



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

Гидрологические расчеты

Часть II

для студентов ФЗО V курса РГГМУ

лекция № 2

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;

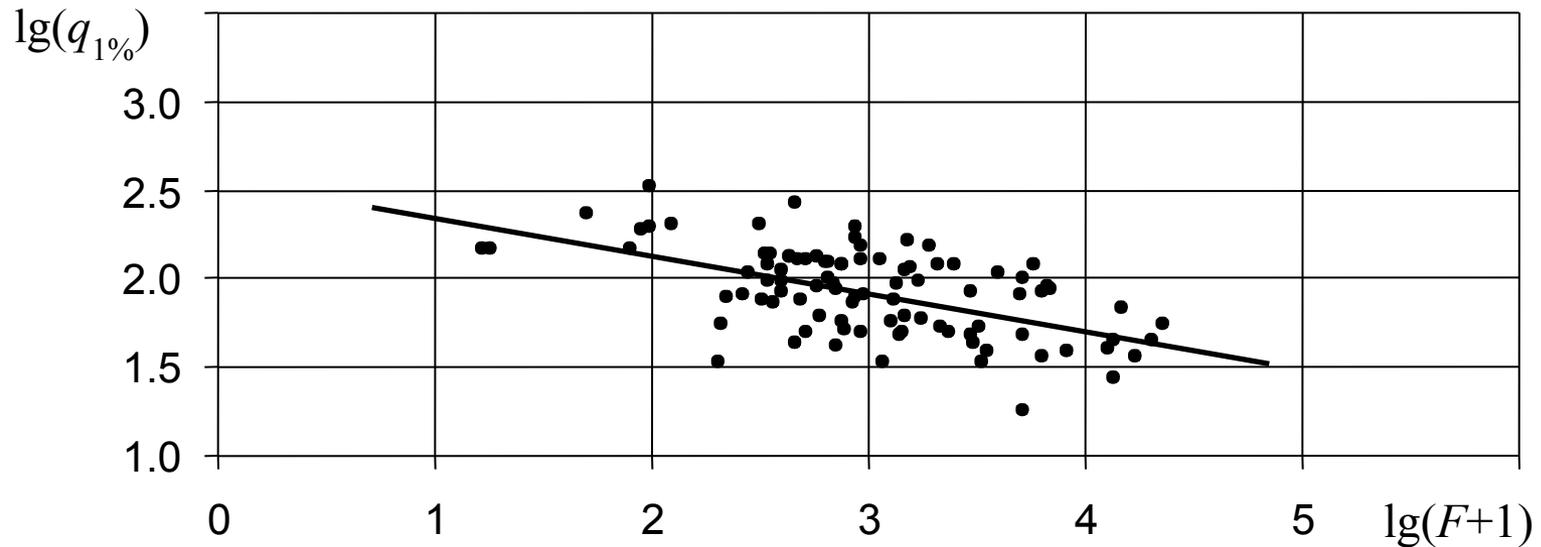
F – площадь водосбора;

n – районный показатель редукции;

A – элементарный модуль стока.

