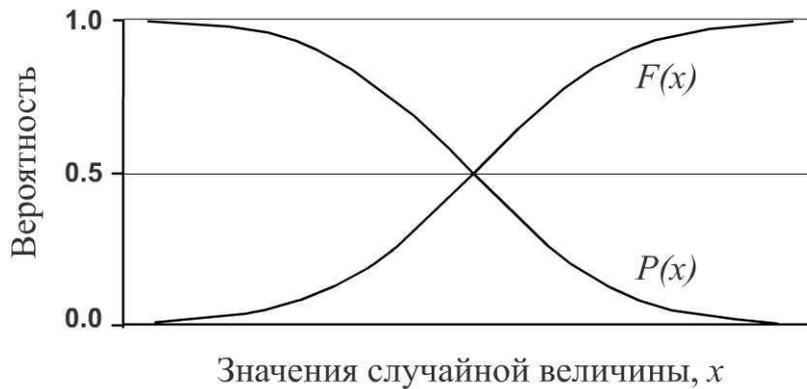
Кроме того, в практике гидрологических расчетов довольно часто встречаются задачи, когда необходимо определить значения гидрологических величин, которые будут встречаться в будущем, например в период эксплуатации того или иного гидротехнического сооружения.

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.

**Интегральная функция распределения**  $F(x)$  случайной величины  $X$  показывает вероятность того, что случайная величина не превысит некоторого заданного значения  $x$ , то есть:



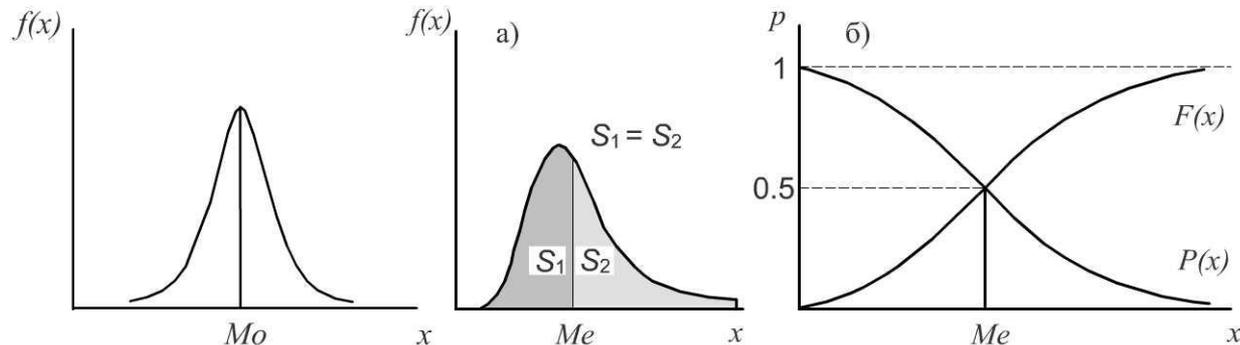
В российской гидрологической практике вместо функции  $F(x)$  чаще используется так называемая функция обеспеченностей  $P(x)$ , которая связана с  $F(x)$  выражением  $F(x) = 1 - P(x) = P\{X \geq x\}$

# Числовые характеристики случайных величин

## Характеристики положения

**Модой**  $Mo$  непрерывной СВ  $X$  называется такое ее значение, которому соответствует максимум плотности вероятности;

