

Гидрологические расчеты

Максимальный сток рек – основные понятия и определения

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.

Выдержки из СП 33-101-2003

4.1 Свод правил (СП) содержит основные методы и схемы расчета...

При применении других методов расчетов следует провести анализ, включающий сравнительную оценку погрешностей расчетов с результатами расчетов по методам, изложенным в настоящем СП.

4.3 Определение расчетных гидрологических характеристик должно основываться на данных гидрометеорологических наблюдений, опубликованных в официальных документах Росгидромета, *и неопубликованных данных последних лет наблюдений.*

При отсутствии данных гидрометеорологических наблюдений в пункте проектирования *необходимо проводить гидрометеорологические изыскания.*

4.2 Региональные особенности гидрологического режима и соответствующие методы определения расчетных характеристик учитываются и регламентируются *территориальными строительными нормами (ТСН)*, имеющими статус нормативного документа субъекта Российской Федерации.

Основные характеристики половодий и паводков:

- Максимальный расход воды;
- Слой (или объем стока) за половодье (или паводок);
- Даты начала, максимума и окончания половодья (или паводка);
- Продолжительность подъема, продолжительность спада, общая продолжительность половодья (или паводка).

По характеру происхождения максимальные расходы воды разделяют на:

- сформированные в результате снеготаяния;
- сформированные выпавшими дождями;
- смешанного формирования – от снеготаяния и дождей, когда доли каждого вида питания близки по величине или их трудно разделить.

Факторы, влияющие на формирование весеннего половодья

Метеорологические факторы

Снегозапасы на водосборе

Интенсивность и продолжительность снеготаяния

Предшествующее снеготаянию увлажнение почво-грунтов и степень их промерзания

Испарение в период подъема половодья

Факторы подстилающей поверхности

Рельеф

Размеры и конфигурация водосбора

Озерность, заболоченность и залесенность водосбора

Почво-грунты бассейна реки

Факторы, влияющие на формирование дождевых паводков

Метеорологические факторы

Суммарный слой осадков

Продолжительность осадков

Средняя и максимальная интенсивность осадков;
Интенсивность ядра осадков

Площадь распространения осадков

Предшествующее увлажнение водосбора

Испарение

Факторы подстилающей поверхности

Рельеф

Размеры и конфигурация водосбора

Озерность, заболоченность и залесенность водосбора

Почво-грунты бассейна реки

**Расчет максимальных расходов
дождевых паводков
при отсутствии данных
гидрометрических наблюдений**

Основные типы формул для расчета максимального стока

- Редукционные формулы
- Формулы предельной интенсивности стока
- Объемные формулы

Редукционные формулы, отражают убывание (редукцию) модуля максимального стока с возрастанием площади водосбора.

В наиболее простом случае редукционная формула имеет вид

$$q_{1\%} = \frac{A}{(F + 1)^n} \quad (1)$$

$q_{1\%}$ – максимальный модуль стока половодья или паводка;

F – площадь водосбора;

n – районный показатель редукции;

A – элементарный модуль стока.

**Редукционная формула для расчета максимального
дождевого стока средних рек при отсутствии рек-аналогов
(формула типа II)**

$$q_{1\%} = \frac{A}{(F)^n} \quad (1)$$

$$q_{1\%} = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n \quad (4)$$

$$q_{200} = \frac{A}{200^n} \quad (2)$$

$$Q_p = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p F \quad (5)$$

$$A = q_{200} 200^n \quad (3)$$

$$q_{200} = \frac{q_{1\%}}{\delta \delta_2 \delta_3} \left(\frac{F}{200} \right)^n \quad (6)$$

Параметры редуционной формулы максимального дождевого стока

Для проточных озер:

$$\delta = \frac{1}{(1 + C_0 f_{оз})} \quad (1)$$

Если используется относительная озерность $f_{оз}$, то C_0 для всех зон принимается 0,11

Если используется средневзвешенная озерность, для лесной и лесостепной зон $C_0 = 0,2$