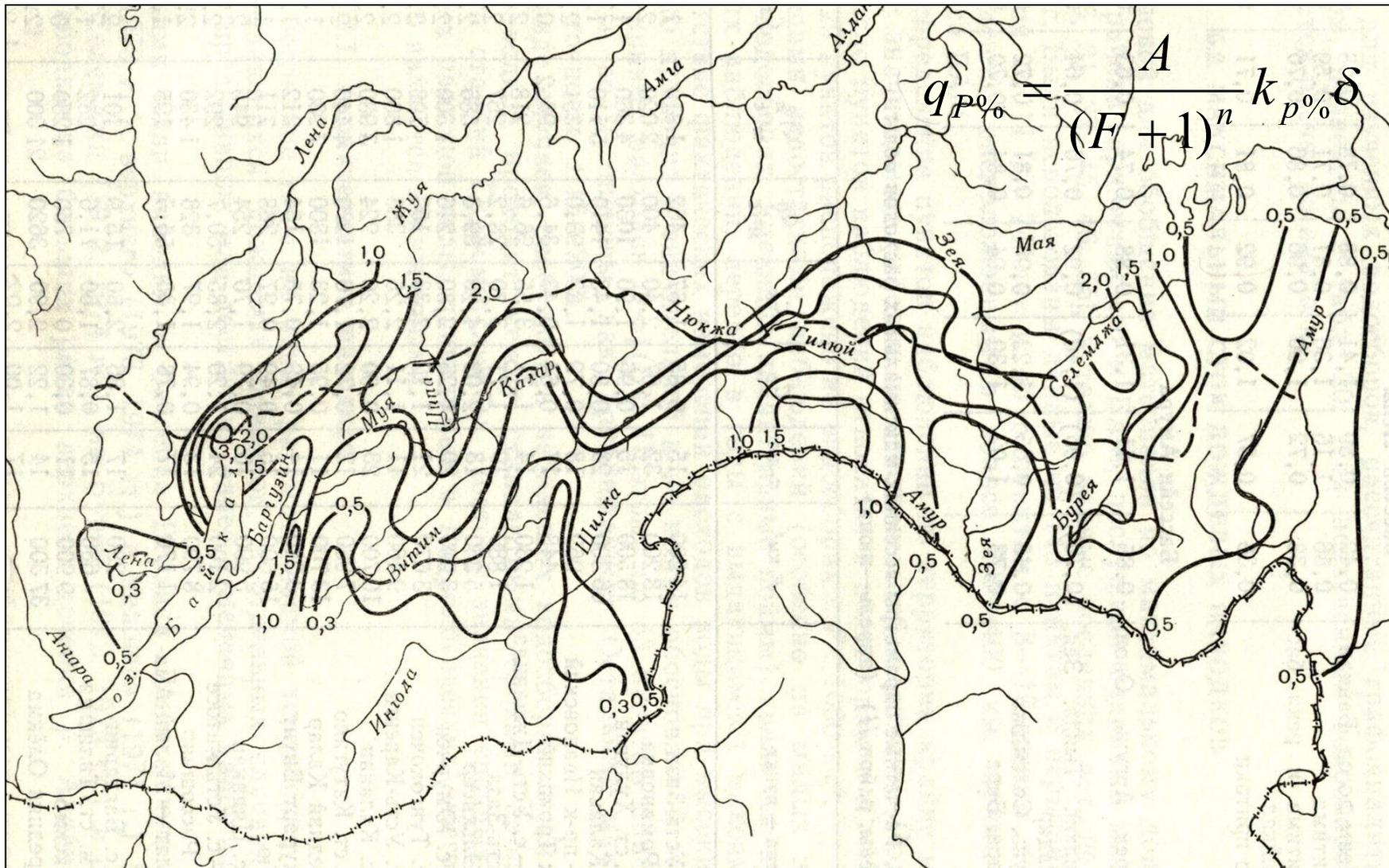
$$q_{1\%} = \frac{A}{(F+1)^n} \quad (1)$$

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



Зависимость максимального модуля дождевого стока от площади водосбора для рек Северо-Запада России

$$A = q_{1\%} (F+1)^n \quad (3)$$



Карта параметра $A_{1\%}$ для рек района БАМа, $\text{м}^3/(\text{с км}^2)$

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

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

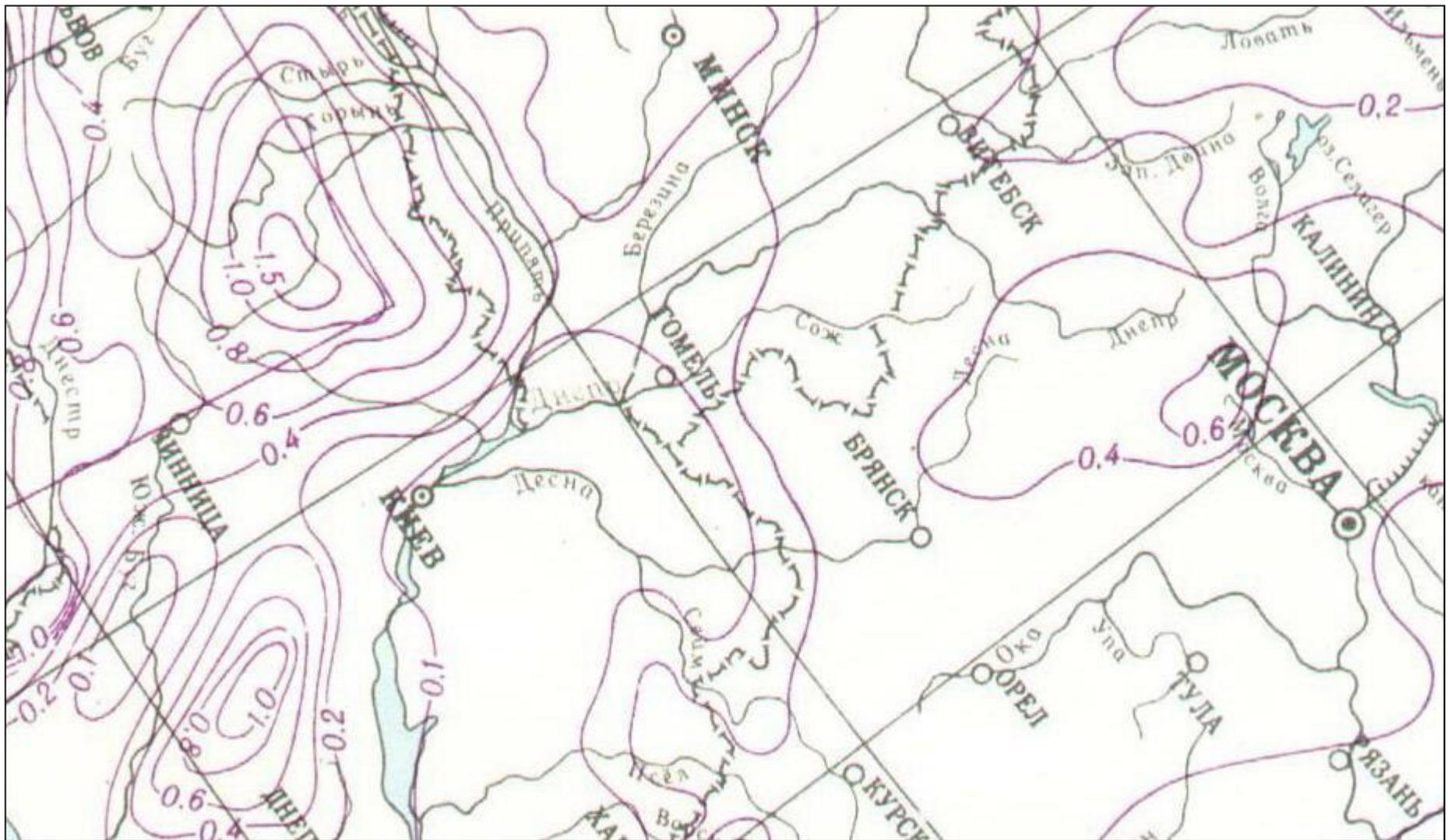
$$q_{1\%} = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^n \quad (4)$$