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



**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

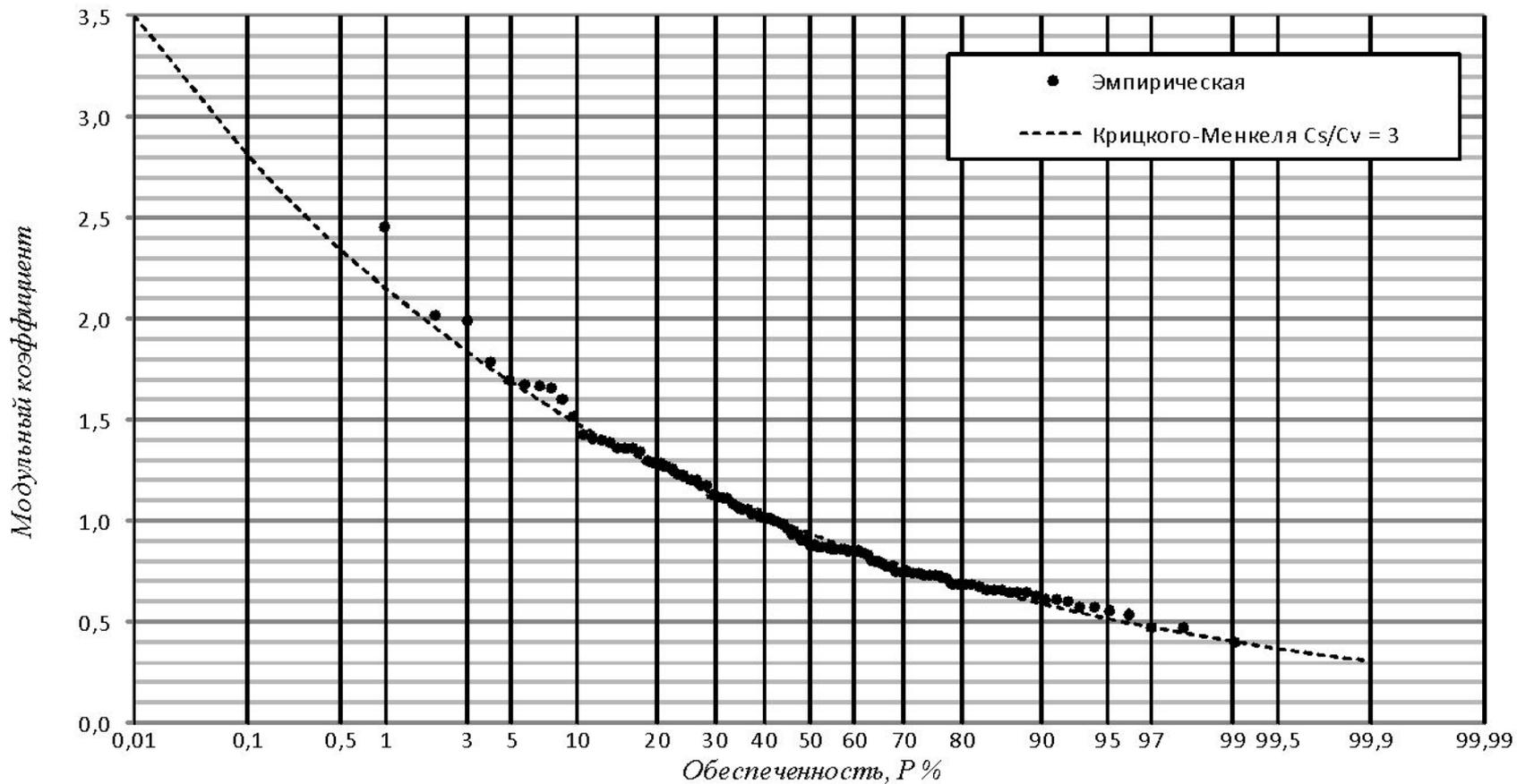
№	год	$Q$	$Q_{\text{ранж}}$	$k$	$P\%$
1	1881	446	446	2,46	0,98
2	1882	156	367	2,02	1,96
3	1883	117	361	1,99	2,94
4	1884	154	324	1,79	3,92
5	1885	191	307	1,69	4,90
...	...	...	...	...	...
98	1979	111	97,4	0,54	96,08
99	1980	140	86,4	0,48	97,06
100	1981	114	86,0	0,47	98,04
101	1982	117	72,5	0,40	99,02