для степной $C_0 = 0,4$

$$\delta_2 = 1 - 0,51 \lg(0,1 f_{б} + 1) \quad (2)$$

$f_{б}$ - относительная площадь болот и заболоченных земель в %

$$\lambda_{P\%} = \frac{Q_{P\%}}{Q_{1\%}} \quad (3)$$

$\lambda_{P\%}$ - Переходный коэффициент от максимальных срочных расходов воды ежегодной вероятности превышения $P = 1\%$ к значениям другой вероятности превышения $P < 25\%$

Переходные коэффициенты $\lambda_{p\%}$ от максимальных расходов воды ежегодной вероятностью превышения $P = 1\%$ к максимальным расходам воды другой вероятности превышения
(фрагмент таблицы из СНИП 2.01.14-83)

Номер района по прил. 19	Площадь водосбора A , км ² , средняя высота водосбора, м	Переходные коэффициенты $\lambda_{p\%}$ при вероятности превышения $P\%$, равной						
		0,1	1	2	3	5	10	25
1	$A > 0$	1,4	1,0	0,82	0,74	0,64	0,54	0,38
2	$A \geq 0,1$	1,5	1,0	0,85	0,77	0,67	0,55	0,36
	$A < 0,1$	1,4	1,0	0,76	0,69	0,60	0,50	0,32
3	$A > 0$	1,4	1,0	0,90	0,86	0,80	0,69	0,50
4	$A \geq 0,1$	1,4	1,0	0,82	0,77	0,70	0,60	0,40
	$A = 0,1$	-	1,0	0,82	0,68	0,48	0,32	0,21
5	$A > 0$	1,6	1,0	0,83	0,74	0,62	0,46	0,28

Редукционная формула для расчета максимального дождевого стока средних рек при наличии рек-аналогов (формула типа I)

$$q_{1\%} = \frac{A}{(F)^n} \quad (1)$$

$$Q_p = q_{p,a} \frac{\delta\delta_2}{\delta_a\delta_{2,a}} \left(\frac{F_a}{F}\right)^n F \quad (5)$$

$$q_p = \frac{A}{F^n} \delta\delta_2 \lambda_p \quad (2)$$

$$k_\phi = \frac{L}{F^{0.56}} \quad (6)$$

$$A = \frac{q_p F^n}{\delta\delta_2 \lambda_p} \quad (3)$$

$$\eta = \frac{k_\phi}{k_{\phi,a}} = \frac{L F_a^{0.56}}{L_a F^{0.56}} \leq 1,5 \quad (7)$$

$$A = \frac{q_{p,a} F_a^n}{\delta_a \delta_{2,a} \lambda_p} \quad (4)$$

$$Q_p = q_{p,a} \frac{\delta}{\delta_a} \left(\frac{\Phi_a}{\Phi}\right)^{n_1} F \quad (8)$$

$$Q_p = q_{p,a} \frac{\delta}{\delta_a} \left(\frac{\Phi_a}{\Phi} \right)^{n_1} F \quad (1)$$

$$\Phi = \frac{1000L}{m_p I_p^m F^{0,25}} \quad (2)$$

Характеристика русла и поймы (таблица Б.3 Пособия)	Параметр m	Гидравлический параметр русла m_p [м/мин]
Реки и водотоки со средним уклоном $I_p < 35 \text{ ‰}$. Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков (сухих логов)	1/3	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	1/3	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	1/3	7
Реки и периодически пересыхающие водотоки со средними уклонами $I_p \geq 35 \text{ ‰}$.	1/7	10

Φ - гидроморфологическая характеристика русла.