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

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

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

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



Фрагмент карты изолиний параметра q_{200} вероятность превышения $P=1\%$
из СНИП 2.01.14-83

Параметры редуccionной 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 $C_0 = 0,4$

$$\delta_2 = 1 - 0,51 \lg(0,1 f_б + 1) \quad (2)$$

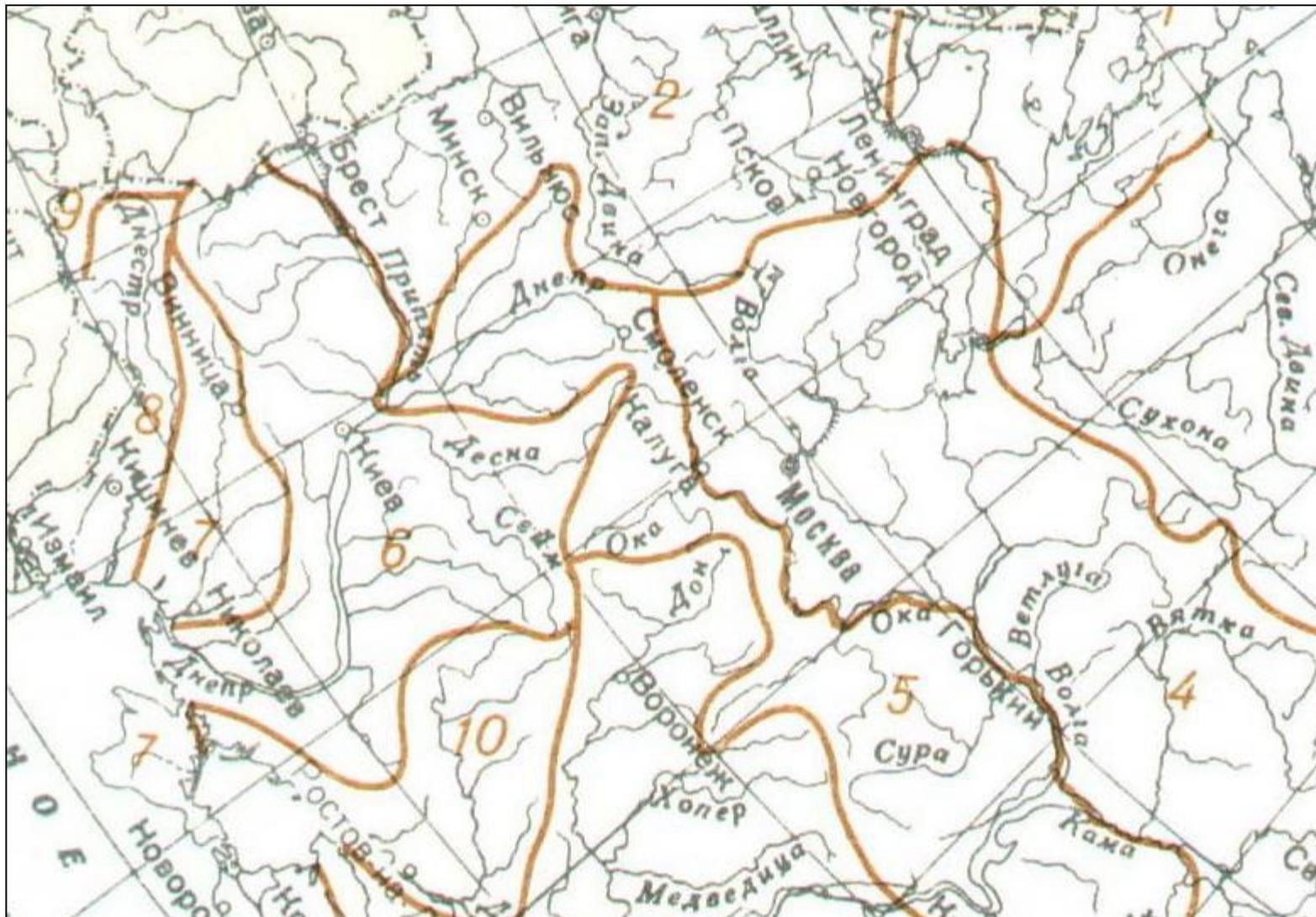
$f_б$ - относительная площадь болот и заболоченных земель в %