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

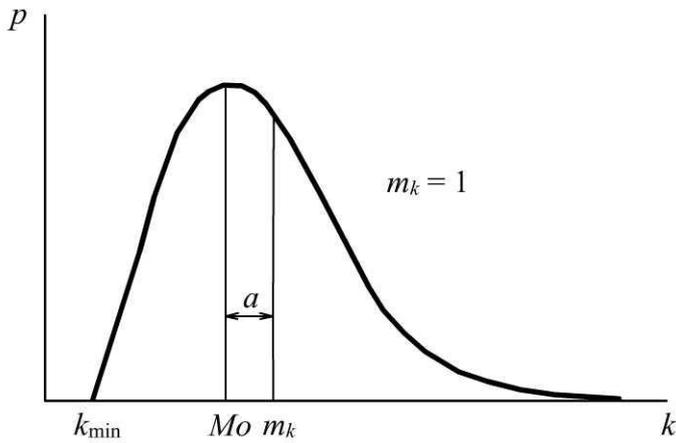
$$k_i = \frac{Q_i}{Q}$$

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

# Эмпирическая и аналитические кривые обеспеченностей на клетчатке вероятностей с умеренной асимметрией



1



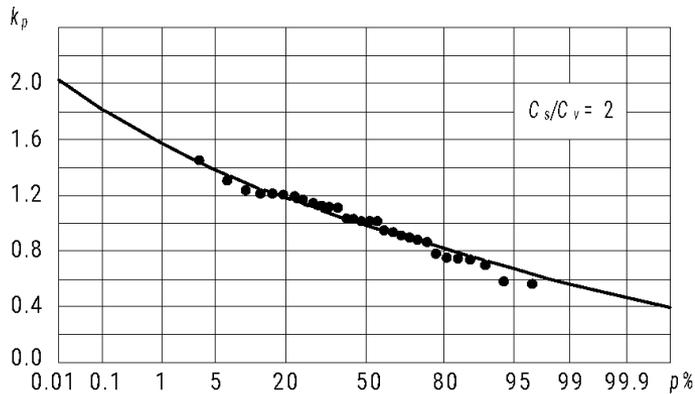
А. Фостер предложил использовать общее дифференциальное уравнение Пирсона:

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

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

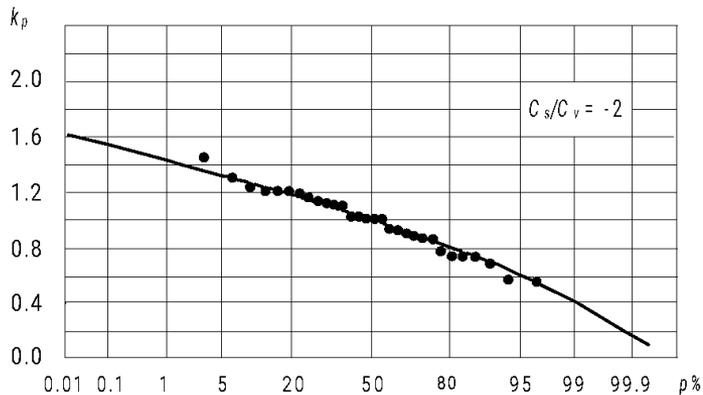
$$\frac{dy}{dz} = \frac{y(z+a)}{b_0 + b_1z} \quad (2)$$