Определение коэффициента редукции n_1

$$q_{1\%} = f(\tau_p) \quad (1)$$

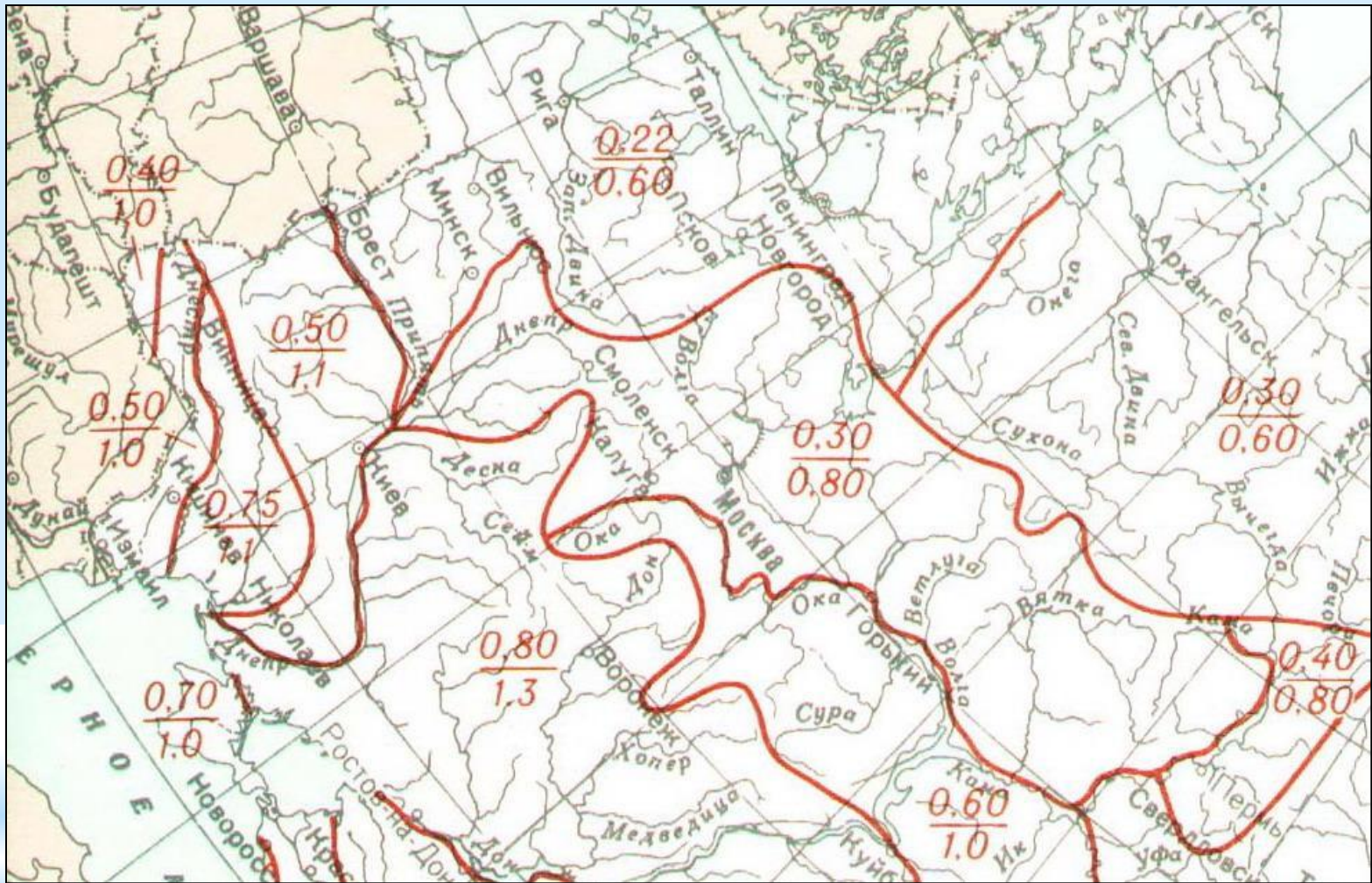
$$\tau_p = \frac{1000L}{V} = \frac{1000L}{m_p I_p^m F^{0,25} q_{1\%}^{0,25}} \quad (2)$$

L – гидрографическая длина реки в км;

V – максимальное значение средней скорости добегания воды по главному водотоку, м/с;

I_p – средневзвешенный уклон русла водотока, ‰ ;

m, m_p – гидравлические параметры, характеризующие состояние и шероховатость русла.