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

$\lambda_{P\%}$ - 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



Фрагмент карты номеров районов для переходных коэффициентов $L_{P\%}$
из СНИП 2.01.14-83

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

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

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

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

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

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

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

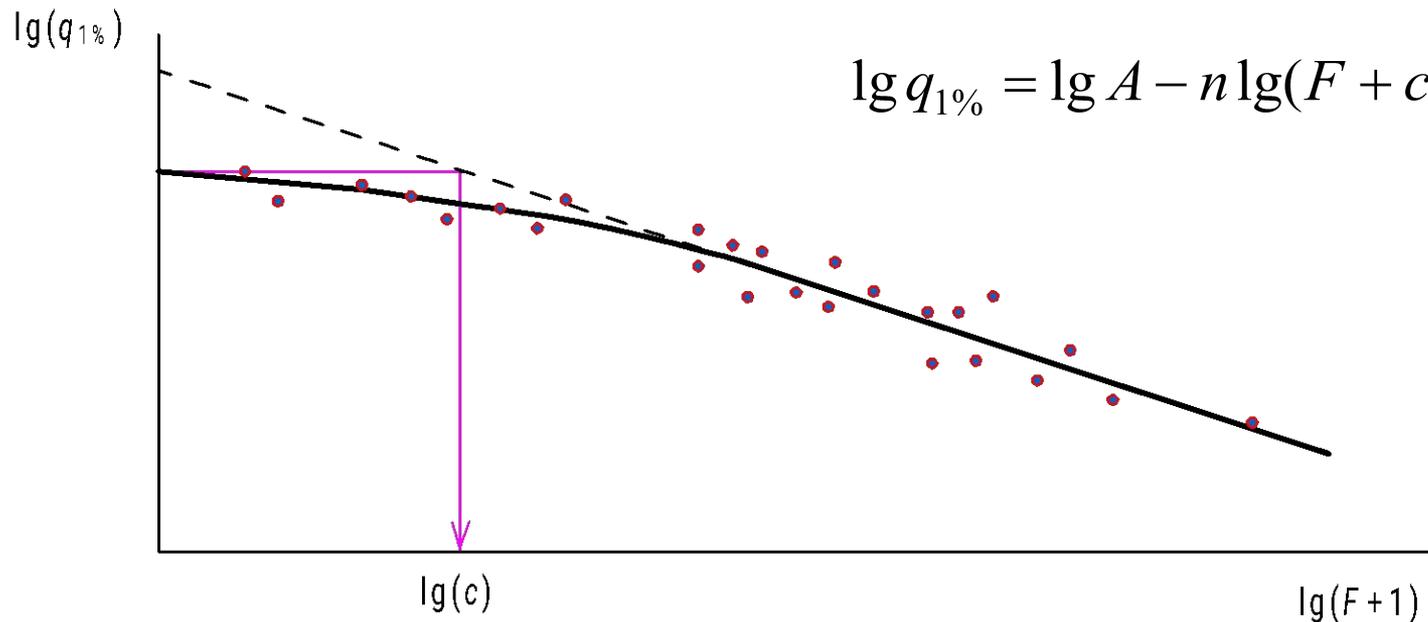
$$A = \frac{q_{p,a} F_a^n}{\delta_a \delta_{2,a} \lambda_p} \quad (4)$$