2



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

3



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

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

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

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

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

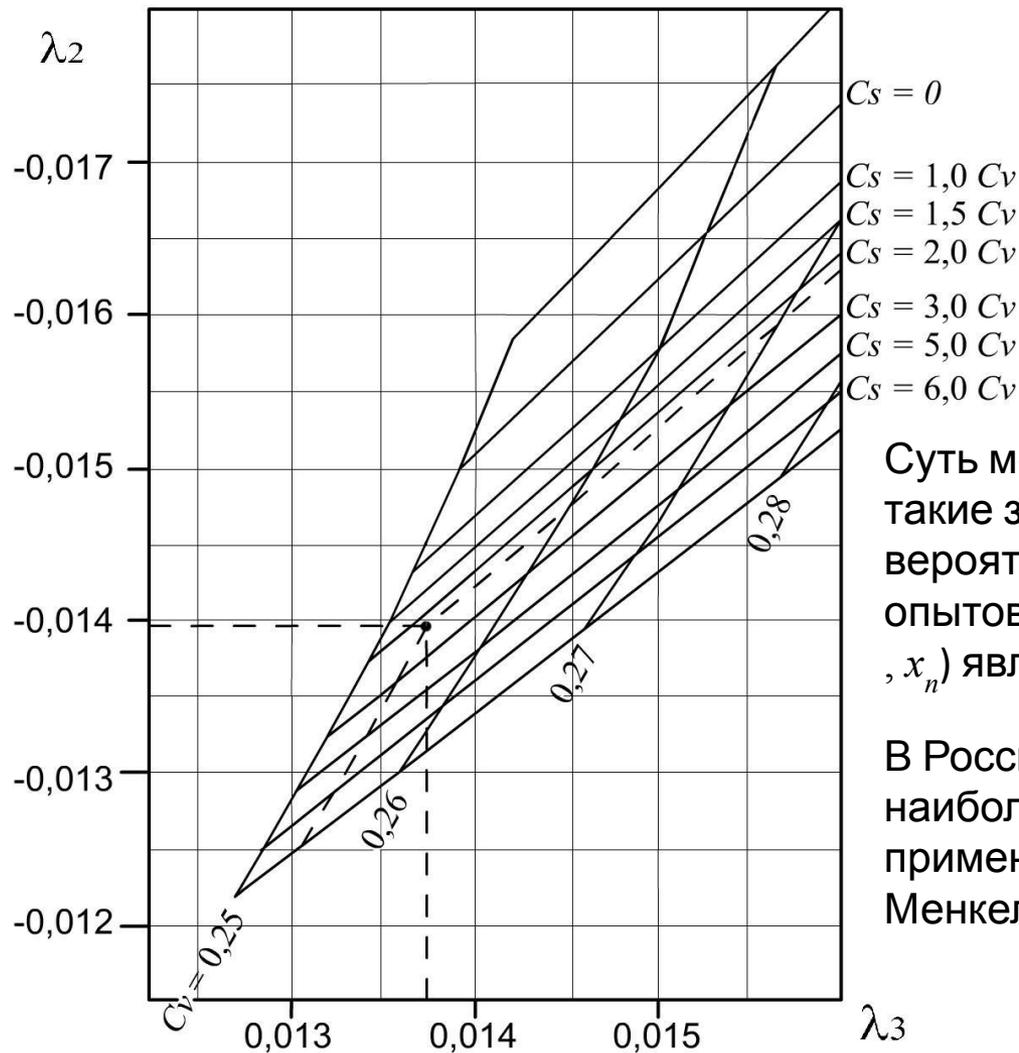
$$\varepsilon_{\bar{Q}} = \frac{C_v}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{1+r}{1-r}} 100\%$$

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

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

где  $r$  – районный коэффициент автокорреляции.