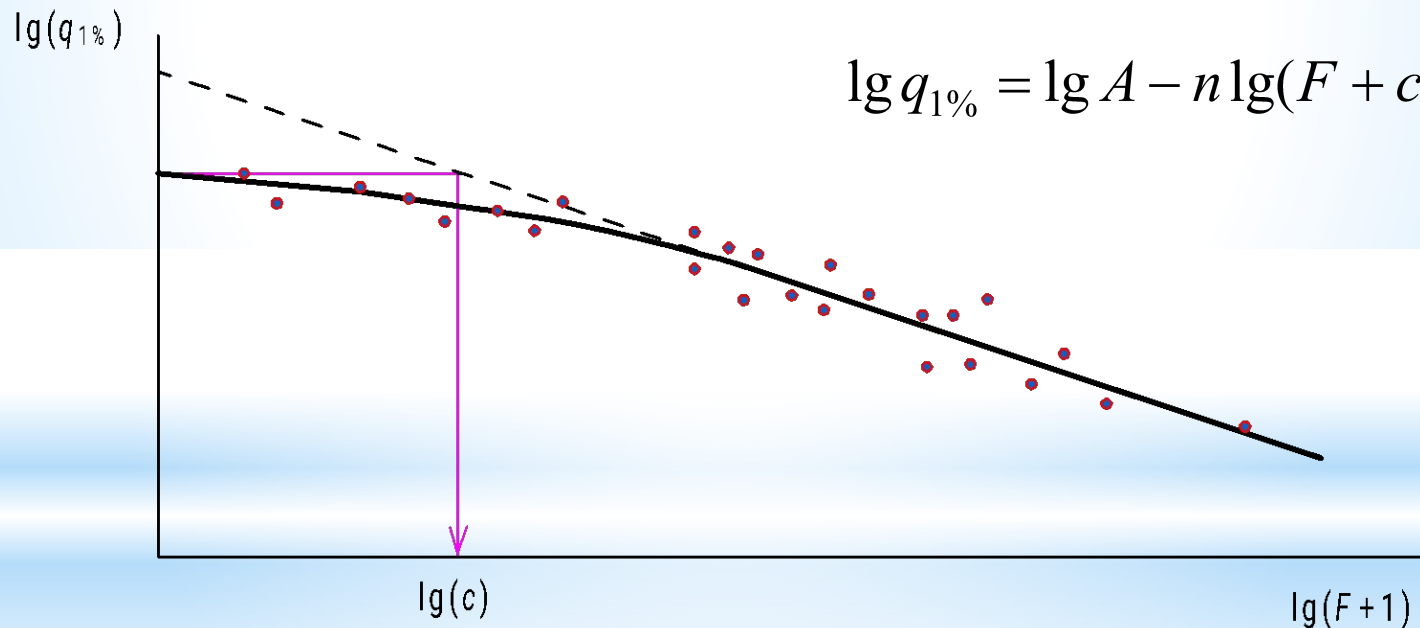


Районирование показателей степени редукции n и n' максимального модуля дождевого стока (фрагмент карты из СНИП 2.01.14-83)

Использование редукционной формулы
для расчета максимального стока малых рек

$$q_{1\%} = \frac{A}{(F + c)^n} \quad (1)$$

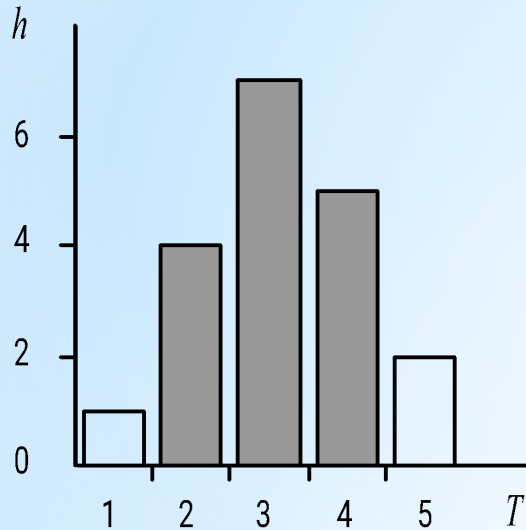
$$\lg q_{1\%} = \lg A - n \lg(F + c) \quad (2)$$