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

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

Расчет максимальных расходов весеннего половодья

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

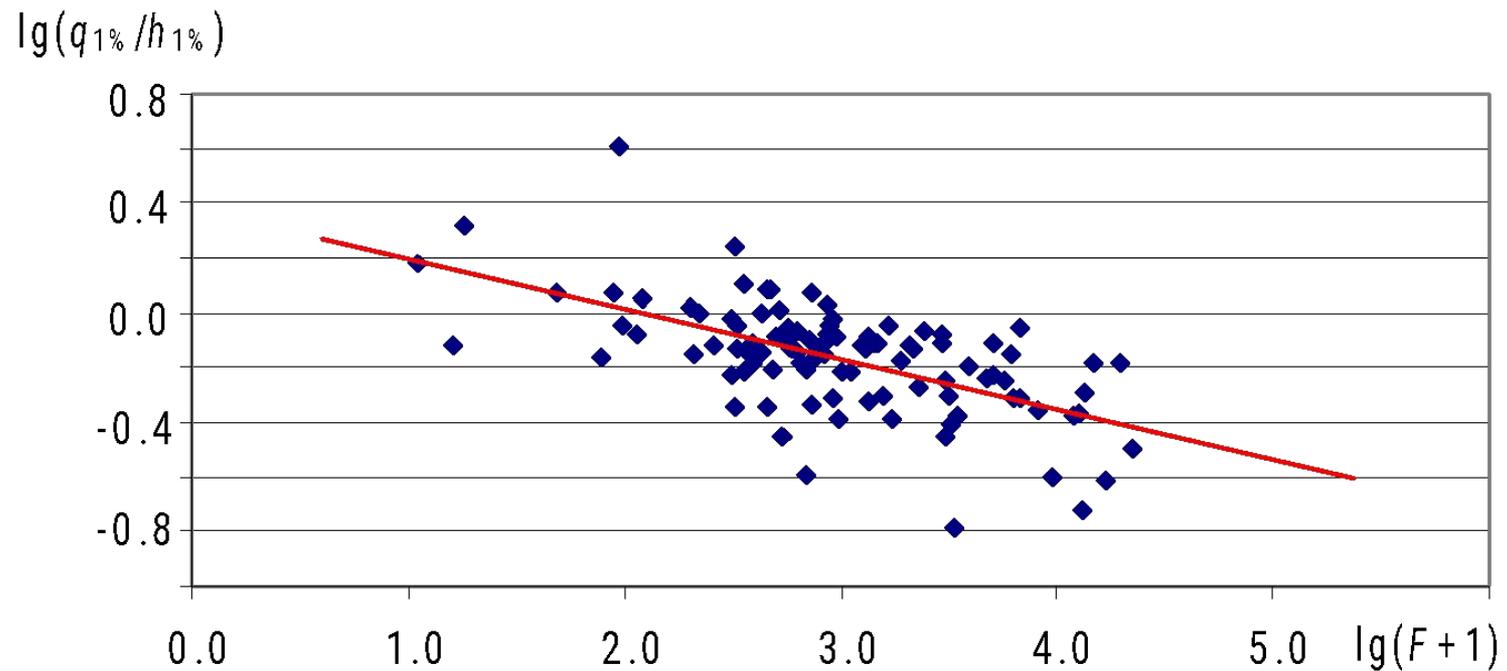
$$k_0 = \frac{Q_{1\%} (F + c)^n}{h_{1\%} F \delta \delta_1 \delta_2} \quad (4)$$

$$\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} = \frac{k_0}{(F + 1)^n} \quad (2)$$

$$\mu_p = \frac{q_p h_{1\%}}{h_p q_{1\%}} \quad (5)$$

$$Q_p = \frac{k_0 h_p \mu_p F}{(F + c)^n} \delta \delta_1 \delta_2 \quad (3)$$

$$h_p = f(\bar{h}, C_v, C_s / C_v) \quad (6)$$



Редукционная зависимость максимального весеннего стока от площади водосбора для рек Северо-Запада России

$$\lg \frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} = f[\lg(F + 1)] \quad (1)$$

$$\frac{q_{1\%}}{h_{1\%}} = \frac{k_0}{(F + 1)^n} \quad (2)$$

Факторы, приводящие к снижению (повышению) максимальных расходов:

Озерность.

При наличии в бассейне озер, расположенных вне главного русла и основных притоков величину коэффициента δ следует принимать:

при относительной озерности менее 2% - 1;

более 2% - 0.8.

Внутриболотные озера, расположенные вне главного русла и основных притоков, следует включать в величину относительной площади болот.

Влияние прудов, регулирующих меженный сток, при расчете максимальных расходов воды

вероятностью превышения менее 5% не учитывается,

а при $P \geq 5\%$ допускается уменьшение расчетной величины до 10%.