# Метод наибольшего правдоподобия



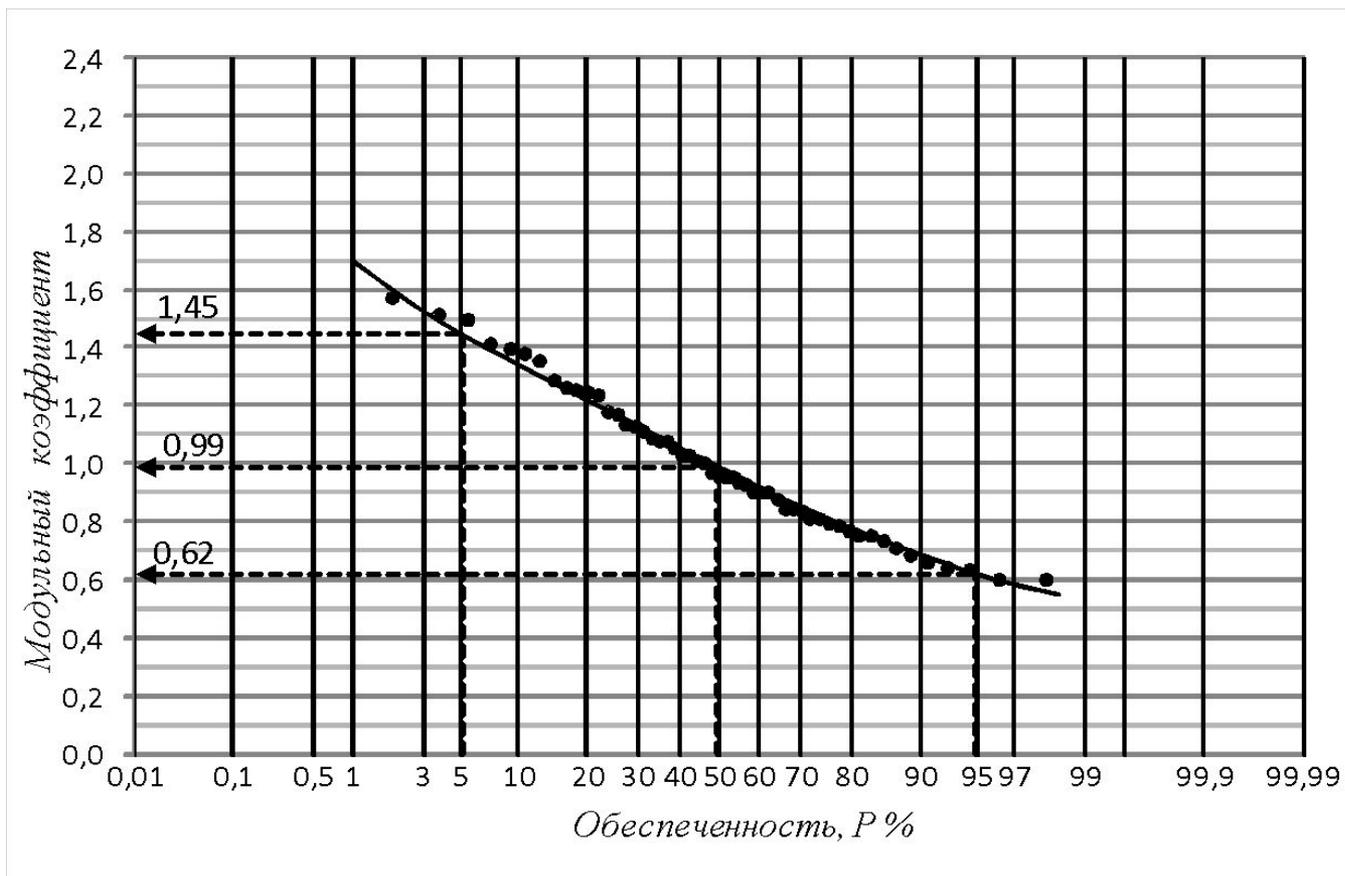
$$\lambda_2 = \frac{\sum_{i=1}^n \lg k_i}{n-1}$$