Графический метод определения параметра c

Формула предельной интенсивности

$$q_{\max} = \alpha \bar{a}_\tau$$



$$Q_1 = f_1 h_1$$

$$Q_2 = f_1 h_2 + f_2 h_1$$

$$Q_3 = f_1 h_3 + f_2 h_2 + f_3 h_1$$

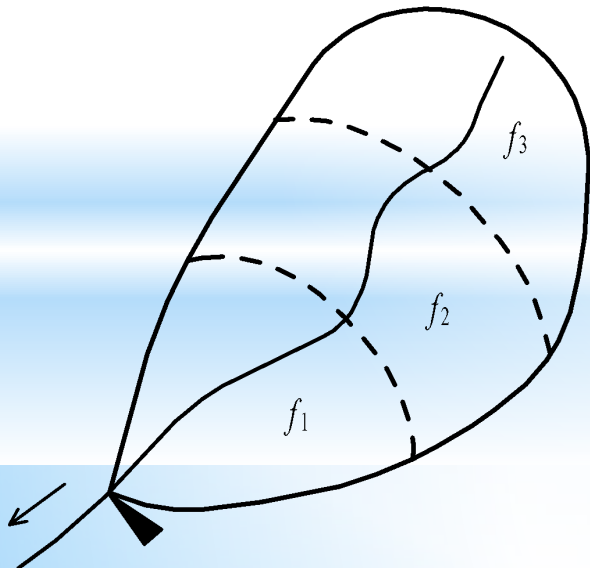
$$Q_4 = f_1 h_4 + f_2 h_3 + f_3 h_2$$



$$Q_5 = f_1 h_5 + f_2 h_4 + f_3 h_3$$

$$Q_6 = f_2 h_5 + f_3 h_4$$

$$Q_7 = f_3 h_5$$



$$\bar{a}_\tau = \frac{h_2 + h_3 + h_4}{18 \tau};$$

$$Q_{\max} = \bar{a}_\tau F$$

Формула предельной интенсивности

$$q_{\max} = \alpha \bar{a}_{\tau} \quad (1)$$

$$q_p = q_{1\%}^* \varphi H_{1\%} \delta \lambda_p \quad (2)$$

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

Основные параметры формулы

1. *Параметры редукции осадков*
2. *Время добегаания*
3. *Коэффициент стока*

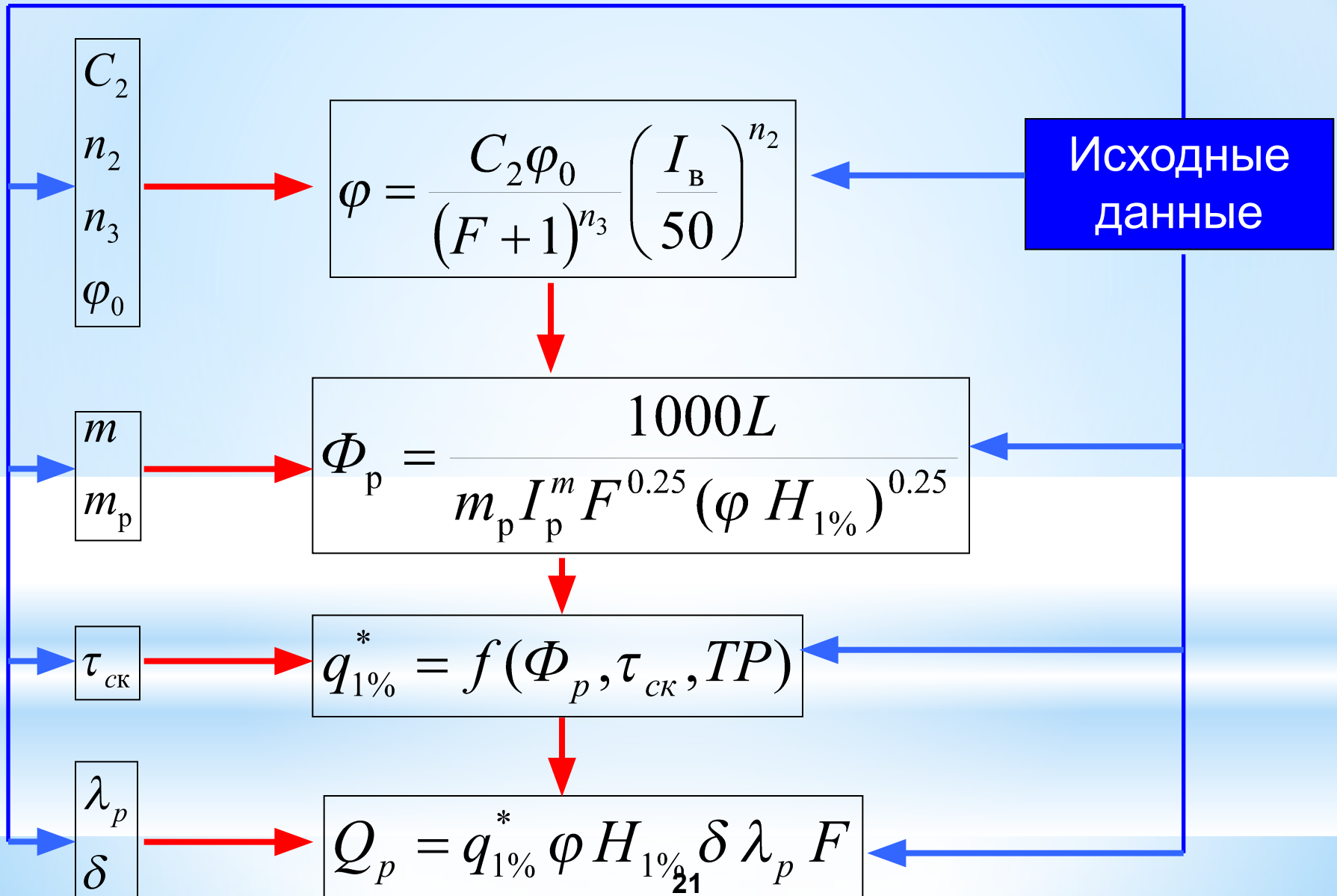
Недостатки

1. *Линейность модели – положение изохрон и время добегаания принимаются постоянными*
2. *Используется объемный коэффициент стока*

Исходные данные при расчете по формуле предельной интенсивности

- Природная зона
- Тип почв
- Морфологическое описание русла и поймы
- Тип редукации осадков (ТР)
- Средневзвешенный уклон русла реки I_p , ‰
- Средний уклон водосбора I_B , ‰
- Максимальный суточный слой осадков $H_{1\%}$, мм

Порядок расчета по формуле предельной интенсивности



Блок 1

 C_2 n_2 n_3 φ_0

C_2 - эмпирический коэффициент, принимаемый для лесной и тундровой зон равным 1,2; для остальных природных зон - 1,3;

n_2 и φ_0 эмпирические коэффициенты, определяемые по табл.11 приложения 2 Пособия 1984 г., в зависимости от природной зоны, типа и механического состава почв;

n_3 - принимается для лесотундры и лесной зоны равным 0,07, для остальных природных зон - 0,11

I_B - средний уклон водосбора, ‰

$$\varphi = \frac{C_2 \varphi_0}{(F + 1)^{n_3}} \left(\frac{I_B}{50} \right)^{n_2}$$