При наличии проточных озер коэффициент δ рассчитывается по формуле

$$\delta = \frac{1}{(1 + C_0 f_{oz}^*)} \quad (1)$$

$$f_{oz}^* = \frac{100}{F^2} \left(\sum_{i=1}^n S_i f_i \right) \quad (2)$$

Для лесной и лесостепной зон $C_0 = 0,2$; для степной $C_0 = 0,4$

Если река вытекает из озера и $f_{oz} > 50\%$:

$$f_{oz}^* = \frac{f_{oz} - 2}{0,92} \quad (3)$$

Залесенность

Коэффициент δ_1 учитывающий снижение максимальных расходов воды в залесенных бассейнах, определяется по формуле

$$\delta_1 = \frac{\alpha}{(f_{л} + 1)^n}$$

Таблица Б5 Пособия

Природная зона	Расположение леса на водосборе	Значения параметра α при $f_{л}$, %			Коэффициент редукции n' для почвогрунтов под лесом		
		3-9	10-19	20-30	Различного механического состава	супесчаных	суглинистых
Лесная	<i>A</i>	1,0	1,0	1,0	0,22	-	-
	<i>B</i>	0,85	0,80	1,75	0,22	-	-
	<i>C</i>	1,20	1,25	1,30	0,22	-	-
Лесостепная	<i>A,C</i>	1,0	1,0	1,0	0,16	0,20	0,10
	<i>B</i>	1,25	1,30	1,40	0,16	0,20	0,10

Примечания: 1. Расположение леса на водосборе: *A* – равномерное, *B* – в верхней части водосбора; *C* - в нижней и прирусловой части водосбора.

2. В лесной зоне из-за отсутствия сведений о преобладающих почвах (грунтах) значение n' принимается равным 0,22 независимо от почв (грунтов) под лесом.

3. При $f_{л} > 30\%$ $\alpha = 1$.

При залесенности менее 3% или при проточной озерности более 20 % $\delta_1 = 1$

Заболоченность

Коэффициент δ_2 , учитывающий снижение максимального расхода воды заболоченных бассейнов, определяется по формуле

$$\delta_2 = 1 - \beta \lg(0,1 f_{\delta} + 1)$$

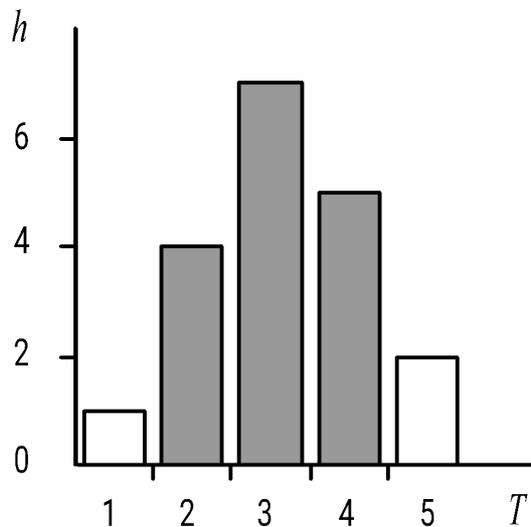
Таблица Б6 Пособия

Тип болота	β
Низинные болота и заболоченные леса и луга на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,8
Водосборы, включающие болота разных типов	0,7
Верховые болота на водосборах, сложенных супесчаными и легкосуглинистыми почвами (грунтами)	0,5
Верховые болота на водосборах, сложенных среднесуглинистыми и глинистыми почвами (грунтами)	0,3

При заболоченности менее 3% или при проточной относительной озерности более 6 % коэффициент δ_2 принимается равным единице.