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

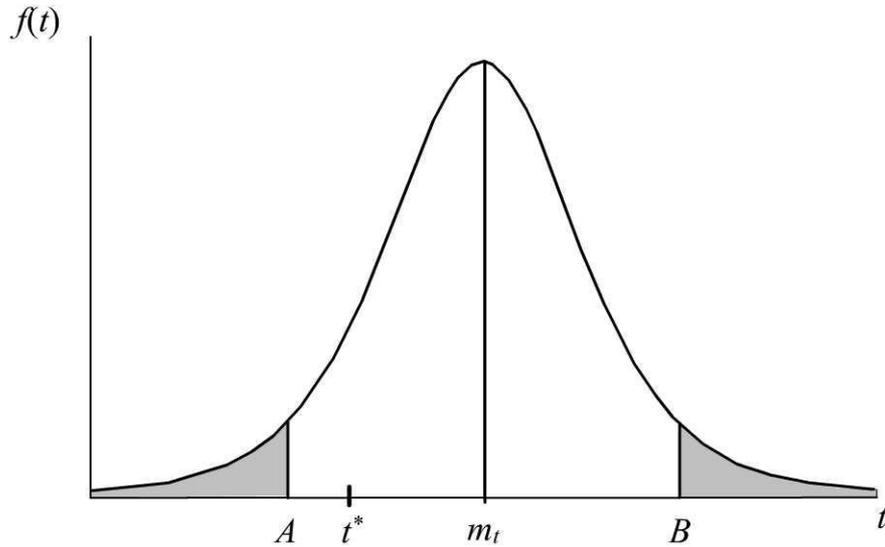
Суть метода состоит в том, чтобы найти такие значения параметров, при которых вероятность получить в результате  $n$  опытов именно данную выборку  $(x_1, x_2, x_3, \dots, x_n)$  являлась бы максимальной.

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

# Графоаналитический метод (метод квантилей)



# Статистические гипотезы



$[A, B]$  – *область принятия гипотезы*

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

Не заштрихованная область – *доверительная вероятность*  $P_d$

Заштрихованная область – *уровень значимости*  $2\alpha$   
 $2\alpha = (100 - P_d) \%$

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

# Проверка однородности рядов

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

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

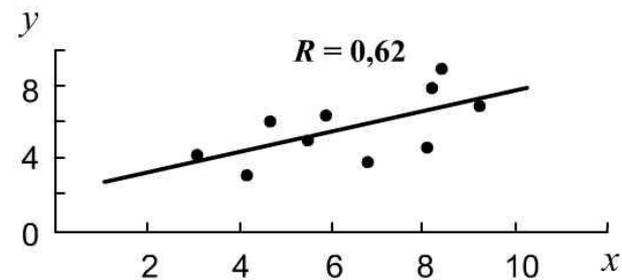
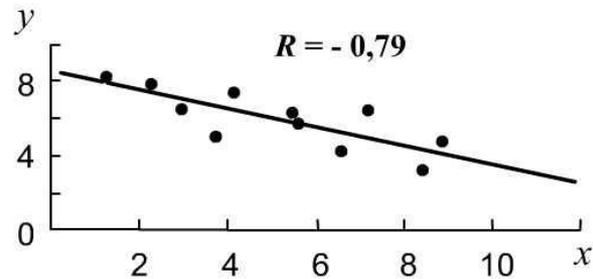
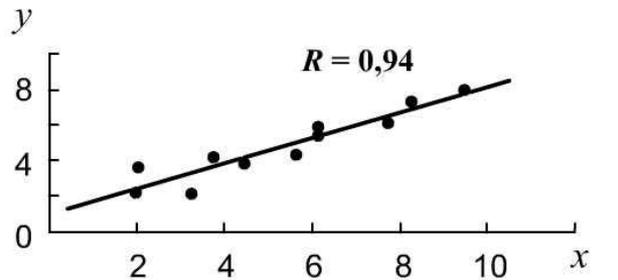
$(|t^*| = 0,87) < (t_{2\alpha} = 2,007)$  – гипотеза не опровергается

**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



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

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

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

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

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

# Гидрологические расчеты

Основная задача гидрологических расчетов – получить количественные характеристики, описывающие гидрологические явления и процессы в ближайшем и отдаленном будущем на основе анализа состояния этих объектов в прошлом и настоящем.

При определении расчетных гидрологических характеристик используются данные гидрометеорологических наблюдений на сети Госкомгидромета, опубликованные в официальных справочных изданиях, не опубликованные данные за последние годы наблюдений, а также результаты экспедиционных и полевых исследований.