Таблица 11 приложения 2 Пособия 1984

Природная зона	Тип почв	Параметры ϕ_0 и n_2 в зависимости от типа почв, механический состав которых					
		глинистый и тяжелосуглинистый		среднесуглинистый и суглинистый		супесчаный, песчаный, меловой, трещиноватый	
		ϕ_0	n_2	ϕ_0	n_2	ϕ_0	n_2
Лесотундра, лесная	Глеево-подзолистые на плотных породах (включая глеево-мерзлотно-таежные), глеево-болотные оглеенные	0.42	0.50	0.28	0.65	0.23	0.80
	Тундрово-глеевые, глеево-болотные, подзолистые, серые лесные	0.56	0.50	0.38	0.65	0.30	0.80
Лесостепная	Подзолистые, серые лесные, черноземы мощные, на плотных породах, светло и темно-серые оподзоленные	0.66	0.60	0.54	0.70	0.27	0.90
	Черноземы выщелочные, типичные,, обыкновенные, южные, темно-каштановые	0.59	0.70	0.22	0.85	0.14	1.00
Степная и засушливых степей	Черноземы выщелочные типичные, южные	0.18	0.80	0.10	0.90	0.05	1.00
	Каштановые, сероземы малокарбонатные, карбонатные	0.29	0.90	0.14	0.90	0.12	1.00
	Такыровидные почвы	0.30	1.00	0.20	1.00	-	-

Блок 2

$$\frac{m}{m_p}$$

$$\Phi_p = \frac{1000L}{m_p I_p^m F^{0.25} (\varphi H_{1\%})^{0.25}}$$

Характеристика русла и поймы (таблица Б.3 Пособия 2009 г.)	Параметр m	Гидравлический параметр русла m_p [м/мин]
Реки и водотоки со средним уклоном $I_p < 35 \text{ ‰}$. Чистые русла постоянных равнинных рек; русла периодически пересыхающих водотоков (сухих логов)	1/3	11
Извилистые, частично заросшие русла больших и средних рек; периодически пересыхающие водотоки, несущие во время паводка большое количество наносов	1/3	9
Сильно засоренные и извилистые русла периодически пересыхающих водотоков	1/3	7
Реки и периодически пересыхающие водотоки со средними уклонами $I_p \geq 35 \text{ ‰}$.	1/7	10

Блок 3

$\tau_{ск}$

продолжительность склонового добега, мин, в первом приближении принимаемая для водотоков, **расположенных в лесной и тундровой зонах,**

заболоченностью менее 20% - 60,

от 20 до 40% - 100,

более 40% - 150;

в лесостепной зоне - 60;

в степной зоне и засушливых степях - 30;

в полупустынной зоне - 30;

в горных районах - 10.

$$q_{1\%}^* = f(\Phi_p, \tau_{ск}, TP)$$

Таблица 9 приложения 2 Пособия 1984

$$q_{1\%}^* = f(\Phi_p, \tau_{ск}, \text{№ района})$$

(Фрагмент таблицы)

Районы кривых редукции осадков	Продол- жительность склонового добегания, мин	Максимальный модуль стока $q_{1\%}^*$ при Φ_p , равных									
		0	1	5	10	...	100	150	200	250	300
7, 8, 10, 29	10	0,53	0,51	0,41	0,31	...	0,031	0,019	0,013	0,01	0,0083
	30	0,35	0,33	0,26	0,21	...	0,03	0,018	0,013	0,01	0,0083
	60	0,19	0,18	0,16	0,14	...	0,028	0,018	0,013	0,01	0,0083
	100	0,12	0,12	0,11	0,10	...	0,026	0,017	0,012	0,0097	0,0081
	150	0,088	0,086	0,08	0,075	...	0,023	0,016	0,012	0,0094	0,0079
	200	0,07	0,068	0,065	0,06	...	0,021	0,015	0,011	0,0091	0,0076
5, 6, 14, 26, 33, 5в	...	...	....	...	...	...	...	...	...	...	...