Формула предельной интенсивности

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



$$Q_1 = f_1 h_1$$

$$Q_2 = f_1 h_2 + f_2 h_1$$

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

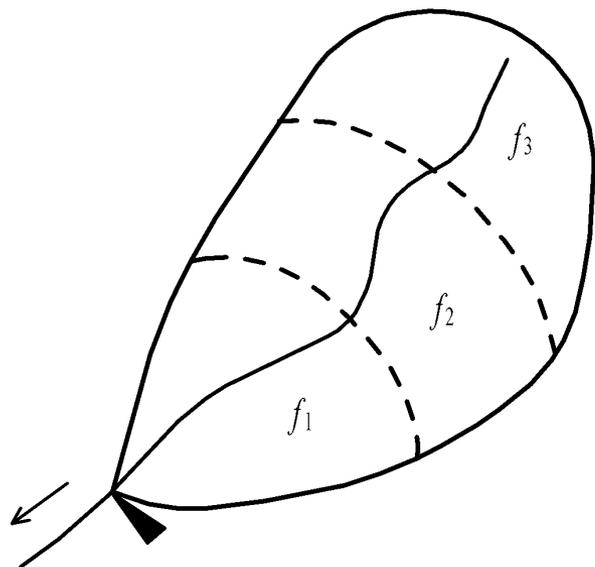
$$Q_4 = f_1 h_4 + f_2 h_3 + f_3 h_2$$



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

$$Q_6 = f_2 h_5 + f_3 h_4$$

$$Q_7 = f_3 h_5$$



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

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

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*

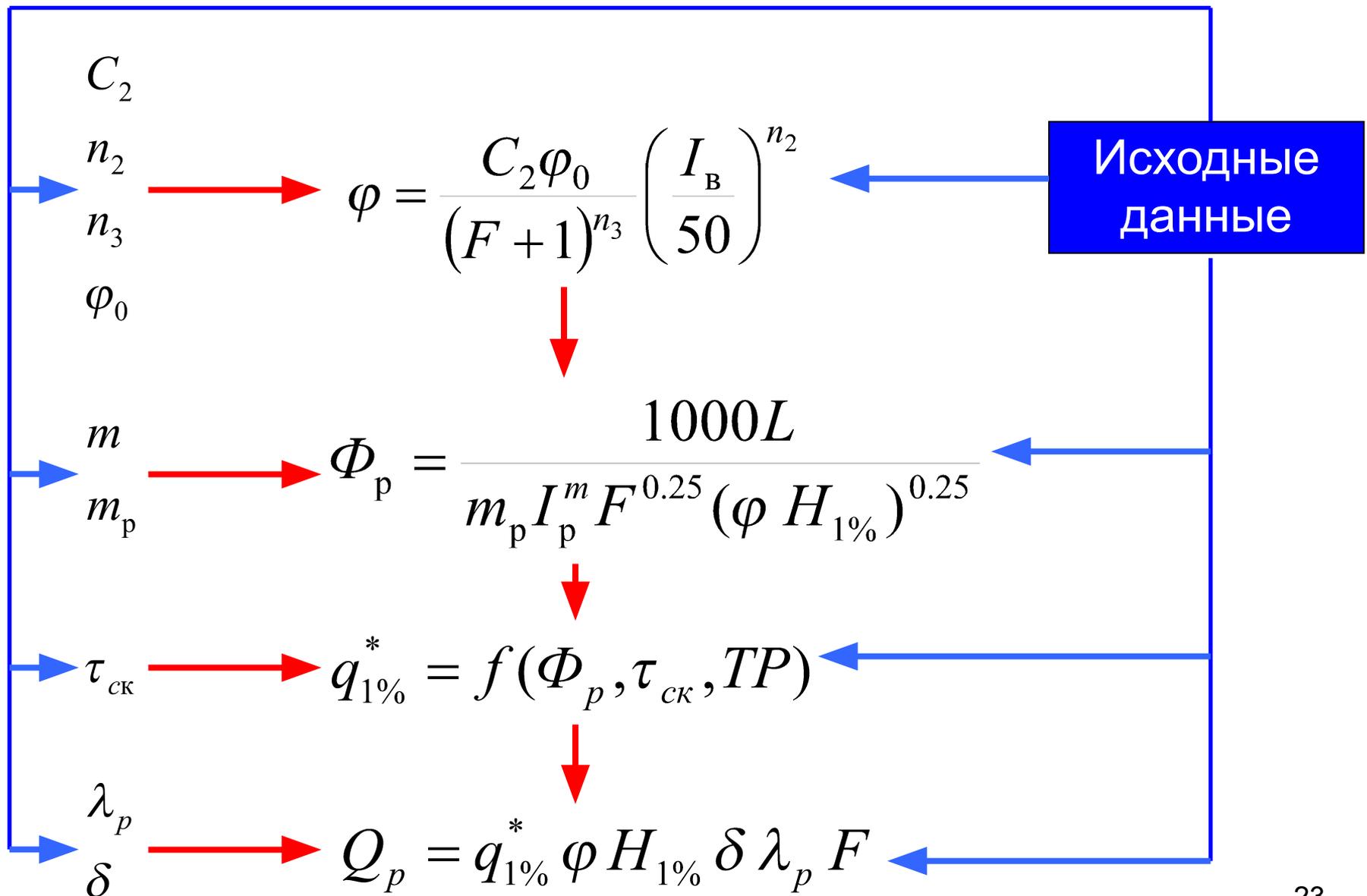
Недостатки

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	C_2 - эмпирический коэффициент, принимаемый для лесной и тундровой зон равным 1,2; для остальных природных зон - 1,3;
n_2	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	
ϕ_0	n_3 - принимается для лесотундры и лесной зоны равным 0,07, для остальных природных зон - 0,11

I_B - средний уклон водосбора, ‰

$$\varphi = \frac{C_2 \phi_0}{(F + 1)^{n_3}} \left(\frac{I_B}{50} \right)^{n_2}$$

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

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

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 добегаания, 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.

$$q_{1\%}^* = f(\Phi_p, \tau_{ск}, TP) \quad \text{Таблица 9 приложения 2 Пособия 1984}$$

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

(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	...	...	....	...	...	...	...	...	...	...	...