## **Основные гидрологические характеристики и типовые задачи гидрологических расчетов**

1. Расчет среднегодовых расходов различной обеспеченности
2. Расчет внутригодового распределения стока
3. Расчет максимальных расходов и слоев половодий и паводков
4. Расчет минимальных расходов воды
5. Расчет максимальных уровней воды
6. Расчет гидрографов половодий и паводков
7. Расчет твердого стока

## Расчет гидрологических характеристик при разном объеме гидрометрической информации

1. *Расчет при наличии длинного ряда гидрометрических наблюдений.* Расчет базируется на статистической обработке имеющегося ряда.
2. *Расчет при недостаточности данных гидрометрических наблюдений.* В основе расчетной методики лежит метод гидрологической аналогии. Ряд на расчетной реке приводится к многолетнему периоду по данным рек-аналогов с более продолжительными рядами наблюдений.
3. *Расчет при отсутствии данных гидрометрических наблюдений* производится с использованием формул и карт.

# Расчет гидрологических характеристик при наличии длинного ряда гидрометрических наблюдений

1. *Предварительный анализ исходных данных*
2. *Проверка ряда на случайность*
3. *Проверка ряда на однородность*
4. *Расчет параметров распределения*
5. *Расчет погрешностей параметров распределения*
6. *Построение эмпирической кривой обеспеченностей*
7. *Расчет ординат аналитической кривой обеспеченностей*

## Расчет гидрологических характеристик при ограниченности данных гидрометрических наблюдений

1. Подбирается потенциальная река-аналог, которая удовлетворяет требованиям СП 33-101-2003.
2. Для расчетной реки и реки-аналога за период совместных наблюдений рассчитываются параметры уравнения линейной регрессии.
3. Оценивается надежность полученного уравнения. С использованием уравнения регрессии ряд расчетной реки приводится к многолетнему периоду.
4. По восстановленному ряду рассчитываются новые статистические характеристики, оцениваются их погрешности, выполняется расчет ординат эмпирической и аналитической кривых обеспеченностей.

## Расчет гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Расчет различных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений производится по разным методикам и не может быть сведен к единой схеме. Однако можно назвать несколько основных методов:

1. *Метод гидрологической аналогии.*
2. *Метод пространственной интерполяции.*
3. *Методы картирования.*
4. *Метод осреднения в однородном районе.*
5. *Разработка региональных формул.*
6. *Водно-балансовый метод.*
7. *Метод математического моделирования.*

## ***Расчет среднегодовых расходов различной обеспеченности при отсутствии данных гидрометрических наблюдений***

1. Расчет нормы годового стока средних рек при отсутствии данных гидрометрических наблюдений может проводиться по картам или путем пространственной интерполяции с использованием данных наблюдений на близлежащих створах.
2. Коэффициент вариации ( $C_v$ ) определяется на основе пространственной интерполяции с использованием данных наблюдений на близлежащих реках-аналогах или по карте изолиний.
3. Отношение коэффициента асимметрии к коэффициенту вариации ( $C_s/C_v$ ) принимается постоянным в пределах гидрологически однородных районов.

## Расчет минимальных расходов воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

1. Для средних рек минимальные 30-суточные модули стока определяются по картам изолиний или на основе пространственной интерполяции (отдельно для зимы и лета).
2. Для малых рек минимальные 30-суточные расходы воды определяются по региональным зависимостям от площади водосбора (отдельно для зимы и лета).
3. Переход от расходов обеспеченностью  $P = 80\%$  к расходам других обеспеченностей осуществляется по формуле:

$$Q_{P\%} = \lambda_{P\%} Q_{80\%},$$

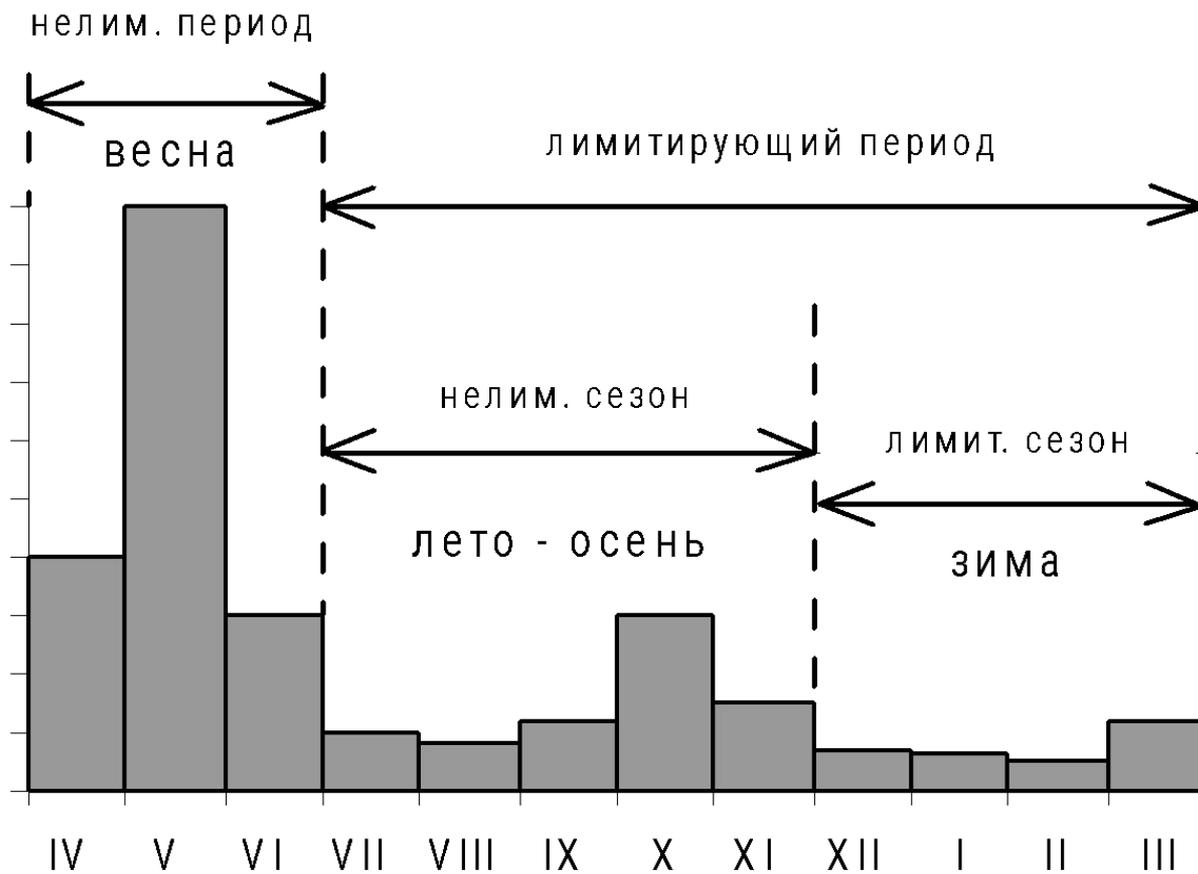
где  $\lambda_{P\%}$  - районные коэффициенты.

4. Переход от минимальных 30-суточных расходов к минимальным суточным расходам производится по формуле:

$$Q_{\text{сут}} = K Q_{30},$$

где  $K$  - районный коэффициент.

# Расчет внутригодового распределения стока



# Расчет максимальных расходов воды при отсутствии данных гидрометрических наблюдений

Максимальные расходы весеннего половодья

$$Q_p = \frac{k_0 h_p \mu_p F}{(F + c)^n} \delta \delta_1 \delta_2 \quad (1)$$

Максимальные расходы дождевых паводков средних  
рек

$$Q_p = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p F \quad (2)$$

Максимальные расходы дождевых паводков малых рек

$$Q_p = q_{1\%}^* \varphi H_{1\%} \delta \lambda_p F \quad (3)$$