Блок 4

$$\lambda_p$$

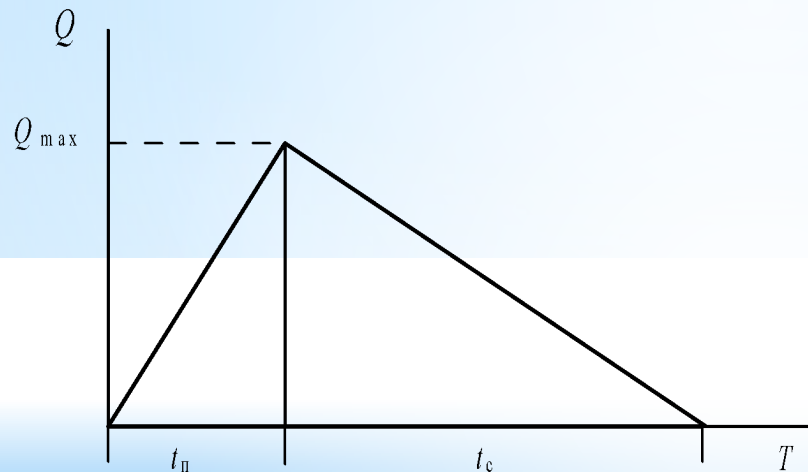
$$\delta$$

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

Номер района	Площадь водосбора, F км ²	Переходные коэффициенты $\lambda_{P\%}$ при вероятности превышения $P\%$, равной						
		0,1	1	2	3	5	10	25
1	$F > 0$	1,4	1	0,82	0,74	0,64	0,54	0,38
2	$F \geq 0,1$	1,5	1	0,85	0,77	0,67	0,55	0,36
	$F < 0,1$	1,4	1	0,76	0,69	0,6	0,5	0,32
3	$F > 0$	1,4	1	0,9	0,86	0,8	0,69	0,5
4	$F \geq 0,1$	1,4	1	0,82	0,77	0,7	0,6	0,4
	$F = 0,1$	-	1	0,82	0,68	0,48	0,32	0,21
5	$F > 0$	1,6	1	0,83	0,74	0,62	0,46	0,28

Объемные формулы

В основе вывода объемных формул лежит схематизация гидрографа половодья или паводка в виде той или иной геометрической фигуры. Рассмотрим наиболее простой случай, когда гидрограф схематизируется в виде треугольника



В этом случае объем стока за паводок представляет собой площадь треугольника:

$$W = \frac{1}{2} Q_{\max} (t_{\text{п}} + t_{\text{с}}) \quad (1)$$

$$Q_{\max} = \frac{2W}{t_{\text{п}} + t_{\text{с}}} \quad (2)$$

$$Q_{\max} = \varphi \frac{k F h}{t_{\text{п}} + t_{\text{с}}} \quad (3)$$

При схематизации гидрографа по треугольнику $\phi = 2$

$$Q_{p\%} = \frac{k(h_{p\%} - h_0) \alpha_{p\%} F}{t_n} f \delta \delta_1 + Q_{гр}$$

- t_n – продолжительность подъема паводка в часах;
 k – коэффициент размерности; $k = 0,28$ если t_n в часах,
 $h_{p\%}$ – слой осадков за время расчетной продолжительности паводка;
 h_0 – слой начальных потерь осадков;
 $\alpha_{p\%}$ – коэффициент стока;
 F – площадь водосбора;
 f – коэффициент формы гидрографа (0,48-1,20);
 $Q_{гр}$ – расход грунтового питания;
 δ и δ_1 – коэффициенты учитывающие снижение максимального расхода под влиянием озер, болот и лесов.

Вопросы для самопроверки

1. Классификация формул для расчета максимального стока.
2. Формула СП 33-101-2003 для расчета максимальных расходов весеннего половодья.
3. Формулы СП 33-101-2003 для расчета максимальных расходов дождевых паводков средних рек.
4. Формула СП 33-101-2003 для расчета максимальных расходов дождевых паводков малых рек.
5. Объемные формулы.
6. Схема расчета максимальных расходов воды при различном объеме гидрометрической информации.

Рекомендуемые материалы для изучения

1. Владимирова А.М. Гидрологические расчёты;
2. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик»;
3. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений.

Схема расчета максимальных расходов по СП 33-101-2003