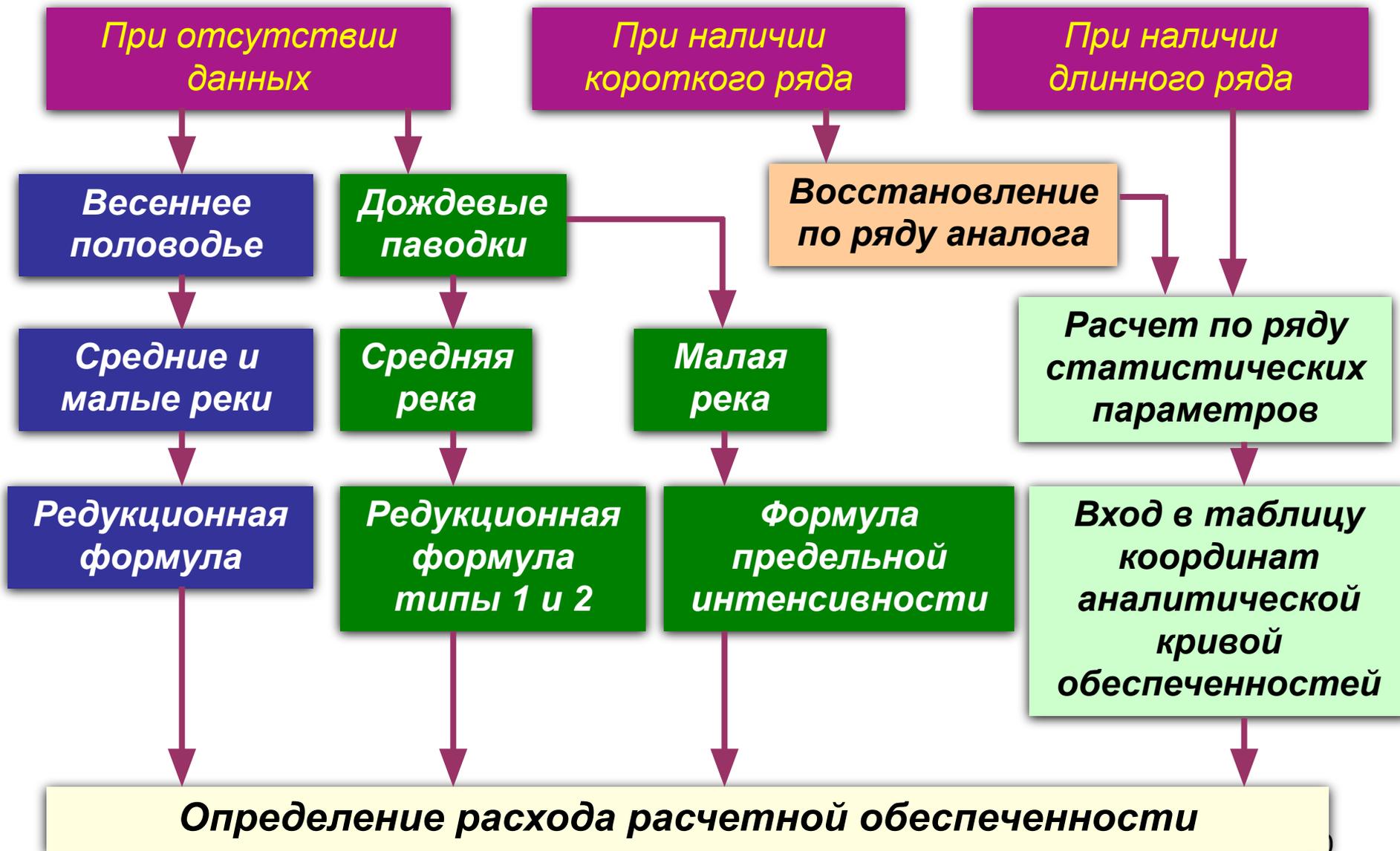
Блок 4

λ_p
 δ

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

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

Схема расчета максимальных расходов по СП 33-101-2003



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. Владимиров А.М. Гидрологические расчёты: 11.2, 12.2
2. СП 33-101-2003. «Определение основных расчетных гидрологических характеристик: 7.25-7.47.
3. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. Раздел 8.